



CHYES: 2020.2003
Ensino de ciências e matemática

Ⓟ

Número de chamada
Clas. T / UNESP
PHA R 219.2
Tombo n° 1.296

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

FACULDADE DE CIÊNCIAS, CAMPUS DE BAURU

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO PARA A CIÊNCIA



Marcelo Luis Aroeira Rosella



**O ESTUDO DA TERMODINÂMICA ATRAVÉS DA ANÁLISE DO EFEITO
ESTUFA.**

Bauru
2004



Marcelo Luis Aroeira Rosella

O ESTUDO DA TERMODINÂMICA ATRAVÉS DA ANÁLISE DO EFEITO ESTUFA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Educação para a Ciência, Área de concentração:
Ensino de Ciências, da Faculdade de Ciências da
UNESP/Campus de Bauru, como requisito à obtenção
do título de Mestre em Ensino de Ciências sob a
orientação do Prof. Dr. João José Caluzi.

Bauru

2004



Ficha catalográfica elaborada por
DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO
UNESP - Bauru

Rosella, Marcelo Luis Aroeira

O estudo da termodinâmica através da análise do efeito estufa / Marcelo Luis Aroeira Rosella. - - Bauru : [s.n.], 2004.

220 f.

Orientador: João José Caluzi .

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências, 2004.

1. Ciência - história. 2. Complexidade. 3. Termodinâmica. 4. Pedagogia. I – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências. II - Título.



Marcelo Luis Aroeira Rosella

**O ESTUDO DA TERMODINÂMICA ATRAVÉS DA ANÁLISE DO EFEITO
ESTUFA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência, da Faculdade de Ciências, da Universidade Estadual Paulista, Campus de Bauru, para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências.

Banca Examinadora:

Presidente: Prof. Dr. João José Caluzi

Instituição: Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Educação, UNESP-FC.

Titular: Prof^ª. Dr^ª. Anna Maria Pessoa de Carvalho

Instituição: Universidade de São Paulo, Faculdade de Educação, FEUSP.

Titular: Prof^ª. Dr.^a Ana Maria de Andrade Caldeira

Instituição: Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências, UNESP-FC.

Bauru, de de 2004.



A Felipe, filho muito amado, Brenda, Guilherme e Gabriel, sobrinhos queridos, esperanças de um mundo bem melhor.

“Porque nós acreditamos na modificação, na lapidação do homem, porque só não acredita na lapidação do homem, aquele que não consegue se lapidar”.

Dr. Celso Charuri.



AGRADECIMENTOS

Sempre imaginei que um trabalho com um nível razoável de elaboração fosse feito com a ajuda de algumas pessoas, no entanto, não imaginei nem de longe o quão inestimável seria essa ajuda e sua vital importância, é preciso notar como precisamos da compreensão das pessoas que estão do nosso lado, dos nossos professores e, no meu caso, particularmente, do professor que me orientou nesta dissertação.

Neste momento de conclusão é gratificante poder relembrar o suporte, a ajuda gentilmente oferecida e em momentos tão convenientes, que, sem esse alento, talvez não tivesse feito o que aqui se apresenta. Sei que a melhor forma de agradecer não é direcionando palavras, que muitas vezes não carregam a dimensão do sentimento de gratidão que sinto por essas pessoas, mas seguindo seus exemplos, e estendendo a mão a outros colegas que necessitem de algum tipo apoio.

Conforme disse um grande médico e filósofo contemporâneo, Dr. Celso Charuri, jamais se deveria deixar de ver atitudes tão nobres, pois seria cegueira (do pior tipo), também não se deveria apagá-las, pois seria orgulho, tampouco tentar se sobrepor a essas atitudes, seria vaidade, mas segundo suas sábias palavras, que me esforço para seguir, precisamos vê-las, entendê-las, guardá-las e seguir em frente, pois um bom exemplo vale por muitas e muitas palavras.

Agora destaco as pessoas quem devo agradecer:

Aos meus pais Oswaldo e Edy, pois tudo começou com eles, e ainda continua...

Minha esposa Márcia pela dedicação, paciência e compreensão nos momentos difíceis.

À minha amiga Iracema, pelas intermináveis horas de leitura e revisão dos capítulos desta dissertação, por tolerar pacientemente minha ignorância quanto a determinadas regras de nossa Língua Portuguesa, pelas indicações e por muito mais. Aos meus irmãos Luis Henrique e sua mulher Adriana, Luis Gustavo e sua mulher Ana, pelos inestimáveis apoios moral e material que a mim dispensaram.

Ao meu cunhado José Henrique e sua mulher Shirley pela qualidade de seus trabalhos gráficos e desenhos, pelas tardes que perderam ajudando-me. À D. Terezinha e Sr. Benedito, pais de minha esposa, pela dedicação, bondade e por me tratarem como um filho. À minha cunhada Mara, pela paciência e atenção e por estar sempre presente no momento que necessitamos. À Zilda e Serginho pelo apoio espiritual tão necessário.

Ao amigo Rafael pela crítica construtiva que me faz refletir e muito me ajuda a ser cada vez melhor, e, sobretudo, pela sua amizade. À Andréa e William excelentes professores e amigos, companheiros de uma grande jornada.

Aos professores do programa de Pós-Graduação da FC (UNESP/Bauru). Pela qualidade de suas aulas, por desenvolverem nos pesquisadores capacidades latentes e acima de tudo pelo empenho em melhorar a qualidade do ensino de ciências no Brasil.

Ao professor Misael pela qualidade de suas aulas, por colocar seu vasto conhecimento a disposição daqueles que lutam por uma educação de qualidade para a quantidade (povo).

À professora Ana Caldeira, por acreditar em meu trabalho, pela objetividade e rigor de suas indicações, por conduzir, juntamente com o professor Caluzi, o grupo de pesquisa de maneira proveitosa a todos que dele participam.

Agora fechando com chave de ouro, um agradecimento especial ao professor João José Caluzi, pela sua primorosa orientação, pela compreensão de minhas dificuldades e limitações e pela habilidade em lidar com elas, por indicar o melhor caminho para minhas pesquisas, por essas e outras, meus sinceros agradecimentos.



ROSELLA, M. L. A. **O Estudo da Termodinâmica através da Análise do Efeito Estufa** 2004. Dissertação de Mestrado em Educação para a Ciência. Faculdade de Ciências, UNESP, Bauru, 2004.

RESUMO

Baseando-se na Pedagogia Histórico-Crítica, o trabalho apresenta uma proposta de ensino e aprendizagem dos conceitos básicos da Termodinâmica, partindo da abordagem de temas que estão, atualmente, sendo objeto dos meios de comunicação, o “efeito estufa” e o aquecimento global. Este estudo temático está de acordo com a metodologia adotada pelos pressupostos teóricos da visão histórico-crítica. Parte-se da prática social, tomando como início do trabalho escolar um problema vivenciado pelo professor e pelo aluno. Dessa forma, contextualizam-se os conteúdos científicos que se consideram clássicos. O educador deverá, após a apresentação do tema, possibilitar a apropriação dos instrumentos necessários para que o aluno passe de uma visão sincrética a uma visão sintética do fenômeno abordado. Esses instrumentos consubstanciam-se na forma de conceitos científicos, pela inter-relação de conhecimentos, e são ressignificados como ferramentas matemáticas necessárias para redimensioná-los. Transforma-se, desse modo, a “pseudoconcreticidade” do fenômeno “efeito estufa” numa visão que o concebe como “síntese de múltiplas determinações”. Como estratégia de ensino e aprendizagem é utilizada a História da Ciência para apresentar a evolução dos conceitos de Calor e Temperatura, mostrando o seu estágio atual como fruto de uma dinâmica histórica. Essa estratégia é pertinente haja vista que o início hipotético da potencialização do “efeito estufa” remonta à Revolução Industrial, fruto dos avanços da Termodinâmica. Para dar conta das inúmeras variáveis, da relação visceral entre as diversas áreas do conhecimento humano são utilizadas também ferramentas propostas pelo emergente paradigma da complexidade, subsidiando o estudo de temas que congregam várias áreas de saber. Temas, por exemplo, que tenham como característica um “complexus” que etimologicamente significa: aquilo que está tecido junto, ou seja, vários constituintes formando um todo com vários fios de diversas tonalidades que juntos formam um tapete.

Palavras-chave: História da Ciência, Complexidade, Termodinâmica, Pedagogia.



ROSELLA, M. L. A. **The Study of Thermodynamics through the Analysis of Greenhouse Effect**. 2004. Master's dissertation on Science Education. College of Science, UNESP, Bauru, 2004.

ABSTRACT

Based on Historical-Critical Pedagogy, this work presents a tool for the teaching and learning of basic concepts of thermodynamics, beginning from the analysis of subjects currently discussed by the media: the "green house effect" and the global heating. This theme study is in accordance with the methodology used by the historical – critical pedagogy. Starting from a practical situation, the problems experienced by the teacher and the students are examined. Thus, the scientific concepts which are considered to be classical are contextualized. After presenting the subject, the educator should provide the appropriation of the necessary instruments so that the students could change from a syncretic to an integral way of understanding the phenomena. These instruments are combined into scientific concepts by the interrelationship of different knowledge and are redefined as mathematical tools necessary to comprehend them in new way. Therefore the "pseudo-concreteness" of the phenomenon "green house effect" is transformed into a view point which understands it as a "synthesis of multiple determinations". As a teaching and learning strategy, the History of Science is used to present the evolution of the concepts of Heat and Temperature showing that its current stage is the fruit of a historical dynamics. This strategy is suitable because the hypothetical beginning of the green house effect dated back to the Industrial Revolution, which was a fruit of the advance in Thermodynamics. In order to deal with so many variables, from the deep relationship between the different fields of knowledge, some tools presented by the emerging paradigm of Complexity were also used to support the study of subjects that gather several kinds of knowledge. For instance, subjects which are characterized by a "complexus" that etymologically means: what is woven together or several constituents forming a whole with several threads in many different colors making a carpet.

Keywords: Science-History, Complexity, Thermodynamics, Pedagogy.



SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	9
CAPÍTULO I	
FUNDAMENTOS PARA O ESTUDO DA TERMODINÂMICA.....	16
1. A Pedagogia Histórico-Crítica e o ensino da Termodinâmica.....	17
2. Tríade Sustentadora da Pedagogia Histórico-Crítica.....	20
3. A Teleologia: Fundamentos Políticos-Filosóficos da Educação.....	21
4. Importância dos conteúdos na Pedagogia Histórico-Crítica.....	27
5. Os Métodos de Ensino propostos pela Pedagogia Histórico-Crítica.....	32
6. A Pedagogia Histórico-Crítica e o Construtivismo.....	37
7. A Escola que nos convém.....	42
CAPÍTULO II	
A RIGOROSA ORDEM ARTICULADA A COMPLEXIDADE.....	49
1. A crise dos paradigmas: determinismo ou aleatoriedade.....	50
2. A rigorosa ordem articulada ao aleatório. Contradição nos termos ou Complexidade...58	
3. Edgar Morin e a consciência que abrange a reflexão filosófica e a Ciência.....	68
4. Uma educação para o século XXI na perspectiva de Edgar Morin.....	79
CAPÍTULO III	
O EFEITO ESTUFA.....	86
1. Uma análise essencial e necessária sobre o efeito estufa.....	87
2. A atmosfera e sua composição.....	91
3. Os gases estufa.....	97
4. As pressões da comunidade científica para acordos internacionais.....	107
4.1 O terceiro relatório do IPCC (Third Assesment Report – TAR).....	119
CAPÍTULO IV	
A HISTÓRIA DA TERMODINÂMICA COMO ESTRATÉGIA DE ENSINO.....	138
1. A História da Termodinâmica subsidiando a instrumentalização dos alunos.....	139
2. Calor a problemática da definição na existência de duas teorias concorrentes.....	141
3. A Termometria subsidiando as teorias concorrentes.....	145
4. Joseph Black inaugura a calorimetria, distinguindo calor de temperatura e aprimorando os conceitos de calor específico e calor latente.....	149
4.1 Elaboração do calor específico.....	150
4.2 Diferenciação de calor e temperatura.....	152



4.3 Outra contribuição de Joseph Black: O Calor Latente.....	153
5. A fricção como fonte de calor colocando em cheque a teoria substancialista.....	155
5.1 A verificação do calor específico das lascas metálicas.....	156
5.2 Uma pequena quantidade de partículas metálicas gerando um grande aquecimento, mais uma incoerência do calórico.....	158
5.3 Evitando a interferência do ar.....	159
6. Calor como uma forma de energia.....	162

CAPÍTULO V

ATIVIDADES PROPOSTAS.....	170
---------------------------	-----

Propostas de Atividades para o ensino e Aprendizagem de alguns tópicos de termodinâmica.....	171
--	-----

CONSIDERAÇÕES FINAIS E DISCUSSÕES.....	209
--	-----

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	215
---------------------------------	-----



1. Introdução

Ao se constatar a presença de um conhecimento alternativo ou de senso comum sobre os conceitos básicos de termodinâmica em alunos que passaram “ílesos” pelos três anos do ensino médio, decidimos iniciar uma pesquisa cujo intuito é justamente encontrar formas de trabalhar o processo de ensino e aprendizagem efetivo dos conceitos de Física Térmica: calor, temperatura, transmissão de calor, calor específico, calor latente, dilatação térmica e princípios da termodinâmica.

Em nossa experiência, como professor de Física, notamos que é um tópico de difícil compreensão no processo de ensino e aprendizagem, considerando as confusões comumente encontradas no discurso de pessoas de diversos níveis sociais, mesmo aquelas que possuem diploma de curso superior, sobretudo observando que o senso comum das pessoas considera que os conceitos de calor e temperatura expressam a mesma idéia, ou ainda que a temperatura é a medida do calor. Portanto, para um entendimento desses conceitos e sua correta distinção faz-se necessário transcender o macroscópico tão aparente e formador de concepções incipientes, como nos mostra o percurso histórico das idéias, e as concepções sobre calor, temperatura e fenômenos térmicos, para, desse modo, poder adquirir uma noção, em nível microscópico (partículas) desses fenômenos, ou seja, transcender o modelo substancialista comumente encontrado até em alunos do ensino



superior e compreender o modelo cinético – molecular, que alavancou a entrada da Ciência no micromundo, conforme Schenberg:

Esta grande revolução, talvez a maior de todas que houve na Física depois da criação da Mecânica no século XVII, foi exatamente a criação da teoria dos quanta. E foram os estudos do calor e da termodinâmica que levaram a essa revolução. [...] Durante o século XIX se desenvolveram, portanto, essas duas teorias: a teoria do calor e a teoria do campo eletromagnético. A teoria do calor conduzia à mecânica estatística e à introdução de conceitos probabilísticos na Física. (SCHENBERG apud SILVA et al, 1997).

Parece-nos, portanto, fundamental a compreensão, por parte dos alunos, desse conceito. Para tanto vemo-nos forçados a repensar o ensino e a aprendizagem de tais conceitos reformulando metodologias e apresentando uma maneira alternativa de abordar a Termodinâmica, não mais apenas calcada em métodos enciclopédicos, memorísticos e matematizados, que levam o aluno a substituir o conceito pelo aparato matemático formal que o quantifica mecanicamente, ou seja, pela fórmula. Isso poderá ocorrer, apenas se o aluno for questionado após ter recentemente memorizado essa ferramenta matemática, pois sem uma aprendizagem significativa esta muito provavelmente se escoará de sua memória. Não se trata de eliminá-la, pois a fórmula é imprescindível e útil, mas em si, não pode substituir o entendimento do fenômeno físico.

Isto posto, fica clara a necessidade de uma nova forma de ensino e aprendizagem, e propomos aqui um estudo temático, ou seja, o levantamento de um problema vivenciado pela sociedade nos dias de hoje, e, portanto, inserido no universo do professor e do aluno, e, congregando os conceitos acima citados. Encontramos o aquecimento global do planeta Terra, em que a poluição sistemática da nossa atmosfera pelas ações antrópicas (ações humanas), vem potencializando o fenômeno natural conhecido como “efeito estufa”.

Essa prática pedagógica está em conformidade com a Pedagogia Histórico-Crítica e revelada no primeiro capítulo deste trabalho. Saviani denuncia os preceitos da Escola Nova. Para ele, os ideais da pedagogia liberal e burguesa do escolanovismo são estratégias que têm como objetivo demarcar o âmbito da pedagogia burguesa de inspiração liberal e iluminista e o âmbito da pedagogia socialista de inspiração marxista (SAVIANI,



superior e compreender o modelo cinético – molecular, que alavancou a entrada da Ciência no micromundo, conforme Schenberg:

Esta grande revolução, talvez a maior de todas que houve na Física depois da criação da Mecânica no século XVII, foi exatamente a criação da teoria dos quanta. E foram os estudos do calor e da termodinâmica que levaram a essa revolução. [...] Durante o século XIX se desenvolveram, portanto, essas duas teorias: a teoria do calor e a teoria do campo eletromagnético. A teoria do calor conduzia à mecânica estatística e à introdução de conceitos probabilísticos na Física. (SCHENBERG apud SILVA et al, 1997).

Parece-nos, portanto, fundamental a compreensão, por parte dos alunos, desse conceito. Para tanto vemo-nos forçados a repensar o ensino e a aprendizagem de tais conceitos reformulando metodologias e apresentando uma maneira alternativa de abordar a Termodinâmica, não mais apenas calcada em métodos enciclopédicos, memorísticos e matematizados, que levam o aluno a substituir o conceito pelo aparato matemático formal que o quantifica mecanicamente, ou seja, pela fórmula. Isso poderá ocorrer, apenas se o aluno for questionado após ter recentemente memorizado essa ferramenta matemática, pois sem uma aprendizagem significativa esta muito provavelmente se escoará de sua memória. Não se trata de eliminá-la, pois a fórmula é imprescindível e útil, mas em si, não pode substituir o entendimento do fenômeno físico.

Isto posto, fica clara a necessidade de uma nova forma de ensino e aprendizagem, e propomos aqui um estudo temático, ou seja, o levantamento de um problema vivenciado pela sociedade nos dias de hoje, e, portanto, inserido no universo do professor e do aluno, e, congregando os conceitos acima citados. Encontramos o aquecimento global do planeta Terra, em que a poluição sistemática da nossa atmosfera pelas ações antrópicas (ações humanas), vem potencializando o fenômeno natural conhecido como “efeito estufa”.

Essa prática pedagógica está em conformidade com a Pedagogia Histórico-Crítica e revelada no primeiro capítulo deste trabalho. Saviani denuncia os preceitos da Escola Nova. Para ele, os ideais da pedagogia liberal e burguesa do escolanovismo são estratégias que têm como objetivo demarcar o âmbito da pedagogia burguesa de inspiração liberal e iluminista e o âmbito da pedagogia socialista de inspiração marxista (SAVIANI,



1997, p.10). Saviani afirma que não há neutralidade, todo saber é ideológico e, portanto, histórico:

A neutralidade é impossível porque não existe conhecimento desinteressado. Não obstante todo conhecimento ser interessado, a objetividade é possível porque não é todo interesse que impede o conhecimento objetivo. Há interesses que não só impedem como exigem a objetividade. [...] Para saber quais são os interesses que impedem e quais aqueles que exigem a objetividade não há outra maneira senão abordar o problema em termos históricos. Só no terreno da História, isto é, no âmbito do desenvolvimento de situações concretas essa questão pode ser dirimida. (SAVIANI, 1997, p.13).

A Pedagogia Histórico-Crítica tem por certo que a educação implica em que o saber escolar possa ser transmitido aos alunos de modo histórico e contextualizado. O saber objetivo a que nos referimos deve ser pautado no tempo e no espaço da instituição escolar. Torna-se necessário, portanto, torná-lo assimilável aos aprendizes. Para isso é necessário considerar o processo de como o ensino e a aprendizagem ocorrem e não apenas o produto final. Aliás, a visão marxista de alienação é pautada justamente no descompromisso do sujeito em relação às relações de produção, ou seja, o indivíduo desinteressa-se do seu trabalho por não se conhecer como sujeito da elaboração, uma vez que não tem como participar e realizar-se de forma autônoma.

A metodologia proposta por essa linha pedagógica atende aos objetivos do presente trabalho haja vista a quantidade de conceitos que constam no conteúdo programático do ensino médio. O aluno para não ter sua formação científica prejudicada deve compreender conceitos de Mecânica envolvendo cinemática escalar e vetorial, dando conta dos fenômenos relativos ao movimento; a estática e hidrostática, estudando as condições de equilíbrio de um corpo. Dinâmica e suas Leis, estudando as causas do movimento; Óptica física e geométrica, estudando os fenômenos luminosos. Eletricidade envolvendo eletrostática, eletrodinâmica e eletromagnetismo, detalhando os fenômenos de natureza elétrica; a Termodinâmica, com a termometria, calorimetria e as máquinas térmicas, estudando os fenômenos térmicos. A Ondulatória e Acústica responsável pela classificação e o estudo detalhado das ondas mecânicas e eletromagnéticas, seus efeitos e propriedades.

Observando que cada item citado congrega uma série de conceitos que devem ser estudados, ou seja, existem Físicas de diversas naturezas e só é possível estudarmos todos esses conceitos se a iniciativa partir do professor lançando mão de uma metodologia adequada e convincente, Saviani afirma que o educador deve acionar toda a sua experiência e competência técnica para encontrar na prática social os grandes temas que darão sentido e contexto aos conteúdos que devem ser abordados e estudados.

O estudo dos conceitos básicos da Termodinâmica, utilizando a problemática do aquecimento global e “efeito estufa”, permite-nos trazer aos alunos as interações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade, observando a invenção das máquinas térmicas e a intensa industrialização por elas propiciada, considerando que Ciência e Tecnologia são heranças culturais, conhecimento e recriação da natureza. Ao lado da mitologia, das artes e da linguagem, a tecnologia é um traço fundamental das culturas.

No segundo capítulo deste trabalho, demonstramos ser fundamental a apresentação dos conhecimentos científicos como decorrentes de vários aspectos confluentes, pois o “efeito estufa” reúne aspectos da Física, Química, Biologia, políticas ambientais e códigos de ética, por isso, não é conveniente abordá-lo de uma forma fragmentada conforme o paradigma mecanicista que concebia o conhecimento científico como responsável por dissipar a complexidade da realidade e dos fenômenos e, dessa forma, revelar uma suposta ordem rigorosa que estaria por trás da realidade e dos fenômenos.

A percepção de um saber plural, ou seja, de um estudo não fragmentado, tendo a interdisciplinaridade como um eixo fundamental, é posta pelo real. A complexidade, segundo Edgar Morin, é um desafio imposto pela natureza, pois a aleatoriedade e o caráter probabilístico de muitos fenômenos, como as mudanças climáticas, as turbulências e até as flutuações das bolsas de valores, recusam qualquer maneira reducionista e determinista de pensar, negam também a ambição de se controlar e dominar o real.

No intuito de nos apropriar de novas ferramentas conceituais (o aleatório, a ordem que emerge da desordem, a complexidade, a probabilidade nos fenômenos da natureza) para assim podermos ascender a um pensamento capaz de tratar e de dialogar com a realidade, buscamos, em Edgar Morin, o embasamento necessário para a abordagem dos fenômenos. Para Morin, o conhecimento torna-se cada vez mais consistente e ético,



quando é possível encaixá-lo num contexto mais global, pois este autor nos assegura que todos os elementos que existem no macrocosmo existem também no microcosmo, ou seja, tudo o que conhecemos é composto por diferentes elementos: os átomos, as moléculas, os organismos, os seres vivos, o ecossistema, a biosfera, a sociedade e a humanidade.

Edgar Morin lança ao conhecimento científico um desafio fecundo, convoca os cientistas a tomar consciência da complexidade da realidade, em que um problema que interessa a todos os homens é a compreensão do mundo em que vivemos, e a compreensão de nós mesmos. Desse modo, tomamos a liberdade de acrescentar também a compreensão entre os homens. Morin também defende um pensamento global, pois os problemas essenciais são cada vez mais sistêmicos, e, portanto, ele não aceita que se use a verdade como uma realidade metafísica, invocada para justificar opressões e crimes. A verdade não deve ser invocada como explicação única, para que em seu nome sejam praticadas diversas barbáries. Hilton Japiassu, do Instituto de Filosofia e Ciências Sociais da UFRJ, reitera dizendo que a certeza de se ter a razão é extremamente perigosa, nada causaria mais destruição do que a obsessão por uma verdade considerada como absoluta, muitos massacres foram cometidos em nome de uma religião “verdadeira”, de uma política “idônea”, de uma ideologia “justa”; em nome do combate a Satã, combatia-se a verdade “distorcida” do outro.

Se quisermos fazer do homem o sujeito e a finalidade da política e não seu meio e objeto, devemos repensar a razão absoluta e fechada dos homens.

Na primeira parte do livro “*Ciência com Consciência*” (MORIN, 1994: 13-133), diz que a razão “enlouquece”, no momento em que é utilizada em processos bárbaros que visam a apropriação de bens alheios. A razão também “enlouquece”, quando é utilizada para instalar uma ordem racionalizadora, unilateral e tudo aquilo que perturbar essa ordem é considerado demente ou criminoso.

O pensamento complexo pressupõe a existência de um saber não compartimentado, não reducionista, e consciente de sua incompletude, um pensamento multilateral, que não tenha suas incertezas e ambigüidades resolvidas à força, elas são complementares às certezas, não antagônicas. Marx também já ressaltara que até a Luz da Ciência precisa das Trevas da ignorância para resplandecer.



Na segunda parte de seu livro "*Ciência com Consciência*" (MORIN, 1994: 137-151), sugere-nos várias "avenidas" (descritas no 2º Capítulo) para que as percorrendo, possamos chegar ao que é o pensamento complexo, resumidamente: a) da irreducibilidade, b) da transgressão; c) da complicação; d) da organização; e) da partes e o todo (unitas/multiplex); f) do princípio hologramático; g) da dificuldade de demarcar e definir e h) do observador e a observação.

Isto posto, fica claro o objetivo de ligar todos os saberes disjuntos; em virtude dos conhecimentos serem múltiplos e variados, temos o compromisso de abolir as hierarquias, os preconceitos, as discriminações e religá-los sem sermos todavia simplistas e reducionistas. Dessa leitura planetária partem as noções de ordem e desordem, sujeito, autonomia, auto-organização e auto-eco-organização como elementos decorrentes. Desse modo, o saber científico deve possuir objetividade e método próprio, responsável pelo cumprimento de um plano em que observador e a coisa observada interagem. Entretanto, essa objetividade traz em si uma diversidade de teorias e paradigmas que remetem o observador para uma reflexão bioantropológica do conhecimento calcada nos aspectos culturais, sociais e históricos.

No terceiro capítulo, faremos uma análise essencial sobre o "efeito estufa", revelando-o como um fenômeno natural e necessário, ressaltando que o aquecimento global ocorre quando há um aumento na média da temperatura da atmosfera, oceanos e continentes da Terra. Sabemos, no entanto, que já houve períodos de aquecimentos e resfriamentos (glaciações) em nosso planeta durante seus 4,65 bilhões de anos, mas estamos observando um rápido aquecimento, um ritmo que se suspeita não ser natural, pois observamos um aumento de $0,5^{\circ}\text{C}$, nos últimos 100 anos, na média global de temperaturas de 15°C , enquanto que registros contidos em sedimentos e geleiras revelam que no decorrer dos últimos 10 mil anos o clima apresentava um aumento de $0,05^{\circ}\text{C}$ por século.

Muitos cientistas atribuem esse aquecimento global às atividades humanas também denominadas atividades antrópicas, especialmente às atividades industriais, em que se queimam combustíveis fósseis, que liberam na atmosfera grande quantidade de gases, entre eles o dióxido de carbono (CO_2) o mais abundante, porém não o de maior capacidade de reter a energia térmica. Essa hipótese é consistente, pois simultaneamente ao aumento na média da temperatura, observou-se também um aumento na concentração de CO_2 na atmosfera e sabe-se que a molécula de CO_2 , devido à sua configuração e suas dimensões, tem como propriedade a absorção de radiação



infravermelha (ondas de calor) e posteriormente sua reemissão. Portanto, uma conjunção de fatores muito suspeita.

Discutiremos aspectos físicos e químicos, também as incertezas acerca deste assunto, as iniciativas políticas para tentar reduzir as emissões de poluentes conhecidos como “gases estufa”, as alterações já observadas e as projeções para os próximos 100 anos.

Em nosso quarto capítulo, traremos aspectos que consideramos relevantes na história da evolução do conceito do Calor e da Temperatura,

A abordagem histórica parece tornar o conteúdo mais interessante para o aluno, ao revelar a possibilidade de uma discussão crítica acerca do papel e do poder da ciência, aproximando e relacionando o conteúdo desta ciência e o de outras atividades humanas. (CASTRO, 1993: 2).

Uma outra possível vantagem desta estratégia consiste em verificarmos o pensamento espontâneo do senso comum, encontrado na fala até de indivíduos mais escolarizados, tais como: “O piso de cerâmica é frio”; “hoje está muito calor”; “este cobertor é muito quente”; e após apontarmos essas concepções espontâneas, podemos aproximá-las das idéias que pensadores da antiguidade tinham sobre Calor e Temperatura, no entanto, sem traçar paralelismo, entre as concepções de senso comum e a trajetória histórica do conceito, pois foram formuladas em contextos distintos.

Com uma utilização correta e racional, poderemos gerar mecanismos que não inibam o aluno de perceber que sua forma de pensar já fez algum sentido no passado, e aproxima-se das formas consideradas como “cientificamente corretas” talvez, assim, o aluno possa transmitir, com maior naturalidade, suas posições.

Particularmente, consideramos frutífera a pesquisa de situações em que o uso da História da Ciência possa enriquecer o processo de ensino e aprendizagem.



CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS PARA O ESTUDO DA TERMODINÂMICA



1. A Pedagogia Histórico-Crítica e o Ensino da Termodinâmica

Podemos considerar atualmente que o grande esforço no ensino das Ciências, em particular da Física, é tornar significativo o aprendizado de seus conteúdos, mesmo para alunos que não dependerão profissionalmente daqueles conteúdos. Isto, certamente, não significa que devem prescindir do conhecimento científico, pois este deverá ser visto, entre outras coisas, como oportunidade para discussões amplas que envolvam os saberes da Ciência abrangendo também, a Ética, Tecnologia e Ambiente etc., ou seja, dar aos alunos condições de compreendê-los conceitualmente na sua complexidade.

O estudo da Ciência objetiva também a apreensão dos Princípios e Leis que regem a natureza, sendo, portanto, uma ferramenta de compreensão e de significação do mundo que nos rodeia. Podemos afirmar que é um instrumento complexo de interação entre a comunidade escolar, a local e a planetária¹ no sentido de formar novos hábitos, propiciando uma postura ativa e solidária frente aos problemas emergentes da comunidade, visando à cidadania num sentido abrangente.

¹ Ver capítulo II MORIN e cidadania como ética da solidariedade planetária.



A despeito de sua importância, a Física é abordada por meio de definições, fórmulas e classificações fragmentadas, que na escola, de um modo geral, são decoradas e repetidas automaticamente, principalmente, nas provas com caráter quantitativo, em que ao aluno cabe apenas o papel de expectador acrítico e mecanicista: toma nota, copia, responde os questionários, faz provas, trabalhos em grupos, situações em que cada um está mais preocupado em ser aprovado, ou tirar “boas notas”.

Este tipo de abordagem contraria as principais concepções de aprendizagem humana, que concebe este processo como exclusivo do aluno-sujeito, em que este valoriza o papel da interação com seus parceiros, o meio sócio-histórico e cultural, em relação primeiramente com a comunidade escolar. Este entendimento se encontra no documento de Introdução aos Parâmetros Curriculares Nacionais que compreende uma abordagem construtivista, entendendo-a como medidora de padrões culturais:

Conceber o processo de aprendizagem como propriedade do sujeito implica valorizar o papel determinante da interação com o meio social e, particularmente, com a escola. Situações escolares de ensino e aprendizagem são situações comunicativas, nas quais os alunos e professores co-participam, ambos com uma influência decisiva para o êxito do processo (...) afirma o papel mediador dos padrões culturais, para integrar, num único esquema explicativo, questões relativas ao desenvolvimento individual e à pertinência cultural, à construção de conhecimentos e à interação social.(BRASIL, 1998, p.72).

De acordo com o GREF (Grupo de Re-elaboração do Ensino de Física), a Física como instrumento de compreensão do mundo possui uma beleza conceitual ou teórica que já seria suficiente para tornar seu estudo agradável. Mas infelizmente a Física é confundida com “a instrumentação matemática” que utiliza. Seus conceitos são substituídos pelo seu dimensionamento quantificável, ou seja, reduzidos a fórmulas, aparato matemático-formal, que embora de vital importância, não deve estar no lugar da representação do objeto, em suas características gerais. Assim, o instrumental matemático deve se referir ao conceito, e; portanto, após a compreensão deste é que os alunos devem ser expostos às ferramentas matemáticas necessárias para redimensioná-lo.

Entendemos que a compreensão dos conceitos científicos deva ser vista em sua complexidade e diversidade, porém, sem disjuntar os saberes que lhes servem de ferramenta. Desse modo, utilizá-los não de forma mutilada em que cada uma das grandes áreas do conhecimento científico especializado separa o que é de seu interesse, prejudicando uma visão mais ampla do fenômeno. Esse tipo de compreensão disjuntiva não reflete a natureza dinâmica, articulada, histórica, não-neutra do conhecimento científico. Outrossim, não reflete a perspectiva da Ciência como aventura do saber humano. Naturalmente, estamos cientes do grande desafio didático de se abordar um fenômeno natural nesta perspectiva complexa, que aqui propomos, a qual já é, em si, multidisciplinar ou interdisciplinar.

Buscando superar a abordagem fragmentada das Ciências Naturais de se entender o estudo da Física como reduzido às fórmulas (conforme vimos) surgiram propostas interessantes que visam ao desenvolvimento de uma temática interativa: comum ao professor e ao aluno, contida no universo de ambos, ou seja, contextualizando os conteúdos, organizando material de apoio didático: selecionando livros, recortes de jornais, revistas, filmes, etc.

O trabalho com temas pode permitir uma abordagem das disciplinas científicas de um modo intersubjetivo, entendido, aqui, como dialógico, buscando uma possível interdisciplinaridade dentro da área das Ciências Naturais.

Para melhor explicitar a nossa expectativa sobre um ensino que propicie aprendizagens significativas, optamos pela Pedagogia Histórico-Crítica, uma visão progressista da educação que não trabalha o conteúdo pelo conteúdo, mas sim com um sentido lógico, iniciando-se pela prática social (universo comum ao professor e ao aluno) e retomando, em seu término, novamente ao social, portanto, articulada *à prática social*, trabalhando os *conteúdos clássicos* concernentes a grandes temas encontrados no âmbito da práxis, sendo que consideramos um método de ensino eficiente àquele que identifica, equaciona e sugere soluções para os principais problemas postos por essa prática.



2. Tríade sustentadora da Pedagogia Histórico-Crítica

A Pedagogia Histórico-Crítica contempla uma proposta pedagógica fundamentada na natureza da educação nas suas possibilidades e limites bem como nos seus valores (solidariedade, cidadania, democracia). Procurando lançar os educadores numa profunda reflexão sobre os itens acima mencionados, esta linha pedagógica articula a escola com os interesses das camadas populares (majoritárias), concebendo-a como uma instituição mediadora entre o conhecimento significativo e o estudante que se esforça para se apropriar do “saber erudito”, “clássico” (gerado pelo esforço coletivo da sociedade ao longo do tempo histórico).

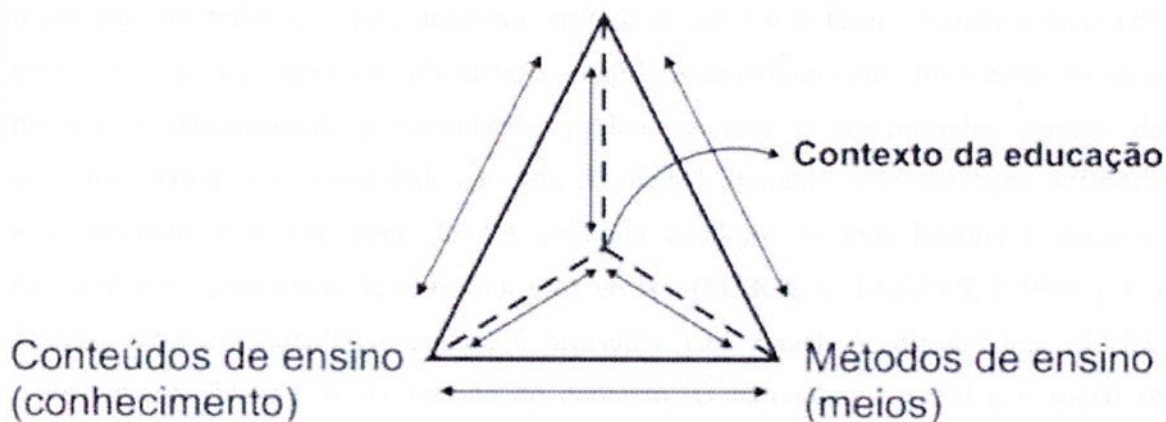
A escola colabora na transformação da sociedade quando instrumentaliza o estudante com ferramentas conceituais, lógicas, matemáticas, científicas, sociais, verbais e simbólicas.

A Pedagogia Histórico-Crítica pressupõe que a tarefa dos educadores será sempre lutar pela escola pública, democrática, de qualidade que elimine a seletividade, a discriminação e a exclusão dos estudantes. Em sintonia com essa tarefa propõe o estudo teleológico da educação (educação para quem? Para quê?); uma análise apurada dos conteúdos a serem abordados, e um método de ensino que viabilize a apropriação desse saber imprescindível para a formação de um coletivo instruído. Composto, dessa forma, juntamente com o contexto da educação a figura da página seguinte².

² Esquema elaborado e apresentado pelo Prof. Dr. José Misael Ferreira do Vale, na disciplina “Visão Histórico-Crítica da Educação e a Pesquisa em Ensino de Ciências”, ministrada no Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência da Faculdade de Ciências, UNESP/Bauru.



Reflexão político-filosófica da educação (fins e valores)



3. A Teleologia: Fundamentos Políticos – Filosóficos da Educação

Podemos ressaltar que uma das preocupações fundamentais da Pedagogia Histórico-Crítica é a finalidade da educação, os educadores precisam definir que tipo de aluno querem formar, em que sociedade querem viver e a que valores irão aderir.

Devido a essa preocupação um dos fundamentos dessa linha pedagógica é a reflexão político-filosófica da educação (fins), ancorada numa análise histórica da escola, mantida pelo poder público. Os educadores devem fazer um balanço crítico-reflexivo sobre a escola pública existente, no sentido de avaliar o esforço educativo, a iniciativa governamental e a busca por caminhos que permitam a re-elaboração da escola pública, portanto, a Pedagogia Histórico-Crítica faz-nos considerar a natureza da educação, bem como seus limites e fins; assim como “não há comandantes que se lancem numa viagem, sem saber seu destino (fins)”: um estudo teleológico se faz necessário.

A escola pública, gratuita e democrática deve estar centrada no desenvolvimento material e espiritual do ser humano, considerando-o um ente que se cria continuamente como “síntese de múltiplas determinações”.

Segundo Vale (1997, p.73), o materialismo histórico, considera o homem como o ser que, no trabalho e pelo trabalho, articula o saber e o fazer, criando e recriando continuamente seus meios de subsistência, engendrando cultura como fruto desse trabalho material e não-material, permitindo-lhe pensar, explicar e compreender, através de conceitos, teorias etc. a realidade concreta do mundo. Portanto, o materialismo histórico está ancorado num fato concreto: “A primeira condição de toda história humana é, naturalmente, a existência de seres humanos vivos”. (MARX, K. ENGELS, F.1998, p.10) Todavia falar em trabalho e cultura é pressupor vida social, é entender que não há, rigorosamente falando, o ser isolado do contexto. O individual é social e o social se expressa no individual. Em sua sexta tese sobre Feuerbach, Marx afirma que a essência do homem “não é uma abstração inerente ao indivíduo isolado. Na sua realidade, ela é o conjunto das relações sociais”.

A existência de um corpo biológico naturalmente constituído é condição necessária para existência do homem, mas não suficiente, pois a humanização (o homem cultural) do ser biologicamente constituído apenas terá efeito na sua socialização, ou seja, nas relações sociais.

Acrescenta Vale, que, ao produzir e consumir, o ser humano cria a vida social e a cultura ampliando seu poder de transformação. Neste ato de produção e, conseqüentemente, de transformação da natureza (necessário à produção para a sua subsistência), o homem começa a se distinguir dos animais: “a produção da vida material pelo trabalho está, historicamente, na origem da vida social e cultural” (VALE, 1997, p.43), segundo Marx, a primeira ação histórica humana que distingue seres humanos de animais não reside no fato dos homens pensarem, mas de produzirem seus meios de existência.

Pode-se distinguir os homens dos animais pela consciência, pela religião e por tudo o que se queira. Mas eles próprios começam a se distinguir dos animais logo que começam a produzir seus meios de existência, e esse passo à frente é a própria conseqüência de sua organização corporal. Ao produzirem seus meios de existência, os homens produzem indiretamente sua própria vida material. (MARX, K. ENGELS, F. 1998, p.10-11).



Ainda podemos acrescentar, em conformidade com os preceitos marxistas, que a produção das idéias, as diversas representações e a elaboração da consciência, em princípio está ligada diretamente à atividade material e também ao comércio material dos homens “As representações, o pensamento, o comércio intelectual dos homens aparecem aqui ainda como a emanção direta de seu comportamento material” (MARX, K. ENGELS, F. 1998, p.18).

De fato, ao construir os objetos de que necessita, produzir alimentos para seu consumo, confeccionar suas vestimentas, o homem desenvolve a Técnica e a Ciência, aumentando seu conhecimento e, portanto, seu poder sobre a natureza.

A propósito dos muitos significados da palavra Ciência, consideramos aquele que ilustra o que dissemos, é justamente:

o processo pelo qual o homem se relaciona com a natureza visando à dominação dela em seu próprio benefício (atualmente este processo se configura na determinação, segundo um método e na expressão em linguagem matemática de leis em que se podem ordenar os fenômenos naturais, do que resulta a possibilidade de, com rigor, classificá-los e controlá-los ³. (FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda, 1986, p.404b).

Podemos considerar que Ciência e Tecnologia são heranças culturais, respectivamente conhecimento e apropriação da natureza, também podemos ter em mente que a tecnologia é um traço fundamental das culturas. Muitos períodos históricos ficaram marcados pelas técnicas utilizadas pelos homens, como por exemplo, o período paleolítico ficou marcado pelo domínio do fogo e pelo uso da pedra lascada; no período neolítico a técnica evoluiu e permitiu o uso da pedra polida.

Num período mais recente, a intensa produção material iniciou-se com a Revolução Industrial, a qual foi possível pela análise dos fenômenos térmicos. Com essa análise foi descoberto o que era recorrente nesses fenômenos, ou seja, aprisionar trechos de sua realidade e mantê-los sob controle mais ou menos preciso. Segundo essa análise,

podemos considerar que “a tecnologia é a perícia dos algoritmos” (DEMO, 1999, p.17), e com esse domínio chegamos às máquinas térmicas.

Este percurso evidencia que, no processo de produção material, o ser humano idealiza os objetos que necessita, antecipa os resultados com base na análise de experiências passadas, ou por algum princípio recém descoberto e, que passa a ser acionado para a resolução de alguma situação prática. Em outras palavras, na produção há intelecção.

Como exemplo, para ilustrar as conexões entre o trabalho material e o trabalho não-material, podemos nos referir às máquinas térmicas: desde tempos remotos se sabe que o calor pode produzir vapor e o vapor pode produzir movimento. A eolípila, inventada por Herão de Alexandria (cerca de 100 a.C.), trabalhava segundo a terceira Lei de Newton, a Lei da Ação e da Reação: o vapor de água fazia com que ela girasse. Tratava-se, porém de um brinquedo (GASPAR, 2000, p.337), mas a dominação do poder do fogo continuou a ser objeto de interesse da humanidade. Embora esse imenso poder fosse perigoso de produzir e de difícil controle, era um poder conhecido e admirado que precisava ser desenvolvido.

Gradativamente, no decorrer do tempo, desenvolveram-se as técnicas necessárias à construção de máquinas térmicas, e apenas no séc. XVIII chegou-se às primeiras máquinas térmicas de interesse comercial e industrial, a máquina criada pelo capitão Thomas Savery (1650 – 1715).

Com a descoberta de materiais mais resistentes, soluções técnicas para antigos problemas, surgiram outras máquinas como a de Newcomen, a máquina de Watt e assim por diante.

Esse processo evolutivo evidencia o acúmulo, em patamares sucessivos de conhecimento teórico-prático, que são transmitidos de geração em geração. Podemos considerar que as indústrias são centros de trabalhos técnico-científicos, em que o trabalho material está indissolúvelmente articulado ao trabalho não -material. Neste “a execução não prescinde da concepção, a técnica não se dissocia da ciência”. (VALE, 1997, p.44).

³ Cf. Novo Dicionário Aurélio, 33ª impressão, Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1986.



É necessário nos lembrar que as relações do homem primitivo com a natureza decorreram essencialmente no plano da prática, numa relação em que a Magia, a Técnica precediam a Ciência. Como exemplo, podemos retomar as máquinas térmicas, cuja concepção e utilização foram efetivas.

Antes mesmo que se descobrisse as Leis da Termodinâmica e o moderno conceito, no qual o calor emerge como uma forma de energia, como outro exemplo, podemos citar o fato de se construir embarcações e de se navegar com sucesso antes que Arquimedes tivesse formulado os princípios da Hidrostática. No entanto, isso não deve relegar a Ciência a um segundo plano, pois os seus descobrimentos impulsionaram e impulsionam a Técnica.

É legítimo o papel da Ciência nos momentos em que a Técnica “encalha”, e o conhecimento científico, então, subsidia novas técnicas. Portanto, a divisão que se faz entre conhecimento científico e o desenvolvimento de tecnologia para a produção, ou para outras finalidades, é, geralmente, imprecisa.

Essa breve reflexão sobre o desenvolvimento de um importante ramo da Física, a Termodinâmica⁴, justifica-se pelo fato já mencionado de a Pedagogia Histórico-Crítica ressaltar a importância dos fundamentos político-histórico-filosóficos, privilegiando a finalidade, o sentido da educação (teleologia), bem como a natureza e os valores da educação.

É preciso pensar que a existência da escola é uma exigência do processo de assimilação do conhecimento sistematizado por parte das camadas excluídas da população, que – de um modo geral – estudam nas escolas públicas.

A concepção dialética, proposta por Saviani, também se recusa a colocar, no ponto de partida, determinada visão de homem. Interessa-lhe o homem concreto, isto é, *o homem como conjunto das relações sociais*.

Considera que a educação, segundo a concepção dialética que a rege, segue leis objetivas que não só podem, como devem, ser conhecidas pelo homem, concebendo a

⁴ Cf. Capítulo IV.



realidade como essencialmente dinâmica. Não nega o movimento para admitir o caráter essencial da realidade, como o faz a concepção humanista tradicional (na qual o homem é encarado como constituído por uma essência imutável, cabendo à educação conformar-se a essa essência, em que as mudanças são, pois, consideradas acidentais).

Saviani também não nega a essência para admitir o caráter dinâmico do real, como pensa a concepção humanista moderna, em que a existência precede a essência, ou, dito de outra forma, a natureza humana é mutável, determinada pela existência “*a priori*”.

Para o humanismo moderno se a educação estiver centrada no educador, no intelecto, como fonte de conhecimento então será questionada. O homem é considerado completo desde o nascimento e inacabado até morrer. Assim, o adulto não pode se constituir em modelo. Nessa concepção humanista moderna, a educação segue o ritmo vital que é variado, determinado pelas diferenças existenciais entre os indivíduos, todavia, admite idas e vindas com a predominância do psicológico sobre o lógico.

Num segundo sentido (mais restrito e especificamente existencialista), o humanismo moderno entende que na medida em que os momentos verdadeiramente educativos são raros e/ou instantâneos, momentos de plenitude, porém fugazes e gratuitos, esses momentos acontecem independentemente da vontade ou de preparação. Tudo o que se pode fazer é estar predisposto ante esta possibilidade⁵.

Essa concepção “humanista existencialista”, segundo Saviani, abrange as correntes tais como o Pragmatismo, Vitalismo, Historicismo, Existencialismo e Fenomenologia. (1980, p.16-18).

“Os momentos”, propostos por Saviani, envolvem o dinamismo da Pedagogia Dialética⁶, constituído pela interação recíproca do todo com as partes que o constituem, bem como pela contraposição das partes entre si. A sociedade está no indivíduo, como o indivíduo está na sociedade.

⁵ Esses “momentos educativos” são denominados pelo humanismo moderno como uma forma descontínua de educação em oposição ao humanismo tradicional que concebe uma linearidade, ou seja, uma forma contínua de educação.

⁶ Ibidem, idem.

Desse modo, determinada formação social, mercê das contradições que lhe são inerentes, engendra sua própria negação, evoluindo no sentido de uma nova formação social. Nesse sentido, podemos inferir que da desordem social pode nascer uma nova ordem social⁷.

Nesse contexto, o papel da educação será colocar-se a serviço da formação social, em gestação no seio da velha formação, até então dominante. A concepção dialética aponta, pois, para um sentido radical de inovação que significa mudar as raízes, as bases. Trata-se de uma concepção revolucionária de inovação. Dizer que algo é inovador significa, neste contexto, dizer que é revolucionário. Trata-se de reformular a própria finalidade da educação, isto é, colocá-la a serviço das forças emergentes da sociedade. Portanto, não se trata de usufruir momentos prazerosos e passageiros, ao contrário, pressupõe ação, luta de classes; transformação, portanto: mudança.

4. Importância dos Conteúdos na Pedagogia Histórico-Crítica

A análise do conhecimento produzido historicamente permite selecionar os conteúdos relevantes, básicos, clássicos. Conforme Saviani (1992, p.19-30) clássico não deve ser confundido com tradicional, pois conteúdos clássicos são aqueles que resistiram ao tempo e permaneceram como uma contribuição fundamental para o desenvolvimento cultural da humanidade.

Com o estudo teleológico, a seleção de conteúdos significativos (conteúdos clássicos) constitui-se em outro pilar que sustenta a Pedagogia Histórico-Crítica, conforme explicita Vale, em seu texto *“Diálogo aberto com Demerval Saviani”*. Os participantes do *“Simpósio Demerval Saviani e a Educação Brasileira”* tiveram como uma de suas preocupações o *“tratamento dos conteúdos no contexto da Pedagogia Histórico – Crítica”*⁸.

⁷ Nesse sentido, podemos aproximar Saviani de Morin. Cf. Capítulo II.

⁸ Esse diálogo com SAVIANI foi escrito por José Misael Ferreira do Vale, Professor-assistente doutor do Departamento de Educação da Faculdade de Ciências de Bauru/UNESP. Docente dos cursos de pós-graduação da Unesp Marília (FFC) e Bauru (FAAC). Este relato de Vale procura sintetizar os



Sabemos que essa linha pedagógica é uma formulação recente e que ainda não possibilitou a todos os educadores os desdobramentos práticos esperados.

Por ser os conteúdos (conhecimento historicamente produzido) uma preocupação marcante da Pedagogia Histórico-Crítica, urge evitarmos duas posições equivocadas: a) pensar que os conteúdos são autônomos sem vínculos com a prática social, ou seja, pensar que os conteúdos se bastam por si, conforme a pedagogia tradicional; b) acreditar que os conteúdos são irrelevantes, colocando todo o peso da ação docente na luta política, ou privilegiando em demasia a questão metodológica como queria a pedagogia nova.

Numa visão Histórico-Crítica da educação, os conhecimentos culturais, os saberes sistematizados, ligam-se de forma indissociável à significação humana e social da cultura. Nessa visão, o compromisso político e a competência técnica formam a “*síntese do diverso*”.

A nosso ver, Saviani coloca-nos a seguinte reflexão dialética: como concebermos uma escola que não seja meramente conteudista, somente centrada no interesse do educando, privilegiando conteúdos que lhe são prazerosos, em detrimento do conteúdo clássico, historicamente produzido e sistematizado?

A concepção de um ensino apenas alegre e prazeroso, defendida por muitos educadores, merece uma profunda reflexão. Nem mesmo os jogos e as brincadeiras são motivados unicamente pelo prazer. Conforme Vygotsky⁹, existe uma dose de frustração e desprazer nos jogos e brincadeiras. Por exemplo, quando as crianças soltam pipas, geralmente as menores acabam subjugadas e perdem seus brinquedos nos embates aéreos, o que lhes causam enormes frustrações, isso ocorre por não dominarem a técnica, mas ao invés de desistirem, continuam e após alguns obstáculos acabam por dominar a técnica e garantem a “superioridade aérea”.

questionamentos que os participantes do Simpósio Demerval Saviani propuseram ao próprio prof. Saviani, nos dias 18 e 19 de maio de 1994, em Marília (SP). Por mais de quatro horas, foi possível esclarecer vários pontos e dirimir as dúvidas que os educadores presentes tinham em relação à Pedagogia Crítico-Social dos Conteúdos, ou, como também é conhecida a Pedagogia Dialética dos Conteúdos.

⁹ Cf. VIGOTSKY, apud Gaspar IN “Teoria de Vygotsky e o ensino da Física”.



Podemos notar que o importante é aprender o jogo e dominar o brinquedo, o prazer e o sucesso são conseqüências. Se o ensino de Ciências for apresentado como um desafio a ser vencido, e se nesse processo de retirada dos véus do incompreensível, houver momentos de prazer, de sucesso, a aprendizagem estará sendo processada; em caso contrário, devemos interferir e auxiliar o aprendiz, porque esses momentos de novas aquisições superiores terão mais chances de serem alcançados.

Portanto, se aderirmos à proposta de uma escola somente prazerosa e assistencialista, estaremos, desse modo, negando a consciência crítica dos meios naturais, do ambiente dinamicamente histórico e político em que os aprendizes estão inseridos, haja vista, que, em nossa concepção, os conteúdos em Ciências desempenham um papel crucial ao possibilitar aos alunos a significação e o desvendar do mundo que os rodeia. Desvendar não se limita mais a um simples acúmulo de informações científicas sobre a realidade, mas um **apropriar-se da cultura elaborada** para que possamos participar ativamente das conquistas da Ciência e da Tecnologia.

Explicar o mundo que nos cerca e efetuarmos escolhas adequadas e conscientes, no contexto dos meios de comunicação de massa é complicado, porque sabemos que notícias são produtos à venda e nem sempre as “ditas” científicas, dos cadernos de divulgação científica, são realmente “científicas”.

O trabalho educativo realiza a ligação entre teoria e a atividade prática transformadora valorizando a instrução como um meio fundamental para instrumentalizar os alunos.

O saber sistematizado (conteúdo) será tanto mais eficaz, quanto mais difundido for; pois, sabemos que todo conhecimento, acessível a poucos, gera poder nem sempre democrático. A democratização do conhecimento (Ciência, Tecnologia, Cultura, etc.) é condição básica para o desenvolvimento do país. Com isso em mente, podemos afirmar que a redução dos conteúdos significativos ou qualquer tentativa de aligeirar esses conteúdos se constitui numa atitude conservadora, que encontra guarida na classe dominante por esta estar em consonância com perversos interesses, resultantes sempre da tentativa de



manipular e subjugar o coletivo (o povo), tornando-o massa de manobra e mão-de-obra barata.

À revelia desses interesses sórdidos, devemos lutar por uma escola pública democrática que atenda, prioritariamente, à quantidade contanto que se atente também à qualidade. Essa dialética: qualidade/ quantidade precisa ser revista, pois o slogan “Escola para todos” significa que toda criança está na escola; com isso quer o governo propagandisticamente demonstrar ser democrático.

Enquanto os políticos preocupam-se com a “quantidade” e “índice de aprovações”, os educadores precisam “*curvar a vara*”¹⁰ para o pólo da qualidade e propiciar ensino crítico em escolas públicas, tendo em mente teleologicamente formar um coletivo instruído de leitores reflexivos, objetivando unir as pessoas numa sociedade com equidade e justiça.

Na atual conjuntura brasileira, isto pode parecer utopia e/ou idealismo, não importa; sabemos que utopia realizada deixa de ser utopia, mas precisamos desse conceito, ou nos conformamos com a situação vigente. Ou, como outra opção, cruzamos os braços e seremos guiados pelas já mencionadas sórdidas e perversas manipulações da classe dominante que nos impõem sua hegemonia, fazendo-nos crer que seus interesses atendem às maiorias tanto quanto aos privilegiados.

No intuito de reverter essa situação, a proposta da Pedagogia Histórico-Crítica nos faz considerar a natureza da educação. A relação visceral entre teoria e prática pedagógica é tratada como:

Uma pedagogia articulada, com os interesses populares [que] valorizará, pois, a escola; não será indiferente ao que ocorre em seu interior; estará empenhada em que a escola funcione bem: portanto, estará interessada em métodos de ensino eficazes. Tais métodos se situarão para além dos métodos tradicionais e novos, superando por incorporação as contribuições de uns e de outros. Portanto, serão métodos que estimularão a atividade e iniciativa dos alunos sem abrir mão, porém, da iniciativa do professor: favorecerão o diálogo dos alunos entre si e com o

¹⁰ Cf. SAVIANI, “Escola e Democracia”, São Paulo: Cortez, 1983, p 40-41.



professor, mas sem deixar de valorizar o diálogo com a cultura acumulada historicamente: levarão em conta os interesses dos alunos, os ritmos de aprendizagem e o seu desenvolvimento psicológico, mas sem perder de vista a sistematização lógica dos conhecimentos, sua ordenação e gradação para efeitos do processo de transmissão/assimilação dos conteúdos cognitivos. (SAVIANI, 1983, p.72-3).

A escola é a instituição mediadora entre o conhecimento significativo e o estudante que se esforça para se apropriar do saber “erudito”, “clássico” gerado pelo esforço coletivo da sociedade ao longo do tempo histórico. Conforme Saviani¹¹, A questão é “articular o trabalho desenvolvido nas escolas com o processo de democratização da sociedade” (SAVIANI, 1983, p.82); e isso significa articular o processo de apropriação dos conteúdos a uma do currículo que privilegie o conhecimento “clássico” (o conhecimento que resistiu ao tempo e se tornou básico para toda a humanidade). Isso posto, não faz sentido desvincular as disciplinas e “os conteúdos específicos de cada disciplina das finalidades sociais mais amplas”.(SAVIANI, 1983, p.83).

Dessa forma, conforme vimos, pode-se pensar que os conteúdos valem por si mesmos (pedagogia tradicional), sem necessidade de contextualizá-los na prática social, ou que os conteúdos não tem importância, enfatizando a luta política, anulando a contribuição pedagógica e a possibilidade de transformação social, com isso, paradoxalmente, anula-se a importância política da escola pública alienando grande parte da população assistida por ela.

¹¹ Ibidem, idem.



5. Os Métodos de Ensino Propostos pela Pedagogia Histórico-Crítica

Para completar a tríade sobre a qual se sustenta a Pedagogia Histórico-Crítica, tendo em mente que os conteúdos não valem por si mesmo, o ensino da Física não pode fundamentar-se na memorização de conteúdos distantes da realidade dos alunos, conteúdos culturais desligados da prática social, isto é, isolados do mundo do trabalho, da vida social, do contexto que dão sentido à ação humana. Desta forma, surge a questão do método de ensino, pois uma educação pautada em conteúdos críticos, clássicos, deve permitir aos educandos ressignificá-los, isto é, atribuir-lhes novas significações; assim, os alunos tornam-se pessoas humanas e não apenas indivíduos biofísicos: seres humanos históricos capazes de construir a sociedade que almejam.

Para que alcancemos esse objetivo, Saviani nos propõem, como ponto de partida metodológico, um ensino plasmado na prática social, pois esta nos permite a identificação de problemas fundamentais comuns a um determinado contexto histórico, e ao universo do professor e do aluno. Na pedagogia tradicional, partia sempre de conteúdos que interessavam somente ao professor. Por sua vez, a pedagogia nova tinha como ponto de partida atividades que eram iniciativas dos alunos. Porém, o verdadeiro ponto de partida da Pedagogia Histórico-Crítica é a *prática social*, que é comum a professor e alunos.

Num segundo momento, será priorizada a identificação dos principais problemas postos pela prática social. A *problematização*, quando se torna essencial à relação *escola – sociedade*; nesta etapa, identificam-se as questões que precisam ser resolvidas no âmbito da prática social. Nesse momento precisamos acionar nossa experiência pedagógica, determinando os conhecimentos científicos que precisam ser assimilados e relacionando-os aos conhecimentos tecnológicos; havendo, assim, a necessidade de apropriação de instrumentos teóricos e práticos indispensáveis e possíveis para a solução das questões postas por esta prática que para nós, enquanto educadores, tornam-se imprescindível.

Do que foi exposto acima, também se percebe evidentemente a diferença com a pedagogia tradicional que tem como segundo momento a apresentação de novos



conhecimentos por parte do professor, e também a diferença com a pedagogia nova, cujo segundo momento se caracteriza pela colocação do problema como obstáculo que interrompe a atividade dos alunos.

O terceiro momento metodológico também não coincide com a pedagogia tradicional que pressupõem para esse momento, a assimilação dos conteúdos transmitidos pelo professor por comparação com conhecimentos anteriores, nem com a coleta de dados da pedagogia nova. Mas na Pedagogia Histórico – Crítica é o momento da instrumentalização, ou seja, a apropriação dos instrumentos teóricos e práticos, necessários ao equacionamento do problema detectado na prática social. Nesse processo é fundamental não perder de vista que a educação é uma prática mediadora e relaciona-se dialeticamente com a sociedade. Em outras palavras: a educação como *prática mediadora* terá na *prática social* o seu ponto de partida e de chegada. Essa opção pedagógica permite aos alunos perceberem-se como seres capazes de transformar a realidade em que vivem mediante a apropriação de ferramentas culturais indispensáveis à compreensão e apreensão do mundo.

Numa visão progressista da educação, o professor deve incentivar “o diálogo dos alunos entre si e com o professor” sem negligenciar o conteúdo “clássico”, a “cultura erudita”, adquirida e sistematizada no decorrer da evolução histórica da humanidade.

Conforme Vale, cada educador em sua área de atuação tem uma contribuição a dar ao processo de democratização da cultura. Essa “contribuição se consubstancia na instrumentalização, isto é, nas ferramentas de caráter histórico, matemático, científico, literário etc. que o professor seja capaz de colocar de posse dos alunos”. (SAVIANI, 1983, p.83).

Como a educação neste contexto terá na prática social o seu ponto de partida e chegada cabe ao educador ser eficaz e capaz de articular a sua prática pedagógica com a prática social geral. Nesse sentido, o papel da escola é transmitir significativamente e de uma forma compreensiva conteúdos sociais vivos e concretos, indissociáveis das realidades sociais.

A valorização da escola como mediadora, como local de apropriação do saber, é o melhor serviço que se presta aos interesses populares. Cabe a própria escola contribuir



para eliminar a seletividade social. Ela é a responsável pela democratização efetiva dos saberes clássicos que transmitidos significativamente e de forma compreensiva aos alunos irão possibilitar às classes dominadas terem consciência de seu papel de exploradas socialmente, para poderem se conscientizar que podem e devem transformar a sua própria realidade e melhorar a sociedade.

O quarto momento da pedagogia Histórico-Crítica não será a generalização como na pedagogia tradicional, generalização essa que não é outra coisa senão a subsunção de todos os elementos que integram a mesma classe de fenômenos, usando como base uma lei extraída dos elementos observados.

Não se confunde também com o levantamento de hipóteses da pedagogia nova, sendo, neste momento, fundamental para a Pedagogia Histórico-Crítica a apropriação ou assimilação dos instrumentos culturais, transformados em elementos ativos de transformação. Saviani também chama este momento de *catarse* com o mesmo sentido dado por Gramsci, em que se entende catarse como uma composição superior da estrutura em superestrutura no nível da consciência humana.

O quinto momento, como todo os demais, também difere da pedagogia tradicional, que pressupõem para esse estágio a *aplicação* do conhecimento obtido, verificando com exemplos novos, determinados pelo professor, se o conhecimento foi assimilado. Por fim, difere da pedagogia nova com a *experimentação*, em que se confirma ou rejeita as hipóteses do quarto momento, mas para a pedagogia Histórico-Crítica é o ponto de chegada, que (como dissemos) é também o ponto de partida, ou seja, a própria prática social, chega-se ao mesmo ponto, mas não com o mesmo espírito, pois os alunos ascenderam a um nível que lhes permite, através da análise (“abstrações e determinações mais simples”), chegar à síntese (“uma rica totalidade de determinações e de relações numerosas”).

A prática social que, em nosso entender, é uma forma de dar veracidade ao conhecimento, é agora compreendida não mais em termos sincréticos.

Consideramos que o verdadeiro método conduz o aluno de uma visão fragmentada e desconexa do todo, ou seja, de uma visão sincrética para uma visão sintética



desse todo (e, segundo Marx, quanto mais se aprofunda na análise, melhor se chega à síntese), visão sintética que o professor pretensamente já possuía desde o momento inicial, e os alunos, então, retornam ao ponto inicial, fechando, dessa forma, o círculo, mas retornam em níveis superiores. De acordo com Saviani:

Daí porque o momento catártico pode ser considerado o ponto culminante do processo educativo, já que é aí que se realiza pela mediação da análise levada a cabo no processo de ensino, a passagem da síncrese à síntese; em consequência, manifesta-se nos alunos a capacidade de expressarem uma compreensão da prática em termos tão elaborados quanto era possível ao professor. É a esse fenômeno que eu me referia quando dizia em outro trabalho que a educação é uma atividade que supõem uma heterogeneidade real e uma homogeneidade possível; uma desigualdade no ponto de partida e uma igualdade no ponto de chegada. (SAVIANI, 1983, p.75-6).

Ainda de acordo com Saviani, no método que foi exposto acima, é possível perceber que a compreensão da prática social passa por uma alteração qualitativa, e paradoxalmente ela pode ser e/ou não ser a mesma. Ela é a mesma no sentido em que o tema extraído, o fenômeno estudado é o mesmo, na constituição do suporte e do contexto, no fundamento e na finalidade. E a prática social não é a mesma no sentido em que a postura do indivíduo em seu interior se modifica qualitativamente, (pretensamente o aluno do primeiro momento não será o aluno do quinto momento) devido à mediação do processo pedagógico, e como ser social ativo e real constituinte da prática social, esta se modificará qualitativamente com a ação do indivíduo, ficando evidente que esta transformação foi possível por sermos agentes sociais ativos. Com isso, Saviani conclui que a educação não age de modo direto e imediato, mas de modo indireto e mediato, em decorrência da sua própria natureza e especificidade, cujo produto não se separa do ato de produção e cuja ação acontece no plano dos conhecimentos, das idéias, dos conceitos, valores, atitudes, hábitos e símbolos. Uma vez que ele tem uma visão de educação como *“atividade mediadora no seio da prática social global”*. Desse modo, Saviani esclarece o motivo de ter tomado a prática social como ponto de partida e ponto de chegada, no método por ele elaborado e preconizado.



A escola tem que ser um espaço de ensino em que as opiniões, o saber popular, os palpites, as crenças e toda forma de conhecimento “por ouvir dizer” não se justificam. “É exigência da apropriação do conhecimento sistematizado por parte das novas gerações que torna necessária a existência da escola” (SAVIANI, 1997, p.19).

Este autor está convicto de que a essência do trabalho educativo, em qualquer contexto, resume-se no:

ato de produzir, direta e intencionalmente, em cada indivíduo singular, a humanidade que é produzida histórica e coletivamente pelo conjunto dos homens (...) O objeto da educação diz respeito, de um lado, à identificação dos elementos culturais que precisam ser assimilados pelos indivíduos da espécie humana para que eles se tornem humanos e, de outro lado e concomitantemente, à descoberta das formas mais adequadas para atingir esse objetivo (SAVIANI, 1997, p.17).

Sobre o ensino de automatismos na escola, Saviani considera justa a crítica feita pela Escola Nova, quando esta considerava que os conteúdos trabalhados pelo Ensino Tradicional, por falta de uma visão teleológica, se tornavam vazios sem um objetivo aparente de estarem sendo estudados. Porém, no processo de se desligar dessa transmissão mecânica dos conteúdos, a Escola Nova radicalizou ao considerar toda transmissão de conteúdos como mecânica e a utilização de qualquer mecanismo como anticriativa, acusando o automatismo de tolher a liberdade dos educandos; no entanto, Saviani assevera que a aquisição de automatismos é condição da própria liberdade “e que não é possível ser criativo sem dominar determinados mecanismos” (SAVIANI, 1997, p.23). Portanto, o automatismo não deve ser identificado com *automatização ou robotização do ser humano* e acrescenta que o domínio de certos mecanismos é condição para que a liberdade possa aflorar.

Só haverá criatividade, quando se domina um sem-número de automatismos indispensáveis à economia da ação e do pensamento. Assim, por exemplo, para se aprender a dirigir um automóvel é preciso repetir constantemente os mesmos atos até se familiarizar

com eles. Saviani assevera que exatamente quando se atinge o automatismo, é quando se tem a oportunidade de exercer efetivamente com liberdade uma determinada atividade.

Conforme reitera Vale: a afirmação valeria, por exemplo, para a aprendizagem de um instrumento musical ou no caso da aprendizagem da leitura e da escrita. Na alfabetização, quando se adquire um *habitus*, uma ação irreversível, que permitirá aos escritores e aos leitores produzirem textos sem precisar, a cada frase, imaginar a existência de letras, sílabas para a formação de palavras.

A escola nova, segundo Saviani, tinha razão quando evidenciava o fato de o ensino tradicional ter perdido de vista os fins da educação, tornando os conteúdos mecânicos e vazios, sem referência à prática social, mas excedeu ao considerar toda transmissão como mecânica e todo *habitus* anticriativo e negador da liberdade.

A pedagogia Histórico-Crítica entende que a liberação não significa abandonar ou deixar de lado o mecanismo. A liberação se dá no momento em que o próprio mecanismo é apropriado, dominado e internalizado, passando, em consequência, a operar no interior de nossa própria estrutura orgânica, ou seja, dominadas as formas básicas, a leitura e a escrita podem fluir com segurança e desenvoltura¹².

Na medida em que vai se libertando dos aspectos mecânicos, o alfabetizando pode, progressivamente, ir concentrando cada vez mais sua atenção no conteúdo, isto é, no significado daquilo que é lido ou escrito, quando ele for capaz de exercê-la livremente, nesse exato momento, ele deixou de ser aprendiz.

6. A Pedagogia Histórico-Crítica e o Construtivismo

Em relação ao Construtivismo, esclarece-nos Saviani: se o mesmo é um modismo ou não, no processo de ensino-aprendizagem, isto não é a questão fundamental na escola de hoje a ser problematizada. A esse respeito ele nos ensina os limites da visão

¹² Ibidem, p.27.



naturalista da inteligência, que supervalorizando os componentes biológicos, no processo de desenvolvimento, minimiza, na verdade, o papel dos conteúdos escolares.

No método da pedagogia Histórico-Crítica, os conteúdos não partem do saber espontâneo biopsíquico, mas de uma relação direta com a experiência do aluno, confrontada com o saber trazido de fora. Desse modo, o trabalho docente relaciona a prática vivida pelos alunos com os conteúdos propostos pelo professor, momento que se dará a “ruptura” em relação à experiência pouco elaborada do saber meramente espontâneo (assistemático). Tal ruptura apenas é possível com a introdução explícita, pelo professor, dos elementos novos de análise a serem aplicados criticamente à prática discente. Em outras palavras, uma aula começa pela constatação da prática social real, havendo, em seguida, a consciência dessa prática no sentido de referi-la a experiência e a explicação do professor. Vale dizer: vai-se da ação à compreensão e da compreensão à ação, até se chegar a uma síntese, o que não é outra coisa senão a unidade entre teoria e prática, ou seja, a práxis.

Segundo o próprio Saviani, a pedagogia Histórico-Crítica é convergente com a teoria de aprendizagem elaborada por Lev Semenovich Vygotsky. Essa teoria parte do pressuposto de que o processo de desenvolvimento cognitivo do ser humano se fundamenta a partir de uma base biológica (um ponto em comum entre Piaget e Vigotsky), que integra estruturas provenientes de duas raízes, uma ligada à história social da humanidade, e outra ligada ao próprio indivíduo, portanto, Vigotsky ressalta a análise do reflexo da sociedade, ou seja, do exterior no mundo interior do indivíduo, considerando que o desenvolvimento cognitivo se dá pela interação social, de fora para dentro, e não concebido como construção de um plano interno do indivíduo, de dentro para fora. Este psicólogo afirma que não faz sentido falar de aprendizagem independentemente de uma etapa particular de desenvolvimento ontogênico alcançada pelo sujeito (e nisso está próximo a Piaget); contudo, Vigotsky lembra que a aprendizagem tem papel relevante no desenvolvimento (e aqui ele vai além de Piaget). A visão dialética desse psicólogo permite compreender, de modo dinâmico a relação desenvolvimento-aprendizagem-desenvolvimento que serve de base à teoria da área potencial de desenvolvimento do próprio Vigotsky¹³. Ainda de acordo

¹³ Cf. Demerval Saviani, *O Simpósio de Marília*, São Paulo: Cortez, 1994. p. 232.



com Vigotsky, a aprendizagem é fundamental para o desenvolvimento, mas precede o desenvolvimento numa relação dialética. Com isso, ele introduz um conceito extremamente relevante, em termos educacionais, o conceito de zona de desenvolvimento imediato, que, em suma, pressupõe a existência de um desnível cognitivo entre os alunos e um parceiro mais capaz, o professor, e com o auxílio dele, os alunos podem realizar tarefas que sozinhos não seriam capazes, por estarem num nível de desenvolvimento insuficiente.

A repercussão na prática pedagógica sugere que a relação entre aprendizado e ensino seja reavaliada, pois, segundo o conceito de zona de desenvolvimento imediato, as teorias pedagógicas que pressupõe que o ensino seja direcionado conforme estágios cognitivos predeterminados, são equivocadas, pois, segundo Vigotsky:

O aprendizado orientado para níveis de desenvolvimento que já foram atingidos é ineficaz do ponto de vista do desenvolvimento global da criança. Ele não se dirige para um novo estágio do processo de desenvolvimento, mas, em vez disso, vai a reboque desse processo. Assim, a noção de zona de desenvolvimento imediato capacita-nos a propor uma nova fórmula, a de que o “bom aprendizado” é somente aquele que se adianta ao desenvolvimento (VIGOTSKY, 1989, p.100).

Portanto, entendemos dessa teoria que a aprendizagem é possível mesmo que os alunos ainda não tenham todas as funções intelectuais para compreenderem os conceitos apresentados, o que ocorrerá, de acordo com a teoria, é que essas funções serão desenvolvidas conforme os conceitos apresentados e ensinados exigirem a existência dessas funções intelectuais, algo que naturalmente demanda algum tempo, e esse tempo é relativo dependendo de cada indivíduo. Desse modo, o conceito de zona de desenvolvimento imediato implica a possibilidade da geração de funções cognitivas, na mente dos alunos, conforme essas funções forem requisitadas. Assim, de acordo com Vale:

aprendizagem não é em si mesma desenvolvimento; contudo, uma correta organização da aprendizagem conduz ao desenvolvimento mental, ativa todo um grupo de processos de desenvolvimento e esta ativação não aconteceria sem o concurso da aprendizagem. Por isso, a

aprendizagem é um momento intrinsecamente necessário e universal para que se desenvolvam nas pessoas as características humanas não-naturais resultantes do contato como a cultura historicamente construída que constitui, no ser humano, a sua segunda natureza. (VALE, 1994, p.233).

Vigotsky valoriza também o papel social da fala na comunicação eficaz e necessária, privilegiando, como Saviani, o aspecto sócio-histórico na aprendizagem da fala. Como podemos ver na seguinte passagem:

Consideramos que o desenvolvimento total evolui da seguinte forma: a função primordial da fala, tanto nas crianças quanto nos adultos, é a comunicação, o contato social. A fala mais primitiva da criança é, portanto, essencialmente social. A princípio, é global, e multifacetada; posteriormente, suas funções tornam-se diferenciadas. Numa certa idade, a fala social da criança divide-se muito nitidamente em fala egocêntrica e fala comunicativa. (Preferimos utilizar o termo comunicativo para o tipo de fala que Piaget chama de socializada, como se tivesse sido outra coisa antes de se tornar social. Do nosso ponto de vista, as duas formas, a comunicativa e a egocêntrica, são sociais, embora suas funções sejam diferentes). A fala egocêntrica emerge quando a criança transfere formas sociais e cooperativas de comportamento para a esfera das funções psíquicas interiores e pessoais. (VIGOTSKY, 2000, p.23).

Podemos concluir, desse modo, que a Pedagogia Histórico-Crítica tem pontos convergentes com a psicologia proposta por Vigotsky, voltada ao social que incorpora ao seu universo teórico a historicidade da própria realidade comunicativa, como necessidade psicológica dos indivíduos humanos de se interagir entre si e com o meio cultural. Nesse sentido, uma psicologia que não se separa da vida social, pois considera que o ser humano constrói conhecimento na história e na cultura, a partir de interações com outros homens e com a realidade em que vive.

Como já dissemos, a aprendizagem é fundamental para o desenvolvimento e implica na apropriação de conhecimento, com planejamento e reorganização das experiências para os alunos permitindo, mais facilmente, valorizar a atividade docente

como elemento decisivo no processo de aprendizagem, responsável por levar às gerações jovens a cultura erudita sistematizada que é geradora de desenvolvimento.

Vale ressaltar que Vigotsky enfatiza, também, os conteúdos escolares, e não somente a instrução. Assim como Saviani, a teoria de Vigotsky valoriza a escola, pois, a aprendizagem escolar formal, apresentada por esta teoria é o motor do desenvolvimento cognitivo, colocando o ensino formal, numa dimensão maior:

o aprendizado adequadamente organizado resulta em desenvolvimento mental e põe em movimento vários processos que, de outra forma, seriam impossíveis de acontecer. Assim, o aprendizado é um aspecto necessário e universal do processo de desenvolvimento das funções psicológicas culturalmente organizadas e especificamente humanas. (VIGOTSKY, 1989, p101).

Com isso entendemos, mais uma vez, que a escola, espaço do ensino, da transmissão compreensiva do conteúdo clássico, do conhecimento sistematizado ao longo da história humana, é fundamental e aspectos pedagógicos tidos como ultrapassados, por exemplo, a aula expositiva, são revalorizados, porém, sob uma nova perspectiva, não mais centrado na figura do professor, no monólogo do “magister dixit”, ou na transcrição sistemática de conteúdos do livro-texto ou do caderno do professor para o caderno do aluno, sem dar um sentido social para esse conteúdo. Essa aula expositiva, num sentido vigotskiano, deverá ser dada com a intervenção do professor. Este ocupando papel do parceiro mais capaz interagindo, num sentido de atingir a zona de desenvolvimento imediato dos alunos.

Esta psicologia é que permitirá a verdadeira finalidade da educação: transformar a sociedade para que esta ofereça equidade e justiça a todos os homens. Para isso, espera-se de todo educador competência política e compromisso ético sem prescindir dos compromissos técnicos necessários.



7. A escola que nos convém

A escola excludente do passado, cuja ação docente centrada na cultura erudita, atingia apenas aos filhos da aristocracia teve que se reformular após a revolução francesa, pois o que era privilégio de poucos passou a ser reivindicado pela burguesia e conseqüentemente como direito de todos. Surge, assim, a preocupação com a educação (instrução) do povo, a formação de um “coletivo instruído”, por exigência, inclusive, da classe burguesa que estava tentando consolidar-se como classe dominante. Dessa forma, o direito à educação passa a ser um dos elementos constitutivos do projeto de construção do cidadão.

Toda nação politicamente organizada deve oferecer “educação para todos”:

em razão da exigência da população que reconhece a escola como um bem social e como oportunidade de adquirir instrumentos culturais que permitam a transformação do social existente, e a inserção num mundo letrado, centrado no trabalho, que exige dos alunos o domínio de ferramentas culturais básicas, necessárias para a leitura, compreensão e cálculos, o que se constitui no “ABC tradicional” (MANACORDA apud VALE, 1997, p45).

Acrescenta Vale que o “ABC Tradicional” é base para o “ABC contemporâneo” centrado no conhecimento da linguagem binária, nos computadores, na tecnologia e na compreensão científica dos fatos e da realidade natural, social e humana.

“Vale a pena dizer que hoje somente a escola pública, leiga, gratuita e democrática, pode e deve atender a quantidade; num país honesto nenhuma criança poderá ficar à margem do processo de escolarização. O atendimento à quantidade é prioridade. Colocar o povo na sala de aula é medida salutar contanto que se cuide, também, da qualidade da educação oferecida à população que através do trabalho produtivo gera as condições para a manutenção da estrutura escolar” (VALE, 1997, p.45).

No entanto, na questão da qualidade, os educadores sérios e comprometidos, conscientes que a democratização da sociedade passa também pela redemocratização da cultura, precisam estar atentos com o que Vale chamou de “artimanhas do poder”, da classe dominante que deseja ver o povo sempre subjugado e sob a égide da propaganda apregoa o atendimento à quantidade, mas descuida da infra-estrutura escolar, superlota as classes, inviabilizando, dessa forma, um atendimento adequado dos alunos por parte, do professor. Determina subliminarmente que todos os alunos devem ser aprovados, o que resulta em relaxamento, por parte dos alunos em relação aos estudos, pois, sabem que com mínimo esforço serão aprovados.

Devemos considerar o imediatismo das crianças e adolescentes, que pensam no aqui e agora e não no futuro, o que é natural; no entanto, não se trata de voltar à política de reprovações em massa, o que acaba desestimulando o aluno, mas de termos critérios precisos e bem definidos, que visem ao desenvolvimento, à evolução escolar bem estruturada; algo do que o governo certamente se defenderá dizendo que isto (qualidade) já existe e é efetivo; algo que a experiência diária do professor, numa escola pública, mostrará ser apenas propaganda, enquanto os altos índices de resultados obtidos pelas avaliações externas (SARESP) não correspondem à realidade. Embora recentemente, algumas revistas tenham noticiado a decadência da qualidade do ensino público, publicando parágrafos escritos por alunos do ensino fundamental por volta do sexto ano, nos quais não se encontram apenas erros corriqueiros de ortografia nas redações discentes, mas uma quase completa inabilidade na escrita, denunciando um semi-analfabetismo, num estágio escolar que há pouco tempo permitia aos alunos dissertar, narrar e descrever.

Algumas avaliações, como vimos, (SARESP e o ENEM) também evidenciam a queda de qualidade e a minimização da responsabilidade discente. Mas, através da propaganda, o governo festeja índices de aprovações. Em relação à quantidade de alunos atendida pela escola pública, verificamos um excesso que inviabiliza estudos em grupo e atendimento às dificuldades particulares dos alunos, o que acarreta o detrimento da qualidade, diga-se de passagem, transformando a escola pública em um “depósito de alunos”.



A luta por uma escola pública que torne realidade a dialética da quantidade – qualidade faz sentido porque a educação escolar mantida pelo poder público é hoje o único espaço possível para milhões de crianças das camadas populares adquirirem os instrumentos intelectuais indispensáveis à inserção no mundo cifrado, tecnologizado, centrado na ciência, na cultura letrada, nos meios de comunicação de massa, um mundo que está a exigir um aluno crítico, capaz de apropriar-se dos conhecimentos teóricos – práticos como ferramentas intelectuais e saber manejá-las em proveito de si e da coletividade. (VALE, 1997, p.45).

Não é nenhuma novidade afirmarmos que devemos mudar a escola, mas em vista da situação vigente, é preciso reiterar e empreender essa luta, que é, sobretudo, um compromisso político para muitos.

O ideal é que absolutamente todos se empenhassem. De acordo com Paulo Freire em entrevista intitulada “Escola Viva” exibido em 14/09/93 pela TV Cultura, este autor afirma que todo professor de norte a sul do país deveria se negar a colocar os pés na escola, que se fechassem todas as portas das escolas, como protesto pelas condições a que está submetida a escola pública, como uma forma de dizer não às “artimanhas do poder” e compelir o governo a engendrar planos e iniciativas que visem à qualidade, e condições de ensino dignas e humanas.

A unanimidade certamente é utópica, mas precisamos, ao menos, lançar os educadores numa reflexão sobre a política educacional no Brasil.

Segundo Vale, as dificuldades de se administrar a escola pública na atual conjuntura, requer uma Equipe Diretiva competente, não mais um Diretor centralizador e burocrático, mas uma equipe diretiva (Diretor, Vice – Diretor, Professor Coordenador Pedagógico) profundamente conscientes de suas funções para poder coordenar e congregar os esforços de uma unidade escolar.

Torna-se imprescindível a construção de um projeto pedagógico coletivo, tendo em vista as reais necessidades e prioridades dos educadores e alunos, estimulando a comunicação entre os professores, evitando que se isolem em suas áreas específicas, propiciando um trabalho comunitário e re-organizando as preocupações pedagógicas, tendo

sempre em mente os objetivos de uma educação que propicie um ensino de qualidade e emancipatório. Para Vale, uma educação de qualidade terá como objetivos:

- Valorizar o conhecimento clássico produzido historicamente pela humanidade num processo cumulativo e selecionado de acordo com sua pertinência e importância geral.
- Transmitir esse legado cultural às novas gerações, e ainda estar atualizada [a educação] no que diz respeito às novidades, aos avanços científicos, resultado da pesquisa, e incorporá-los no programa das disciplinas.
- Ressaltar que não se deve confundir conhecimento clássico com tradicional, pois, o conhecimento clássico é uma conquista da inteligência humana, é conhecimento básico, o saber sistematizado, que permite um salto na compreensão dos fenômenos e da natureza.

Em conformidade com a convicção de que o que dá veracidade ao conhecimento é a prática social, a escola trabalhará os conteúdos articulando-os à prática social. E como a seleção dos conteúdos relevantes, referenciados socialmente, bem como sua transposição didática é de responsabilidade do professor, este deverá ser considerado como o principal responsável pelo processo do ensino e aprendizagem. Qualquer discussão sobre qualidade de ensino precisará colocá-lo no centro das considerações pedagógicas. Sua formação e capacitação contínua devem ser alvo de cuidadosa análise, pois, dele depende a formação de um coletivo instruído, que fará progredir uma nação.

A Equipe Diretiva deverá estar comprometida com a democratização do ensino. Terá que apoiar a ação docente e participar ativamente na criação de um ambiente escolar e, dessa forma, ser capaz dialeticamente de propiciar um ensino de qualidade para a quantidade. Isso exigirá uma união de esforços que deverá ser organizada pela coletividade cuja ação deve ser articuladora.

Quanto mais se transmite o conhecimento, mas contribuímos à sua progressão que deve ser “re-vigorizada” pela pesquisa e validada num certo momento histórico pelos



membros da comunidade científica. Da mesma forma que um país que investe na prática esportiva, terá certamente grandes atletas arrebanhando um considerável número de medalhas, o conhecimento científico poderá proporcionar grandes avanços na compreensão dos fenômenos da natureza e dos fenômenos sócio-histórico-culturais, gerando mais conhecimentos. Pensamos que, dessa forma, fica clara a afirmação de que o conhecimento é síntese de ensino e de pesquisa.

Como não é possível transmitir todo o conhecimento acumulado, deve-se fazer a seleção de conteúdos significativos, relevantes ancorados na prática social vigente, conforme nos assevera Vale, “fazer do estudante alguém contemporâneo do seu tempo e capaz de pensar o mundo em bases racionais”, evitando o culto da Ciência como “Redentora da humanidade”, algo muito além do entendimento de uma pessoa comum e que só possa ser compreendida e desenvolvida por alguns privilegiados.

Em nosso entendimento, uma maneira de evitar a mistificação, surge no momento, por exemplo, em que se demonstra claramente o princípio de funcionamento de alguns aparelhos tecnológicos. Há ciência existente, por trás dos fenômenos. Por isso não basta ao aluno saber que todo material aquecido, por exemplo, dilata-se, é preciso que ele entenda porque isso ocorre, será fundamental que o estudante explique porque a lâmpada se acende quando acionada pelo interruptor. Dessa forma, articularmos o conteúdo programático com aquilo que é vivenciado pelos alunos na sociedade contemporânea.

Também consideramos que a escola deve buscar uma didática que envolva o aluno, fazendo-o se responsabilizar pelo seu próprio aprendizado, requisitando sua participação com métodos que lhe dêem autonomia na apropriação do saber e na aquisição de ferramentas culturais indispensáveis na sociedade atual.

Ao professor cabe a tarefa de elaborar uma didática adequada relativamente aos conteúdos selecionados, para permitir o aprendizado dos produtos científicos e culturais. Estando atento aos diferentes ritmos de aprendizagem, procurando realizar um atendimento mais específico aos alunos da comunidade escolar, esta realidade é um grande desafio a ser enfrentado pelo coletivo escolar.



O coletivo escolar precisa, também, estar atento às necessidades dos professores, alunos e funcionários, repensando os valores da nova geração sob o prisma da solidariedade, da ética e da cidadania, e não como produto de tutores defasados no tempo e espaço, guardiões de dogmas e preconceitos cristalizados em mitos. Mitos, teremos sempre. Mas é preciso que não nos diminuam como seres agentes.

A baixa estima pessoal e o medo da não-identificação com o grupo, pode levar-nos a sentimentos de incompetência e insegurança, com a conseqüente perda da nossa identidade pessoal e/ou cultural, gerando decréscimo de nossas potencialidades de auto-realização, o que se alastra com a diminuição do nosso respeito ao outro.

A escola pública como instituição que engloba toda uma gama de circunstâncias e elementos humanos, torna-se um meio de desenvolvimento de sociabilidade, de amizade e do companheirismo.

O coletivo de educadores deverá travar lutas históricas pela melhoria da escola pública; exigindo que se dimensione o tamanho das escolas, evitando escolas e classes superlotadas, pois isso inviabiliza um projeto pedagógico por melhor que seja. Diante de classes numerosas o professor não tem alternativa viável a não ser recorrer ao método expositivo puro, utilizando-se do método tradicional para abordar os conteúdos. Dessa forma o que deveria ser estimulante para o aluno acaba por se tornar enfadonho e maçante, gerando indisciplina e alienação.

Não se trata de restringir o atendimento à população, mas de garantir uma educação de qualidade aos filhos das camadas populares, não fazendo uma “escola pobre para o pobre”, não massificando o atendimento da quantidade, pois a relação aluno/professor exige um tratamento adequado, algo que a desmedida em relação as salas numerosas impede um melhor ensino. Essa desmedida revela o populismo oportunista por detrás da democracia apregoada, o autoritarismo por trás da autoridade legítima, e por fim a quantidade em não-qualidade e o ensino em negação do ensino.

É preciso reivindicar a construção de espaços físicos apropriados para uma educação moderna, biblioteca adequada, sala de multimeios, onde o aluno pode entrar em



contato com mundo através dos modernos meios de comunicação de massa, local para práticas esportivas diversas, sala especializada para aulas de educação artística e música.

Assim, uma educação de qualidade pode se efetivar, sendo possível até a ampliação do período escolar e, desse modo, distanciarmo-nos de um ensino meramente expositivo, rígido, no sentido de não admitir flexibilizações.

Não devemos ser rígidos, mas rigorosos. Uma vez traçadas as metas, objetivando ensino de qualidade devemos agir com rigor:

O educador é aquele que respeita o saber ingênuo da criança e que parte para o saber mais rigoroso. Mas rigoroso no sentido do rigor e não do maçante. Queremos uma escola de cara nova. Uma escola que sendo séria, não seja desagradável; sendo rigorosa, não seja enfadonha; que seja o lugar da autoridade e não do autoritarismo; que viva a liberdade, sem ser licenciosa, que seja exigente, mas que provoque alegria. (PAULO FREIRE apud VALE, 1997:47).

É um grande desafio aliar o ensino de qualidade com a preservação do espaço do aluno e, ainda, com seus interesses individuais e necessidades sociais de lazer, de afirmação e de práticas esportivas.

A preocupação com mais e melhores escolas deve ser constante para educadores interessados em construir uma sociedade justa, instruída, consciente de seus limites de suas contradições e de seus valores. Uma nova ética será necessária, bem como um novo paradigma. Estes itens, pretendemos abordar no próximo capítulo com o sociólogo e filósofo Edgar Morin.

CAPÍTULO II

A RIGOROSA ORDEM ARTICULADA A COMPLEXIDADE



1. A Crise dos paradigmas: determinismo ou aleatoriedade.

Em sintonia com o tema proposto, o ensino dos conceitos básicos da termodinâmica a partir do levantamento de um problema, o efeito estufa¹⁴ (primeiro passo na metodologia de ensino da Pedagogia Histórico-Crítica), e também buscando convergência com a linha pedagógica adotada, encontramos Edgar Morin defendendo uma nova causa, lançando ao conhecimento científico um desafio fecundo capaz de abalar as bases da Ciência tradicional, determinista e mecanicista de origem cartesiana. Essa nova concepção de conhecimento científico poderá resultar numa nova forma de pensar a Ciência, levando-nos a um “novo paradigma”, e a uma inevitável reforma epistemológica. Esta consiste justamente naquilo que a Ciência Clássica¹⁵ ignorava ou evitava, ou seja, o acaso, o aleatório, a desordem, o imprevisível.

Desse modo, tornou-se necessário pensar numa Ciência de modo diferente que considerasse estes temas “marginais”, pressupondo, também, uma nova racionalidade em que os fenômenos devam ser abordados em sua complexidade, envolvendo uma visão mais

¹⁴ Cf. Capítulo III.

¹⁵ Denominamos de Ciência Clássica o período compreendido entre o século XVI e XIX, quando no ano de 1900 o alemão Max Planck (1858-1947), propôs uma idéia revolucionária sobre a transmissão de energia em “pacotes” pré-definidos, ou seja, os “quanta”.



abrangente do homem e da natureza, não aceitando saberes divididos e estudados separadamente pelas grandes áreas do conhecimento científico.

O desafio lançado aos educadores é justamente analisar um determinado fenômeno, distinguindo suas especificidades de acordo com a sua área de interesse, mas não o separando das demais áreas de saberes para que se garanta a edificação de uma visão global do fenômeno estudado. Com isso, fica claro que o pensamento complexo busca “distinguir, mas não separar” os diversos saberes humanos.

Achamos extremamente pertinente essa nova forma de pensamento; sobretudo, para nossa proposta de ensino, haja vista a complexidade do tema problematizador - o efeito estufa – que desenvolveremos no decorrer deste trabalho, que envolve alterações climáticas devido ao aquecimento global por ele produzido, desse modo, torna-se necessário estudá-lo tendo em vista a inter-relação e repercussão recíproca das conclusões da Física, da Química e da Biologia.

Podemos, de início, considerar uma vertente histórica, pois para entendermos melhor o início da potencialização desse fenômeno, (em seu estado natural de ocorrência¹⁶, que é imprescindível para a manutenção e desenvolvimento da vida no planeta), precisaremos também recorrer à Revolução Industrial, que só foi possível devido ao advento das máquinas térmicas e cujo desenvolvimento foi alavancado por fatores socioeconômicos e históricos. Isto propiciou à humanidade um grande progresso e, conseqüentemente, a proliferação dessas máquinas e seu contínuo aperfeiçoamento. Conforme Gaspar (2000), podemos até concluir, sem exageros, que a Termodinâmica foi causa e efeito da Revolução Industrial.

O progresso tecnológico e científico contribuiu para um inevitável início da poluição sistemática da atmosfera terrestre, através dos chamados, gases estufa¹⁷. O entendimento da obtenção desses gases - seus componentes elementares, suas propriedades e suas reações-, foi uma contribuição inquestionavelmente valiosa da Química, que proporcionou novas aberturas para a compreensão do efeito estufa.

¹⁶ Cf. O “efeito estufa” em seu estado natural de ocorrência, antes do início da poluição sistemática da atmosfera pelas atividades humanas, é imprescindível para manutenção da vida no planeta, voltaremos a discutir esse assunto no Capítulo III.

¹⁷ Cf. Capítulo III.



O impacto ambiental dessa poluição causa o agravamento dos problemas ambientais, podendo colocar em risco a vida na Terra, desequilibrando o ecossistema, prejudicando a diversidade biológica. Em particular, podemos citar o aquecimento global que provoca o derretimento de parte das calotas polares e a nefasta influência sobre as populações de diversas espécies. O levantamento dessas questões garante a participação das Ciências Biológicas no estudo desse fenômeno.

Geograficamente, o tema pode estimular o estudo de regiões atingidas por intensidades anormais de chuvas, como, por exemplo, podemos citar a grande inundação ocorrida em 1998, do rio Yang Tse na China, causada pelas chuvas de monções que atingiram o sul desse país, “inexplicavelmente” intensas naquele ano. Em números: doze mil milímetros em cinco meses, quatro vezes mais do que chove na Amazônia durante o ano inteiro, trezentas mil pessoas desabrigadas uma quebra recorde na safra de arroz. Lembrando que uma boa parte da China é desértica e que uma considerável parcela de sua agricultura se localiza na bacia desse importante rio¹⁸.

Não há estudos conclusivos para afirmar que a inundação na China, ou o derretimento das calotas polares ocorram seja devido ao efeito estufa, mas é extremamente suspeita a coincidência entre os fatos, ou seja, o aumento na concentração de poluentes na atmosfera, as médias de temperaturas, demonstrando ligeiros acréscimos e os desequilíbrios do clima.

Questões relacionadas à ética e à política emergem quando, nas árduas negociações para redução na emissão de dióxido de carbono e de outros gases, o presidente norte americano George Bush declara que a economia americana não pode ser colocada em risco, terminando ainda por questionar, entre outras coisas, que o efeito estufa seja potencializado pela emissão de gases poluentes¹⁹.

Retomando a invenção das máquinas térmicas, tendo em vista sua importância para o problema selecionado e a intensa industrialização por ela propiciada, é conveniente trazermos aos alunos as interações entre Ciência Tecnologia e Sociedade, conforme vimos no Capítulo I: Ciência e Tecnologia são heranças culturais, conhecimento e recriação da

¹⁸ Conforme comunicação pessoal realizada pelo prof. Ismael Ferreira da Silva, no Colégio “Academia Horácio Berlinck” em setembro de 2000.



natureza. Ao lado da mitologia, das artes e da linguagem, a tecnologia é um traço fundamental das culturas.

È, portanto, imprescindível a apresentação dos conhecimentos científicos como decorrentes de vários aspectos confluentes em que emergem concepções filosóficas, códigos de ética, políticas ambientais e de possíveis sustentações técnicas técnico-sociais. Além do mais, deve ser considerada a percepção de um saber plural, ou seja, de um estudo não fragmentado, tendo a interdisciplinaridade como um eixo fundamental e a importância da Ciência como um bem estar solidário e não a serviço de uma classe dominante.

Esta nova consciência precisa romper com a concepção dicotômica e mecanicista de mundo que estruturou toda Ciência e suas diversas ramificações até os dias de hoje. A fragmentação do conhecimento contribuiu para a superespecialização das distintas áreas do saber, separaram-se as ciências naturais das ciências humanas, disjuntou o homem da natureza, tendo como objetivo o domínio da natureza pelo ser humano e a extração predatória de seus recursos.

Com os progressos, propiciados pelos avanços científicos nos séculos XIX e XX, a Ciência emergiu como força produtora e seu conhecimento passou a ser uma poderosa “arma” de domínio da natureza.

As sociedades passaram por mudanças profundas no seu modo de vida e de produção. Foi iniciada uma produção, em massa, de gêneros manufaturados; desse modo, houve uma demanda por novas tecnologias, o que acionou os meios científicos para que se pudessem superar os problemas técnicos e limitações dos equipamentos existentes.

A impressão era de que a natureza se refazia a cada extração ou agressão e que absorvia toda poluição e resíduos emitidos pelos novos meios de produção do mundo industrial moderno, mas a velocidade com que a biosfera passou a ser agredida e a intensidade dessas agressões revelou-nos a necessidade de uma natureza passível de preservação que requeria (e requer) uma convivência racional entre os seres humanos, que “pretensamente” devem utilizar os recursos naturais racionalmente, usando a Ciência não apenas para processar matéria-prima, mas também para preservar o meio ambiente. Entretanto, a nosso ver, essa lucidez está anos-luz do entendimento dos detentores dos

¹⁹ Cf. Reportagem: “Agências dos EUA reconhecem efeito estufa, mas Bush não ratifica Quioto” In: Revista Eletrônica de Jornalismo Científico, SBPC/Labjor, ISSN nº 1519-7654. Disponível em:

<<http://www.comciencia.br>>. Acesso em: 12 mar. 2003.



meios de produção, desejosos de crescimento econômico a qualquer custo, verdadeiros protagonistas do apocalipse natural.

A partir do momento que a natureza foi vista como fonte inesgotável de matéria-prima, começaram a surgir os problemas ambientais; diversas espécies animais e vegetais entraram em risco de extinção. Constituindo-se, portanto, problemático o uso do conhecimento científico, quando usado em nome da ganância político-econômica de alguns empresários ou transnacionais, podendo até contribuir para um crescimento econômico deletério ao ambiente:

O setor privado vem sendo cada vez mais chamado a assumir um papel responsável na configuração do desenvolvimento econômico, social e ambiental do país. As noções de responsabilidade social e ambiental vêm ganhando força junto a setores do empresariado, em função da criação de novos parâmetros e regulamentos, tais como os da série ISO 14000 e os processos de certificação na área ambiental e das pressões da sociedade e do setor público buscando comprometê-los com os objetivos de sustentabilidade ambiental. No plano local, onde atuam desde pequenos empreendimentos até empresas transnacionais, o setor privado tem se mostrado um ator chave para o sucesso ou fracasso de ações que visam ao desenvolvimento sustentável. Entretanto, os setores empresariais de atuação local e regional, notadamente aqueles vinculados ao comércio, à exploração, ao beneficiamento e à comercialização de produtos agrícolas e naturais, têm enfrentado maiores dificuldades em incorporar novos valores e práticas no exercício de suas atividades. Apresentam, ainda, dificuldades específicas de se inserirem numa outra lógica de regulação das atividades econômicas que os obriga estarem sob o crivo dos interesses públicos nas questões do desenvolvimento: muitas vezes, emergem fortes tensões e conflitos entre interesses privados e os interesses coletivos em relação a questões ambientais. (In: PADIS²⁰, acessado em 14/03/03).

A concepção fragmentada do saber separou o homem da natureza, pois, segundo Pedro Demo a vocação analítica do conhecimento científico pressupõe que devemos analisar um todo o decompondo em suas partes constituintes, e essa atividade desconstrutiva concebe que o todo seria apenas a somatória das partes, essa vocação analítica permitiu a Química e a Física chegarem às mínimas partes da matéria, acreditando

²⁰ PADIS significa *Programa de Apoio ao Desenvolvimento Institucional e Sustentável* – é um programa do Instituto Internacional de Educação do Brasil – IIEB, realizado com recursos da Embaixada do Reino dos Países Baixos (Holanda). Disponível em: <<http://www.padis.org.br/basepol.htm>>. Acesso em: 14 mar. 2003.

que seriam os pontos finais da decomposição por isso designando essas partes de átomos (em grego não divisível), porém com o advento da Física Quântica descobriu-se um mundo subatômico extremamente complexo e assim, se já não sabíamos onde terminava nosso céu, percebemos também que nosso “chão” havia sumido. Segundo Edgar Morin o problema não está na especialização ou na análise, mas na separação que implica justamente na falta de atenção às articulações e relações entre as partes e na falta da síntese como resultado de múltiplas determinações, pois, de acordo com Marx a síntese melhora na medida em que aprofundamos na análise, mas devemos sempre retornar ao todo, melhorando nosso entendimento do todo, num movimento de vaivém.

Podemos considerar, portanto, que o homem ao estudar e analisar a natureza foi se separando dela não se incluindo como ser biológico, Morin aponta essa falha ao dizer que para estudar o homem biológico, natural, cerebral ou o homem psicológico, cultural, é preciso ir a duas faculdades diferentes, e isto acaba tornando mais difíceis as noções de responsabilidade social e ambiental, que em última análise, dependem da formação histórico-cultural do ser humano. Essa formação foi também comprometida pela divisão dos saberes e pela competitividade predatória. A lacuna - oriunda de políticas públicas voltadas aos interesses privados em detrimentos dos coletivos, deixaram-nos um legado perverso que também refletiu na educação e na formulação de gestões político-educacionais que negligenciaram, por muito tempo, projetos educativos voltados à transdisciplinaridade. Este fator contribuiu para fomentar a disciplinaridade, colocando em situação antagônica as ciências que estudam a natureza e seus processos (Física, Química, Biologia), e as ciências humanas que estudam o Homem e o Meio Social (História, Geografia, Sociologia, Filosofia, Antropologia, Direito, Administração etc.).

Dessa forma, a Universidade, local de produção e desenvolvimento do saber científico, também contribuiu para a divisão do trabalho, tornando a pesquisa científica departamentalizada, distanciando-se, assim, da sociedade e dos problemas políticos e socioeconômicos que a afligem. A lógica imposta pela “superespecialização” estabeleceu barreiras dentro do sistema acadêmico brasileiro, que dificultaram (e continuam dificultando), sobremaneira, o diálogo entre os especialistas de diversas áreas, para uma busca coletiva de soluções para problemas encontrados na prática social e na prática produtiva. Podemos considerar que essas “muralhas” - no interior das universidades - são



um grande empecilho à aproximação dos profissionais acadêmicos com os demais segmentos da sociedade.

Talvez a proposta metodológica da Pedagogia Histórico-Crítica poderia ser revisitada e melhor discutida, em algumas instâncias do ensino superior, numa tentativa de aproximar a Universidade, especialmente a pública, com a sociedade que a mantém.

Vale ressaltar um estudo realizado pela pesquisadora Mônica Armond Serrão com pesquisadores de Universidades Públicas do Rio de Janeiro²¹, apoiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro. Esta pesquisadora, partindo da constatada compartimentação do universo acadêmico brasileiro (e da existência de grandes distâncias entre as distintas áreas do saber) demonstrou que a não colaboração entre os especialistas leva-os a utilizarem códigos e linguagens específicas de suas áreas, tornando difícil a comunicação entre eles, conseqüentemente, comprometendo a qualidade do ensino e da pesquisa ambiental.

Armond investigou, através de entrevistas com nove indivíduos selecionados e separados em grupos, pertencentes às áreas das ciências humanas e sociais; ciências exatas e ciências naturais, os efeitos dessa compartimentação na qualidade das pesquisas ambientais. Como metodologia, utilizou a técnica da análise do discurso, cujo objetivo é inferir os sistemas ideológicos subjacentes ao discurso dos especialistas. A análise do discurso se baseia na impossibilidade de ignorar a ideologia que permeia todo discurso. Em outras palavras, mesmo aparentando neutralidade, todo discurso traz, em sua estrutura profunda, atitudes e valores articulados de forma ideológica, com mensagens subliminares que levam os receptores a aderirem, muitas vezes, a proposta do emissor.

Nessas entrevistas, a pesquisadora notou a importância que os interlocutores davam à interdisciplinaridade para a resolução dos problemas ambientais, demonstrando claramente que a maioria dos pesquisadores não acreditava que soluções isoladas pudessem ser eficazes para tratar dos problemas ambientais. Como ilustração, passaremos, agora, à transcrição de algumas falas²²:

²¹ Cf. Revista "Ciência Hoje", vol. 22, nº 128, maio/junho 1997.

²² Cf. Revista "Ciência Hoje", vol. 22, nº 128, p. 26-27, maio/junho 1997.

(...) Eu acho que há de fato uma necessidade de convocação de todos nessa troca de conhecimentos, até porque a gente não trabalha com a verdade, né? Ciência não é verdade! Ciência é uma forma de ler a realidade. (biólogo).

(...) Os problemas tomaram um vulto tamanho em todas as direções do nosso conhecimento fragmentado, pretérito, né, que as pessoas resolveram relaxar e conceber que ninguém mais pode ficar trancado em sodomas, em torres maravilhosas do seu conhecimento (...) (geógrafa).

(...) Eu tentei e fiz projeto interdisciplinar (...) e vi na pele o que que é sentar numa mesa com especialistas de áreas diferentes (...) é intrínseco à formação das pessoas achar que a Física é melhor que a Engenharia, a Engenharia achar que é melhor que a Sociologia e a Sociologia que é melhor que todas; a Economia é o máximo hoje. (filósofo).

(...) O aspecto também de nós sermos especialistas em áreas, certo (...) nós somos muito pouco cooperativos, nós somos muito darwinistas (...) Como é que então o camarada vai construir uma nova visão no século XXI assim, né, quer dizer, limitado a que?- A só ver pedra, só ver árvore, só ver biótipo, só ver fenótipo? Não é possível! (filósofo).

A autora concluiu dessas falas que, apesar dos pesquisadores ressaltarem a importância da interdisciplinaridade, a pesquisa ambiental ainda não tem esse caráter, e foram raros os entrevistados, que participavam ou já haviam participado de projetos ambientais envolvendo diversas áreas do saber. A análise dessa pesquisa comprovou o caráter compartimentado da pesquisa universitária.

De acordo com Armond, o desafio de se implantar a interdisciplinaridade deve ser assumido pelos especialistas de todas as áreas, especialmente nas questões que transcendem as suas áreas de conhecimento; dessa forma, as possibilidades de um estudo mais abrangente podem ser multiplicadas.

No entanto, vislumbrar as múltiplas possibilidades de um estudo inter-relacionado, necessita de um novo paradigma, e uma lógica não-dicotomizante, uma visão totalizante do fenômeno que compreenda as intersecções e interdependência da Física, Química, Biologia, História, Geografia, etc., portanto, uma visão que ultrapasse, conscientemente, as fronteiras das disciplinas, resultando-se numa concepção sistêmica da natureza.



2. A rigorosa ordem articulada ao aleatório. Contradição nos termos ou complexidade.

Como visto, procuramos justificar nossa reflexão sobre interdisciplinaridade, por entendermos que as estratégias interdisciplinares fomentam o entendimento dos fatos e dos problemas apresentados pela prática social, sobretudo em relação ao objeto de estudo por nós escolhido, ou seja, **o efeito estufa**.

Pelas consequências climáticas, inexoravelmente ligadas ao efeito estufa, urge retomarmos e discutirmos um pouco mais sobre a necessidade de uma nova racionalidade, calcada em uma visão de Ciência que inclua a questão da probabilidade, do aleatório. Haja vista, o problema causado pelas (im)previsões meteorológicas, em que há a impossibilidade de se determinar o tempo com certa precisão. As mudanças climáticas, devido à quantidade de variáveis e às relações entre elas, refutam qualquer modelo puramente determinista, mecanicista para tentar explicar a dinâmica da atmosfera.

Milton Greco²³ aponta-nos a dificuldade de se prever o comportamento dos sistemas, pois estes envolvem muitas variáveis inter-relacionadas e também variáveis imprevistas que subitamente podem surgir no sistema, e mudar a dinâmica que naturalmente se esperaria dele.

Encontramos também, em Fritjof Capra²⁴, o testemunho da mudança de concepções e idéias, ocorridas na Física no início do século passado, principalmente com o advento da Física Quântica, permitindo-nos avaliar os resultados produzidos por experiências que a Física Clássica não davam conta de explicar. Por mais que os cientistas se esforçassem, não havia suporte técnico para explicar alguns comportamentos não previstos. Perplexos, diante da falibilidade de suas teorias, provavelmente indagavam-se: como poderia a elegante Física clássica falhar?

²³ Cf. Greco, Milton. "Interdisciplinaridade e Revolução do Cérebro". Editora Pancast, São Paulo, 1994 p. 66-67.

²⁴ Cf. Capra, Fritjof. "A teia da vida", uma nova compreensão científica dos sistemas vivos. Editora Cultrix, São Paulo, 1996 p. 24-25.



A nova visão da realidade não era, em absoluto, fácil de ser aceita pelos físicos no começo do século. A exploração dos mundos atômicos e subatômicos colocou em contato uma realidade estranha e inesperada. Em seus esforços para apreender essa nova realidade, os cientistas ficaram dolorosamente conscientes de que suas concepções básicas, sua linguagem e todo o seu modo de pensar eram inadequados para descrever os fenômenos atômicos. Seus problemas não eram meramente intelectuais, mas alcançavam as proporções de uma intensa crise emocional e, poder-se-ia dizer, até mesmo existencial. Eles precisaram de um longo tempo para superar essa crise, mas, no fim, foram recompensados por profundas intuições sobre a natureza da matéria e de sua relação com a mente humana. (CAPRA, 1996, p.24).

Mesmo com o grande desconforto causado por esta nova visão científica da realidade, haja vista que no final do séc. XIX muitos acreditavam que quase todas as coisas importantes já haviam sido descobertas, e apesar de todo o prestígio da Física Clássica, (pretensamente precisa e determinista em seu rigor matemático-descritivo), uma nova racionalidade estava por nascer.

Pedro Demo²⁵ acrescenta: “o conhecimento científico, que foi inventado para dizer-nos o que é objetivamente certo, anda muito incerto diante das discussões ditas pós-modernas” (DEMO, 2000, p.9).

Com base em pressupostos revolucionários, Guitta Pessis-Pasternak realizou entrevistas com grandes nomes da Ciência contemporânea, no intuito de constatar a emergência de um “novo paradigma”, baseando-se em novas teorias científicas que almejavam alcançar a inteligibilidade do Universo, utilizando instrumentos conceituais que antes eram evitados, ou seja, o “caos”²⁶, a “complexidade”, a “auto-organização”. A reabilitação desses instrumentos (pelas áreas tradicionais do conhecimento científico) é um fato paradoxal, na medida em que, ao menos aparentemente, confronta-se com a pretensão de descobrir a ordem da natureza que objetiva prever e controlar fenômenos da maneira mais precisa possível.

²⁵ Cf. DEMO, P. “Metodologia do Conhecimento Científico”. Editora Atlas, São Paulo, 2000 p. 9.

²⁶ A palavra caos sofreu uma evolução na sua significação, passando a designar fenômenos altamente dependentes das condições iniciais. Uma pequena mudança nas condições iniciais tornam o sistema, em longo prazo, imprevisível.

O fato é paradoxal o bastante para justificar a interrogação do neófito: como pode a ciência, cuja ambição é descobrir a ordem oculta da natureza, solicitar assim as potencialidades organizadoras da desordem, do caos e do acaso? A resposta do especialista não tarda: sem essa preocupação, considerada paradoxal, a ciência não saberia explicar os fenômenos das turbulências, ou as mudanças climáticas, por exemplo, ou as flutuações da Bolsa de Valores. (PESSIS-PASTERNAK, 1993, p.12-13)

Isto posto, fica clara uma crise de paradigmas, usamos o termo paradigma conforme Thomas Kuhn²⁷ (2000, p.13): “Considero ‘paradigma’ as realizações científicas universalmente reconhecidas que, durante algum tempo, fornecem problemas e soluções modelares para uma comunidade de praticantes de uma ciência.” Kuhn ainda nos esclarece que para ocorrerem “mudanças de paradigma” são necessárias anomalias, ou seja, situações não previstas e não explicadas satisfatoriamente pelas teorias vigentes, essas anomalias provocam uma revolução no sistema de idéias e concepções existentes.

Um breve, mas interessante relato dos paradigmas medieval e mecanicista, suas crises e a necessidade de um pensamento complexo pode ser encontrado no texto “*Sobre a crise dos Paradigmas e o Pensamento Complexo*”²⁸. Este texto ressalta momentos decisivos para o pensamento ocidental, quando São Tomás de Aquino, incumbido de dar à filosofia aristotélica um caráter cristão, elaborou a Escolástica, o que foi posteriormente chamado de *Paradigma Medieval*.

O pensamento Teocêntrico, obediente às determinações da Igreja, relegando o homem a um papel passivo e subjugado ao que a Igreja chamava de vontade de Deus, revelado por seus arautos, impunham: uma ordem, altamente hierarquizada, vislumbrando uma doutrina de salvação que se confundia com o saber; afirmações religiosas como regras para todo o comportamento humano (que embasavam a doutrina moral); uma sólida construção de certezas, ancoradas na fé em Deus, e na Igreja (unindo fé e razão numa tentativa de compreender o significado de todas as coisas sem a pretensão de controlá-las ou prever o futuro delas).

²⁷ Cf. Thomas S. Kuhn. “*A estrutura das revoluções científicas*”. 5ª ed. São Paulo: Perspectiva, 2000.

²⁸ Cf. “*Sobre a Crise dos Paradigmas e o Pensamento Complexo*”, texto elaborado pela doutoranda Iracema Baptista Torquato e apresentado pela mesma em comunicação pessoal na disciplina “O discurso e as linguagens Sincréticas Midiáticas”, ministrada pelo Prof. Dr. Adenil Alfeu Domingues, no segundo semestre de 2001, na Faculdade de Artes Arquitetura e Comunicações da Unesp/Bauru.

O paradigma medieval foi substituído por uma noção de mundo como um sistema mecânico, composto de blocos de construção elementares, de idéias e valores concebidos na noção de *máquina*, que se consistiu na metáfora dominante do mundo na era moderna. Esse desenvolvimento se consubstanciou tendo em vista vários fatores: o desenvolvimento revolucionário da Física e da Astronomia; a teoria heliocêntrica de Copérnico; as Leis de Kepler sobre as órbitas dos planetas; Galileu e seu estudo sobre a queda dos corpos; Newton e suas Leis sobre o movimento. O período de mudança do paradigma aristotélico para o mecanicista foi considerado por vários historiadores da Ciência (A. Koyré, Rupert Hall, I. B. Cohen), como sendo revolucionário.

A Revolução Científica estava devidamente legitimada pela consciência filosófica, conferida por Francis Bacon e Descartes. Bacon defendia um novo método de investigação, que tinha a experiência como alicerce, e Descartes com a proposição do método analítico de raciocínio (pautado na análise dos fatos, problemas e pensamentos decompostos em suas partes constituintes e ordenadas logicamente).

Essa visão de mundo levou ao estabelecimento dos princípios de disjunções, de reduções e de abstrações, reconduzindo a vida a distinções fundamentais, desse modo, separou-se o conhecimento do senso comum do conhecimento científico; o homem e a natureza se tornaram antagônicos. Contrariamente ao paradigma medieval (Ciência Aristotélica), o paradigma moderno não confiava nas evidências obtidas pela experiência imediata, que estariam na base do conhecimento empírico e, portanto, apresentavam-se como ilusórias. Galileu, por exemplo, esforça-se para demonstrar que os movimentos de translação e rotação não eram inválidos somente por não serem percebidos os seus movimentos.

De acordo com Boaventura de Souza Santos, Descartes estabeleceu grandes disjunções, separando homem e natureza, compactuando com o pensamento de Bacon, para quem o objetivo da Ciência era tornar o homem senhor e controlador da natureza,



A natureza é tão-só extensão e movimento; é passiva, eterna e reversível, mecanismo cujos elementos se podem desmontar e depois relacionar sob a forma de leis; não tem qualquer outra qualidade ou dignidade que nos impeça de desvendar os seus mistérios, desvendamento este que não é contemplativo, mas antes ativo, já que visa conhecer a natureza para a dominar e controlar. (SANTOS, 1997, p.13)

A Ciência prosseguiu na observação sistemática e rigorosa da natureza e de seus fenômenos, dando excessiva ênfase no método analítico, e recorrendo - em última instância - para confirmação dos fenômenos pela observação dos fatos. Essas observações e as experimentações eram presididas, para se obter uma rigorosa concepção dos fenômenos naturais, pelo instrumental matemático, que permitia um certo privilégio na análise, seguindo uma lógica e, a seguir elaborando modelos de representação:

Deste lugar central da matemática na ciência moderna derivam duas consequências principais. Em primeiro lugar, conhecer significa quantificar. O rigor científico afere-se pelo rigor das medições. As qualidades intrínsecas do objeto são, por assim dizer, desqualificadas e em seu lugar passam a imperar as quantidades em que eventualmente se podem traduzir. O que não é quantificável é cientificamente irrelevante. Em segundo lugar, o método científico assenta na redução da complexidade. O mundo é complicado e a mente humana não o pode compreender completamente. Conhecer significa dividir e classificar para depois poder determinar relações sistemáticas entre o que se separou. (...) Um conhecimento baseado na formulação de leis tem como pressuposto metateórico a idéia de ordem e de estabilidade do mundo, a idéia de que o passado se repete no futuro. Segundo a mecânica newtoniana, o mundo da matéria é uma máquina cujas operações se podem determinar exatamente por meio de leis físicas e matemáticas, um mundo estático e eterno a flutuar num espaço vazio, um mundo que o racionalismo cartesiano torna cognoscível por via da sua decomposição nos elementos que o constituem. Esta idéia de mundo máquina é de tal modo poderosa que se vai transformar na grande hipótese universal da época moderna, o mecanicismo. (Grifo nosso). (SANTOS, 1997, p.14-15).

Portanto, a excessiva ênfase ao método analítico levou à fragmentação do saber, que depois foi refletido nas disciplinas acadêmicas; sugerindo que qualquer fenômeno complexo podia ser compreendido se estudado em suas partes constituintes. Isto engendrou uma atitude generalizada de reducionismo na Ciência. Isaac Newton complementou essa concepção mecanicista, escrevendo sobre os princípios matemáticos da Filosofia Natural, a

maneira como as coisas funcionam, ao invés de considerar também qual era o agente, ou a finalidade da busca.

Não devemos, portanto, esquecer-nos que, desde que essa Ciência moderna passou a vigorar, trouxe-nos imensos benefícios através do incontestável e espetacular avanço tecnológico. A este respeito, esclarece-nos Demo: “A análise tem seu charme, é claro. Primeiro legou-nos enorme processo de conhecimento controlado que, entre outras coisas exuberantes, produziu as tecnologias sofisticadas que dominam o mundo atual”, Assim, segundo este autor, a tecnologia é a capacidade de controlar aspectos recorrentes e bem definidos de um fenômeno, aprisionar trechos de sua realidade através da perícia dos algoritmos. A vocação analítica, por exemplo, permite que se fabrique aviões com margem de segurança suficiente para que os utilizemos, sem, no entanto, compreendermos totalmente a complexidade do fenômeno vôo.

No entanto, o Paradigma Mecanicista, claramente orientado a quantificar, prever e controlar os fenômenos observados, legou-nos atitudes que nos levaram a fragmentar os conhecimentos. Desse modo, o especialista aprofundava-se na sua área sem perceber a ligação intrínseca dos conhecimentos com as outras áreas, perdendo, dessa forma, a noção do todo.

Esses paradigmas (Medieval e Mecanicista) influenciaram profundamente a trajetória humana, refletindo, decisivamente, na educação formal dos nossos dias. Vejamos o quadro 01²⁹ com os tópicos principais dos paradigmas, citados:

²⁹ Cf. Texto, “Sobre a crise dos Paradigmas e o Pensamento Complexo”, op.cit.



Paradigma Medieval	Paradigma Mecanicista
- Submissão do homem à fê. - Teocentrismo (passividade perante Deus e ocultamento do sujeito). - Hierarquia rígida. - Doutrina Salvacionista – sofrer agora para ser feliz depois, no paraíso.	- O homem submete-se à razão idealista. - Antropocentrismo. (Questionamento da fê com a razão do sujeito, idealismo objetivo). - Redução de toda realidade à soma das partes – fragmentação, especialização, disciplinaridade. - Império da razão, pelo dogmatismo do mundo natural e pelos determinismos do método cartesiano. Isento de críticas, já que reafirmadas pelo cogito.

Quadro 01: algumas características dos paradigmas Medieval e Mecanicista.

Percebemos, claramente, a crise do Paradigma Mecanicista, que modelou todo ensino formal que temos, ainda hoje, caracterizado pela disciplinariedade; e, portanto, pela visão fragmentada, pela incapacidade de compreender a totalidade do real. O todo não pode ser concebido simplesmente como a soma das partes, veremos mais adiante um paradoxo apontado por Edgar Morin relacionado a este tema.

Segundo Boaventura de Souza Santos, a crise do paradigma dominante, deve-se - num primeiro momento - ao aprofundamento do conhecimento científico que o próprio paradigma mecanicista permitiu; porém também revelou a fragilidade das estruturas sobre as quais se sustentava. Para, ilustrar essa afirmação o autor cita a mecânica quântica, em que Heisenberg e Bohr atestam a impossibilidade de se medir ou observar um objeto sem nele interferir, de modo que o objeto medido e observado, ao final do processo, deixa de ser o mesmo objeto em seu estado natural, ou seja, o objeto que entrou no processo. Portanto, conhecemos o real, na medida que este sofre nossa intervenção, ou seja, as concepções científicas sobre a realidade não devem ser encaradas como sendo a própria realidade ou o reflexo exato do real, mas apenas como projeções humanas dessa realidade, concepções falíveis e mutáveis do real.

De acordo com Pedro Demo, “definir é colocar limites”, e quanto mais definido mais evidente se torna a redução, o corte epistemológico. É preciso simplificar para poder “ver” melhor; porém, quanto mais aprisionado em limites mais deturpado e, talvez, descaracterizado o fenômeno se torna. Reduzir um fenômeno é negar-lhe a complexidade natural, mas, no entanto, é fundamental definir bem, tendo sempre em mente que toda definição tem limites e incongruências:

A rigor, definir o complexo é torná-lo menos complexo, isto é, mexer nele de modo artificial, violentá-lo até certo ponto, obrigá-lo a ajustar-se a nossas expectativas metodológicas. Ao mesmo tempo, se não fizermos isso, nada saberemos do complexo. (DEMO, 2000, p.15).

Podemos também evocar o Princípio da Incerteza de Heisenberg, em que não se pode conhecer, ao mesmo tempo, a velocidade de uma partícula e sua posição, pois qualquer esforço para se determinar uma dessas variáveis, resulta no aumento da indeterminação da outra variável. Como, então, os cientistas clássicos poderiam chegar a uma “Teoria do Tudo”? Uma determinada inteligência que chegasse a um conhecimento supremo, a ponto de conceber um aparato matemático-formal, poderia abarcar o mundo macroscópico (o movimento dos corpos celestes)? Poderia abarcar também o mundo microscópico representado pelos átomos, concebendo o Universo como resultado de seu estado anterior, e conseqüentemente como a causa de seu estado posterior? Sim, essa inteligência foi concebida. Ela compreenderia tudo e nada seria imprevisível, aleatório ou probabilístico; o passado ou o futuro estaria determinado por ela. Assim, esta inteligência, concebida como Determinismo considerava que, em última instância, tudo se reduziria a uma fórmula matemática que expressaria a realidade e a dinâmica da natureza. Dessa forma, poderíamos decretar o “fim da Ciência”.

A euforia positivista, no entanto, esbarrou, como já mencionamos, nos fenômenos das turbulências, nas mudanças climáticas, etc. Situações em que a racionalidade clássica se mostrava limitada e impotente. O desafio lançado precisava ser aceito, “pois o desafio da complexidade é um desafio imposto pelo real que não pode ser



rejeitado³⁰; haja vista, que a Ciência acreditava na sua capacidade ilimitada de avançar e assumir a missão de explicar o mundo que nos rodeia, a qualquer custo, não importando os desgastos que isto pudesse ocasionar.

A reflexão epistemológica sobre o conhecimento científico, objetivando um novo paradigma, para enfrentar os novos desafios, segundo Boaventura de Souza Santos é levada a cabo pelos próprios cientistas (que adquiriram competência filosófica para repensar os problemas da prática científica).

Algo notório foi constituído com o advento da Revolução Científica, uma boa parte dos cientistas foram adquirindo aversão à reflexão filosófica, culminando na euforia causada pela suposta epifania científica do século XIX. Boaventura de Souza Santos ainda considera não ser arriscado afirmar que nunca houve tantos cientistas-filósofos, interessados em complementar o conhecimento dos fenômenos ou das grandezas físicas, com o conhecimento do conhecimento sobre estes, ou seja, a metacognição.

Na introdução da entrevista concedida por Edgar Morin a Guitta Pessis-Pasternak³¹, encontramos uma afirmação convergente, que diz que devemos considerar a Ciência Física com todo o seu embasamento social, e todo acontecimento social fundamentado fisicamente, assim com essa reflexividade lançar um “olhar sobre o olhar que olha”, terá melhor noção da realidade.

Assim, Pessis-Pasternak anuncia que: “Os sinos dobram por Pierre Simon Laplace, cujo credo determinista vem sendo professado por gerações de cientistas desde 1814”. A autora também aponta um novo paradigma para enfrentar o desafio do que é radicalmente novo, o paradigma da complexidade, levando o conhecimento científico a refletir sobre o acaso e a organização proveniente desse acaso, “*order from noise*”, conforme a autora, ou seja, a “*emergência de fenômenos ordenados a partir de turbulências ou flutuações caóticas*”.

No entanto, Pessis-Pasternak cita a polêmica que esses novos programas de pesquisa causaram, conquistando opositores talentosos, como René Thom que a autora chama de “*advogado do determinismo*”. Este autor acusa as novas tendências de tentarem

³⁰ Cf. Entrevista concedida por Edgar Morin à Guitta Pessis-Pasternak e incluída no livro “Do Caos à inteligência Artificial”, editora Unesp, São Paulo, 1993, p 83-94.

³¹ Pessis-Pasternak, op. cit. p. 84

fazer surgir o “*descriptivel do indescriptivel*”, acusa Ilya Prigogine³² de tomar relevantes pequenas perturbações que podem provocar a ruína da metaestabilidade de um sistema. René Thom considera que o acaso é um conceito negativo e vazio que não deveria ter a atenção da Ciência, e ainda que esta não deveria considerá-lo em detrimento do determinismo. Thom conclui que o determinismo é uma conquista da Ciência, o legado tecnológico do paradigma mecanicista, mas talvez Thom exagere ao chamar os “*defensores do acaso*” de “*apóstolos da deserção*”.

A apresentação de suas entrevistas com os cientistas Guitta Pessis-Pasternak³³ traz-nos a opinião de Ilya Prigogine, que também considera o determinismo um ganho da Ciência, mas discorda que os cientistas (que se interessem por instrumentos conceituais baseados na complexidade, no probabilístico), sejam chamados de desertores, e que apesar de surgir a possibilidade de dois dogmatismos, do determinismo e do acaso, essas duas linhas não são antagônicas, elas se complementam.

Edgar Morin também não poderia deixar de responder às acusações feitas pelo “advogado do determinismo” René Thom. Morin considera, como certa, a conjunção da ordem e da desordem, ressaltando a evolução propiciada pelo determinismo, como já mencionamos, isto revelou a incompletude da proposta determinista, obrigou os cientistas a repensarem sobre suas leis rígidas, e ainda os obriga a abrirem-se para as articulações entre ordem, desordem, interação e a organização. Dessa forma, a ordem do paradigma mecanicista se torna complexa e, paradoxalmente, complementa-se e se posiciona de forma antagônica com a desordem.

Em seguida, Pessis-Pasternak revela a opinião de Henri Atlan³⁴ que na verdade, lança um questionamento filosófico sobre a existência do acaso, dos acontecimentos aleatórios, ou questiona se estes seriam apenas uma falha dos cientistas ou falta de conhecimento por parte da Ciência, (que não teria apreendido todas as variáveis determinantes), deficiência que a mesma luta para reduzir. Essa idéia também se revela na

³² Prêmio Nobel de Química e professor da Universidade Livre de Bruxelas e da Universidade do Texas.

³³ Pessis-Pasternak, ob. cit. p. 17-19.

³⁴ Henri Atlan é biólogo e médico, professor da Faculdade de Ciências de Paris e da universidade Hebraica de Jerusalém.

entrevista com Albert Jacquard³⁵, quando Pessis-Pasternak pergunta: “Recorreríamos ao acaso quando a complexidade dos mecanismos deterministas nos escapa?”.

E Jacquard responde:

Há de fato duas visões do acaso. Uma, é a de um ‘acaso essencial’, pois o Universo em si é indecído por natureza; a outra postula que somente o determinismo existe, mas o real é tão complexo que jamais se poderá compreendê-lo, seria preciso raciocinar como se o acaso estivesse presente. São duas concepções distintas.

Lançada essa questão, fica claro o objetivo deste autor. Com esta concepção, a nosso ver, entendemos não ser, num primeiro momento, possível obter uma resposta única. Mas podemos suscitar uma reflexão epistemológica sobre a idéia de acaso: é o acaso essencial (existe na essência) ou é resultado de alguma limitação cognitiva atual da Ciência? Henri Atlan termina dizendo que conceber um determinismo absoluto no universo é aceitar a possibilidade de que suas leis possam ser conhecidas e deduzidas numa fórmula que impediria o surgimento de qualquer fato ou novidade que não pudesse ser previsto.

3. Edgar Morin e a consciência que abrange a reflexão filosófica e a Ciência³⁶.

Parece-nos difícil rotular Edgar Morin, que completou oitenta anos em julho de 2001, ocasião em que foi agraciado com uma homenagem internacional na sede da UNESCO em Paris. Seus diversos trabalhos, suas obras em diversas áreas lhe renderam críticas que o levou a uma afirmação: “Sou um contrabandista dos saberes, é por isso que os guardas das reservas atiram em mim”; essa autodefinição é pertinente, pois Morin, procura refletir incessantemente com os grandes temas do presente, sem que questões fundamentais do futuro lhe fujam da alçada, sempre em busca das formas de pensamentos que evitem a fragmentação dos fenômenos, a análise separada de suas partes, e a redução

³⁵ Albert Jacquard é diretor de genética do Institut National d'Études Démographiques (INED), leciona em diversas universidades francesas.

³⁶ Trabalho aceito para apresentação em sessão de comunicação do IV ENPEC, realizado em Bauru de 25 a 29 de novembro de 2003, com o título: “Edgar Morin: A complexidade subsidiando o ensino de Ciências”.

desse mesmos fenômenos a leis e fórmulas; pois, como dissemos, essa forma de lidar com a busca de conhecimento científico revelou suas fragilidades e se mostra incapaz de dar conta do real. Em seu aprofundamento, a Ciência se deparou com a problemática incontornável da complexidade. No intuito de não ocultar as complexas interações do real, Morin segue em busca do “radicalmente novo”, de um pensamento que mutile o menos possível a realidade de nossa época.

Nessa busca incessante por uma forma de pensamento radicalmente nova, Morin elaborou mais de 30 obras, sempre tendo em mente a necessidade de se estabelecer um pensamento que “distingue, mas não separa”, capaz de compreender a complexidade do real, procurando entender o homem a partir da sua própria subjetividade e das relações com tudo e com todos, suas inúmeras interações objetivando um conhecimento que não reduza o Universo numa Lei Geral ou numa palavra chave, contribuindo para um conhecimento que dialogue com os mistérios do Universo, que compreenda suas inúmeras interações.

Assim, conforme Petraglia³⁷, na busca do “ser” e do “saber”, na relação da unidade com o todo, a Ciência, não pode ser considerada mais redentora da humanidade, segundo a aceção lhe foi conferida pela Ciência Clássica, que era a detentora do saber absoluto e, não passível de mudanças, mas na concepção de uma Ciência aberta, direcionada para novos caminhos, abarcando a complexidade como realidade para compreensão da natureza, colocando, desse modo, o ser humano como sujeito e objeto no conhecimento de si próprio e, depois, do mundo.

Abriremos um pequeno parêntese para tentar revelar alguns traços da trajetória de Edgar Morin. Nascido em 8 de julho de 1921, em Paris, de origem judaica como primeiro neto de David Nahum e Salomon Beressi e já incumbido de unir os prenomes dos avós; e, portanto, deveria se chamar David-Salomon Nahum, no entanto temendo reforçar uma competição familiar, seus pais, Vidal e Luna resolveram chamá-lo Edgar.

Pouco antes de completar dez anos, perde a mãe o que o lança numa tristeza profunda, porém este fato foi marcante para ele, pois se constituiu em fonte de inspiração para obras futuras, levando-o a reflexões sobre o infinito na finitude.

³⁷ Cf. Petraglia, Izabel Cristina “Edgar Morin, A Educação e a Complexidade do Ser e do Saber”, Editora Vozes, Petrópolis, 2000.



eu era filho único, talvez o único filho que ela poderia ter tido, o que me levava a ser especialmente mimado, amado por esta mãe que nunca me repreendeu nem maltratou. Com o passar dos anos, ela passou a simbolizar para mim, eu diria, o amor infinito. Eu não tinha nenhuma lembrança de rejeição. Os anos passando, suas palavras, o som de sua voz, tudo isso se perdendo em minha memória (não seu semblante, pois eu tinha fotos que reproduziam sua imagem), minha mãe tornou-se um vasto mito para mim, o símbolo do amor infinito, de que eu não conhecia os limites. Mas este infinito, eu o vivia justamente por tê-la perdido, ou seja, se minha mãe tivesse vivido eu a teria amado, mas não teria colocado o infinito dessa forma. Eu descobri, por assim dizer, o infinito na finitude e acredito que a experiência do infinito está ligada a esta perda, ou seja, à finitude. (MORIN, 2003, p.110).

Como podemos observar desde cedo Edgar Morin foi confrontado com a contradição vida-morte, o que se tornou uma das bases antropológicas de suas obras, partindo para a compreensão da dialética alegria/tristeza, esperança/desesperança, inclusão/exclusão, ganho/perda³⁸, estas antíteses são e estarão sempre presentes na convivência humana, evidenciam para Morin o princípio da incerteza, dando a este seu sentido humano.

Com essa perda, passou a ser criado por seu pai e pela tia que não lhe impuseram padrões rígidos de conduta moral ou normas disciplinares, nem lhe ensinaram práticas religiosas, preocupando-se apenas com aspectos de higiene, vestimenta, alimentação. Apesar do excesso de zelo de seu pai, que muitas vezes o sufocava, e a constante presença da família, Morin não superava a dor da perda da mãe. Mas essa forma de educação fez dele uma pessoa sem preconceitos, sem barreiras o que propiciou que ele, mais tarde, defendesse uma cidadania amplamente democrática e planetária, e que criasse sua própria ética.

Como ele mesmo afirma, ampliou suas experiências de mundo através do romance e do livro, sempre preocupado com os problemas sociais e os questionamentos que lhe povoavam a mente, sofrendo influências do romantismo, racionalismo, do cinema, sempre em busca do saber e da cultura, através de livros diversos. Perto dos vinte anos, deparou-se com o prenúncio da guerra e da confusão concernente a esse período, filiou-se ao partido comunista e alistou-se como voluntário da resistência francesa de 1942 a 1944.

³⁸ Cf. "Edgar Morin: Ética, Cultura e Educação", textos organizados por Alfredo Pena-Vega, Cleide R.S. de Almeida e Isabel Petraglia, editora Cortez, São Paulo, 2003.



Este fato foi marcante, pois representou um desprendimento do jugo paterno, que lhe impedia de alçar vôos, e também “do clã judeu e, sobretudo, de suas dúvidas ideológicas pela adesão ao comunismo, dividido que estava entre a aspiração ao romantismo revolucionário e o realismo reformista” (PENA-VEGA, 2003, p.10-11). Isto o fez refletir dialeticamente sobre a história, sobre o valor da vida, assumindo o risco de morte.

Devido à sua origem judaica, o sobrenome Nahum significa “consolação” em hebraico e o identificava com sua procedência, judeus que haviam sido expulsos da Espanha no século XV, com isso sofreu preconceitos e viveu na clandestinidade, tendo que adotar um pseudônimo: Morin, que depois legalizou e passa a ser chamado por toda a vida de Edgar Morin.

Pode ser considerado um estudioso, que desejou extrair o máximo conhecimento das Ciências Sociais, por isso, optou por uma formação multidisciplinar, que possibilitasse a satisfação de seus anseios. Matriculou-se posteriormente na Sorbonne, em diversas disciplinas, em cursos de História, Geografia, Direito, Ciências Políticas, Sociologia e Filosofia, desenvolvendo estudos universitários e também como autodidata.

Dentre suas várias obras, destacaremos algumas, especialmente as que subsidiam diretamente este estudo, as que apresentam a visão do autor sobre a complexidade, sobre a visão não fragmentada dos fenômenos e da natureza.

Morin esforça-se em mostrar os aspectos múltiplos do homem, suas interações; e, devido a elas, funda-se a complexidade. Morin, então, ocupa-se em elaborar estratégias que desenvolvam o homem globalmente, aprofundando-se nas Ciências, buscando o conhecimento de várias áreas, para que, talvez, interligadas e articuladas, oferecessem saídas para crises sociais.

Particularmente proveitosa foi sua participação, entre 1968 a 1975, num grupo de estudos intitulado “Grupo dos Dez”, que era composto por biólogos e cibernéticos, o que lhe revelou a cibernética como área complexa, não mecanicista, mas que congregava diversos conhecimentos que antes eram separados³⁹.

Estas discussões frutificaram e resultaram em algumas publicações, em que Morin sempre procurou orientar a comunidade científica com suas reflexões transdisciplinares na Ciência. Conforme Petraglia (2000), sua mais importante e completa

³⁹ Cf. Petraglia, Isabel C. ob. cit. p.27



obra é “O Método”, dividido em quatro volumes, e com o quinto já elaborado e em breve disponível; a pretensão dessa obra é a investigação do método. Nessa coleção, Morin articula a Ciência do homem à Ciência da natureza, demonstrando a complexidade da natureza e a natureza da complexidade. Também discute a vida antes mesmo do surgimento do homem, falando de ecologia e autonomia das espécies, a existência solitária e solidária dos seres, sua auto-organização e complexidade. No terceiro volume do Método, observa os limites do conhecimento separado em áreas e propõe religar as diversas áreas (Ciências Físicas, Biológicas e Humanas), denunciando as disjunções existentes, e apontando-as como um empecilho para que se compreenda o todo, propondo uma religação entre as Ciências para compreendê-las, superando a fragmentação, concebendo esses conhecimentos como fatores cerebrais, sociais e culturais.

Em sua obra “Ciência com Consciência”, Morin critica o fosso entre a Ciência, com sua racionalidade tecnocientífica, contrapondo-a ao humanismo, defendendo um melhor conhecimento das Ciências Naturais e seu papel na sociedade, a sua inscrição numa cultura num momento histórico, bem como a conscientização das Ciências Humanas, da Física e da Biologia, todas responsáveis pelos fenômenos humanos. Com um conhecimento mais abrangente, os cientistas poderão compreender a complexidade da realidade, entendendo por complexo, aquilo que não pode ser reduzido a uma palavra-chave, ou a uma lei geral, conforme Morin esclareceu no texto “Religar a Ciência e os Cidadãos”⁴⁰, “Quando falo de complexidade, eu me refiro ao sentido latino fundamental da palavra *complexus*, ‘o que está tecido junto’. Os constituintes são diferentes, mas é preciso ver o conjunto, como em uma tapeçaria”.

Temos um pensamento, que aprendeu muito bem a separar, mas que reúne muito mal, é preciso reaprender a religar. Já mencionamos que a Ciência, a serviço da tecnologia, recorta a realidade, o que acaba deixando o panorama geral muito confuso. E, conforme Morin, a separação é diabólica, no sentido literal do termo “*diabolus*”, “aquele que separa”. Isso se torna evidente nos grandes debates de epistemologia entre Popper, Kuhn, Lakatos, Feyerabend, etc., em que tratam da questão dos limites da Ciência, do científico e do não-científico, dos critérios de cientificidade e da questão da racionalidade

⁴⁰ Conferência feita no 4º encontro do CNRS “Ciências e cidadãos”, realizada no Futuroscope de Poitiers, em novembro de 1994, podendo ser encontrada na obra “Edgar Morin: Ética, Cultura e Educação”.



científica, mas não discutem propriamente a questão sobre complexidade; assim os discípulos destes filósofos da Ciência concluem que ela não existe. Morin, no entanto, é uma exceção, ensina-nos que: “Gaston Bachelard, que considerou a complexidade um problema fundamental, visto que, segundo ele, não há nada simples na natureza, só há coisas simplificadas” (MORIN, 1994, p.137). Mas infelizmente essa idéia não foi suficientemente desenvolvida por este autor e voltou, à tona, como tema marginal (tratada por autores marginais entre os quais o próprio Morin se inclui) com os estudos de cibernética e da teoria dos sistemas.

Essa marginalidade gerou naturalmente equívocos, o primeiro deles é justamente tentar enquadrar a complexidade no paradigma mecanicista:

“O primeiro mal-entendido consiste em conceber a complexidade como receita, como resposta, em vez de a considerar como desafio e como incitamento para pensar; acredita-se, por isso, que a complexidade deve ser um substituto eficaz da simplificação mas que, como a simplificação, vai permitir programar e esclarecer” (MORIN, 1994, p.137). Morin também adverte-nos que pode ocorrer o contrário, ou seja, a complexidade pode ser vista como inimiga da ordem e do esclarecimento, equívoco que ele responde dizendo que a complexidade é um desafio imposto pelo real, e que não podemos contorná-lo.

Como segundo equívoco, suscitado por essa nova forma de pensamento, podemos citar a confusão entre complexidade e completude.

Ora, o problema da complexidade não é o de estar completo, mas sim do incompleto do conhecimento. Num sentido, o pensamento complexo tenta ter em linha de conta aquilo de que se desembaraçam, excluindo-o, os tipos mutiladores de pensamento a que chamo simplificadores e, portanto, ela luta não contra o incompleto mas sim contra a mutilação. Assim, por exemplo, se tentarmos pensar o fato de que somos seres simultaneamente físicos, biológicos, sociais, culturais, psíquicos e espirituais, é evidente que a complexidade reside no fato de se tentar conceber a articulação, a identidade e a diferença entre todos estes aspectos, enquanto o pensamento simplificador ou separa estes diferentes aspectos ou os unifica através de uma redução mutiladora. Portanto, nesse sentido, é evidente que a ambição da complexidade é relatar articulações que são destruídas pelos cortes entre disciplinas, *entre* categorias cognitivas e entre tipos de conhecimento. De fato, a aspiração à complexidade tende para o conhecimento multidimensional. Não se

trata de dar todas as informações sobre um fenômeno estudado, mas de respeitar as suas diversas dimensões; assim, como acabo de dizer, não devemos esquecer que o homem é um ser bio-sociocultural e que os fenômenos sociais são, simultaneamente, econômicos, culturais, psicológicos, etc. Dito isto, o pensamento complexo, não deixando de aspirar à multidimensionalidade, comporta no seu cerne um princípio de incompleto e de incerteza. (MORIN, 1994, p.138).

Com isso fica claro que a complexidade não acena com a simplificação ou com a possibilidade de se descobrir o segredo do universo numa fórmula, mas lança os cientistas numa reflexão sobre os mistérios desse universo. Ela ainda foi considerada como um dos defeitos das Ciências Humanas e Sociais, devido a quantidade de interações e de interferências entre um número muito grande de unidades, impossibilitando determinações precisas, algo que pretensamente não ocorria nas Ciências Naturais; pois, nestas, havia a ordem do determinismo, o estabelecimento de leis simples e gerais que, também, pretensamente, davam conta dos fenômenos naturais, e isto legava-lhes uma hegemonia única. Mas, conforme já mencionamos, o conhecimento científico está muito incerto, diante de fenômenos que não se enquadram no seu esquema explicativo e, em vista disso, o que era considerado um problema das Ciências Humanas, algo que elas tinham de não científico, passa a ser também uma problemática a ser enfrentado nos domínios da Física, Química e da Biologia.

Morin não nos dá uma definição de complexidade, mas nos indica caminhos, chamados por ele de “avenidas”⁴¹, que nos remetem à reflexão e ao enfrentamento dessa nova ferramenta conceitual.

Como primeira avenida, Morin sugere a impossibilidade de se reduzir ou simplificar o acaso ou a desordem, sendo, portanto, o caminho da irredutibilidade, ligado inexoravelmente ao início hipotético do nosso Universo, com o Big Bang inicial e a expansão do cosmos, também as desordens inerentes aos fenômenos térmicos como, por exemplo, o modelo cinético-molecular, ou seja, a agitação e dispersão dos átomos ou das moléculas. Na definição do acaso, que leva à desordem, Morin cita o Matemático Chaïtin, que considerou o acaso como “imcompressibilidade algorítmica”⁴², que seria a

⁴¹ Cf. Morin, Edgar “Ciência com Consciência”, Publicações Europa-América, Lda, Portugal, 1994, 2ª parte.

⁴² Cf. Morin, Edgar “Ciência com Consciência”, Publicações Europa-América, Lda, Portugal, 1994, 2ª parte.

impossibilidade de deduzir uma sequência de números ou acontecimentos a partir de um algoritmo; mas também não se pode provar que essa impossibilidade de se determinar o acaso é essencial ou é devido a uma falha no nosso conhecimento. Temos que conviver com a incerteza que a noção de acaso e desordem nos traz, nas palavras do próprio autor: “o próprio acaso não é certo que seja acaso” (MORIN, 1994, p.139).

A segunda avenida se manifesta na forma da transgressão dos limites impostos pela abstração generalizada ou universalista, que não considerava o tempo, o espaço e a singularidade; segundo a biologia atual, a vida é uma organização singular entre os diversos tipos de organização físico-química existentes. Einstein também demonstrou que as medidas são relativas ao local e às condições em que são feitas. Na ecologia, os indivíduos singulares vivem e se desenvolvem num ecossistema localizado. Com isso, fica claro que não devemos eliminar a singularidade e a localidade a favor única e exclusivamente do universal, mas devemos, sim, propiciar a união do singular, do local num determinado instante com o universal.

O outro caminho ou avenida, a terceira, que nos leva ao pensamento complexo é o caminho da complicação, que surgiu, por exemplo, da incapacidade de prevermos as mudanças climáticas devido a quantidade de interações e de inter-retroações entre as variáveis, uma fantástica conjunção de fatores que não pode ser prevista nem pelos computadores mais poderosos. Esse caminho fica demonstrado no paradoxo de Niels Bohr “As interações que mantêm em vida o organismo de um cão são as que é impossível estudar in vivo. Para as estudar corretamente, seria necessário matar o cão” (MORIN, 1994, p.140).

O mistério da complementaridade pavimentou a quarta avenida, ou seja, a relação entre a ordem, desordem e a organização; e contrariando o princípio de que a ordem natural obedecia a leis naturais, princípio da “order from order”, surge o princípio da “order from noise”; na tradução “noise” significa ruído⁴³, mas podemos entendê-la também como “confusão”, ou seja, a emergência da ordem a partir do caos, de fenômenos coerentes com determinada ordem a partir de turbulências caóticas, “Henri Atlan, com efeito, submete à reflexão das diversas disciplinas a concepção do acaso organizador” (PESSIS-PASTERNAK, 1993, p.15). E é justamente, neste ponto, que René Thom ataca os teóricos

⁴³ A analogia é com o sinal de rádio. Quando sintonizamos mal um rádio temos um ruído de fundo, com ajuda de filtros podemos “limpar o sinal” e captarmos a mensagem enviada.

dessa nova ordem, acusa-os de apagar a paisagem dinâmica global a favor de uma pequena perturbação, que ocasionará a ruína da metaestabilidade do sistema. Segundo Thom, é preferível admitir, então, que a noção de ordem é, em primeira instância, morfológica, e também pode ser:

geométrica, relativa e não-absoluta, de modo que em um sistema molecular, a desordem perfeita, absoluta na escala da molécula, pode, em escala macroscópica, ser considerada uma ordem perfeita, porque então todos os seus pontos observáveis têm as mesmas propriedades observáveis. (PESSIS-PASTERNAK, 1993: 16).

Acusação que Morin rebate afirmando que a desordem não é uma noção simétrica à da ordem, mas é um macroconceito, e a ordem, na atual revolução científica, tornou-se inevitavelmente mais complexa, ligando-se não apenas antagonicamente, mas mais complementarmente à desordem, não mais sendo a racionalidade um sinônimo de certeza, e nem podendo considerar a probabilidade como sinônimo de ignorância. Diante disso, precisamos articular a complexidade e o acaso como características de fenômenos como a turbulência dos fluidos ou o clima.

Como quinta avenida, temos a organização, que traz uma dificuldade lógica, ou seja, como um sistema é organizado a partir da articulação e interação de muitos elementos diferentes, forma, portanto um uno (o sistema) que congrega o todo (as suas partes constituintes). “A complexidade lógica da unitas multiplex exige-nos que não dissolvamos o múltiplo no uno, nem o uno no múltiplo” (MORIN, 1994, p.140).

A organização comporta também um paradoxo, sendo que um sistema organizado não é apenas constituído por partes, é ao mesmo tempo, mais e menos do que a somatória das partes. Podemos considerá-lo menos no sentido em que, ao juntarmos as partes, algumas de suas potencialidades serão inibidas por opressões inerentes à organização; como exemplo Morin cita a organização social que, com opressões de caráter político, jurídico e militar, inibem ou reprimem muitas das nossas potencialidades. Ao mesmo tempo o sistema pode ser mais do que a soma das partes, no sentido em que qualidades subitamente podem emergir na interação das partes. Estas que não existiam nas partes isoladas e, portanto só podiam ser constatadas empiricamente, sendo imprevisíveis do ponto de vista lógico. Segundo Morin (1994), essas qualidades emergentes retroagem

sobre as partes; cita, como exemplo, a existência de uma cultura, de uma língua, da educação, que só podem existir num todo organizado, mas que atuam sobre os indivíduos, desenvolvendo-lhes o espírito e a inteligência. Num outro exemplo relativo à Biologia, Morin mostra-nos como um ser vivo é constituído por agrupamentos de células com diferentes funções, e observa-se no ser vivo capacidades, como o movimento e outros atributos que não são próprias das suas partes quando isoladas, mas podem surgir no sistema, retroagindo sobre as partes.

Nessa mesma linha de estudos, surge algo surpreendente, que pode ser chamado de princípio hologramático. Um holograma é uma figura que é composta por pequenas partes e cada uma delas contém as informações do todo que por sua vez se configura em suas qualidades de relevo e cor devido à junção dessas partes ou pontos.

Pois bem, nós temos esse tipo de organização nos nossos organismos biológicos; cada uma de nossas células, incluindo a mais modesta célula da epiderme, contém a informação genética do nosso ser global. (Evidentemente, só uma pequena parte desta informação é expressa nesta célula, estando o resto inibido.) Neste sentido, pode dizer-se que não só a parte está no todo, mas também que o todo está na parte. (MORIN, 1994, p.141).

No contexto social, quando aprendemos a linguagem, ou no caso da Educação (que nos introduz a cultura), temos a sociedade presente em nós, indivíduos. Com o princípio hologramático, Morin articula o princípio da organização recursiva, esta elaboração configura a sexta avenida. Este princípio está intimamente ligado à auto-organização e à autoprodução, em que os indivíduos constituem uma sociedade que atua retroativamente sobre eles, ou seja, o produto é necessário aos indivíduos para a própria produção do produto. Como ilustração biológica pertinente, podemos citar o ciclo reprodutivo, em que o indivíduo (produto) é necessário para iniciar um novo ciclo reprodutivo (produção).

Estas implicações resultaram a sétima avenida, que é justamente a problemática da definição, da conceituação clara, pois cria um problema para lógica que já não consegue fazer uma distinção entre produtor e produto, o que é causa e o que é efeito. E aí ocorre uma ruptura na concepção dicotômica cartesiana que procurava a definição reducionista, concebendo a verdade como algo emergente da clareza e da delimitação. A verdade, no

entanto, pode estar na confusão ou nas ambigüidades. Com isso fica complicado delimitar o que é Ciência.

Também não é possível demarcar, nitidamente, o ser vivo e o ambiente, algo que Morin aponta como característica da Ciência experimental, ou seja, tirar um ser vivo de seu ambiente e estudá-lo num meio artificial, manipulado, controlando as variáveis para tentar conhecê-lo, com isso poderíamos ter um “conhecimento de manipulação, mas tornava-se cada vez menos pertinente ao nível de um conhecimento de compreensão” (MORIN, 1994, p.143). Esta deficiência ficou clara, no estudo com chimpanzés em laboratórios: os animais não apresentavam o mesmo comportamento que tinham quando se encontravam livres. Além disso, precisamos ligar a auto-organização à eco-organização, pois a organização dos seres vivos depende de uma organização cósmica, presente na natureza por meio da sucessão dos dias e das noites; devido ao movimento de rotação da Terra, o clima da primavera propicia uma renovação no ciclo da vida animal, esse clima decorre do movimento de translação da Terra.

A autonomia também é vista como um problema de complexidade, sendo possível somente uma teoria de sistemas que é aberta e fechada ao mesmo tempo, haja vista que um sistema, para funcionar, necessita de energia para realizar suas funções, e consegue esse suprimento de energia no meio circundante; portanto um sistema autônomo é também ao mesmo tempo dependente, criando uma complementaridade na antítese.

A oitava avenida, sugerida por Morin, e que nos leva à complexidade, é a necessidade de incluir o observador no ato da observação, pois o observador também é fruto da sociedade, ou seja, de acordo com o princípio hologramático, é produzido pela sociedade que ele produz, não sendo; portanto, possível uma neutralidade absoluta, ou um critério universal absoluto para poder fazer julgamentos ou escolhas de objetos a serem estudados.

Foi esta a carência lamentável da antropologia do início deste século, em que os antropólogos como Lévy-Bruhl pensavam que aqueles a quem eles chamavam ‘primitivos’ eram adultos infantis que só tinham um pensamento místico e mágico. Mas então – a pergunta foi feita por Wittgenstein, entre outros – como é que eles são capazes de fabricar – com que astúcia técnica e com que inteligência? – flechas reais e como é que eles são capazes de as atirar e de matar verdadeiramente o animal, enquanto praticam feitiços e ritos mágicos? O erro de Lévy-Bruhl vinha

de seu ocidentalocentrismo racionalizador de observador inconsciente do seu próprio lugar no devir histórico e da sua particularidade sociológica; ingenuamente, ele julgava-se no centro do universo e no topo da razão. (MORIN, 1994, p.144).

Também, na Física, essa inclusão é necessária, pois ao se efetuar qualquer observação microfísica, podemos produzir alteração na partícula a ser observada “A idéia de que não conhecemos do real senão o que nele introduzimos, ou seja, que não conhecemos do real senão a nossa intervenção nele está bem expressa no princípio da incerteza de Heisenberg” (SANTOS, 1997, p.25-26). Portanto, o observador e a coisa observada interagem, e a objetividade que o conhecimento científico exige deve trazer em si uma diversidade de teorias e paradigmas que remetem o observador para uma reflexão bioantropológica do conhecimento, calcada nos aspectos culturais, sociais (relações sociais) e históricos. Isto posto, fica claro a necessidade de inclusão do conceptor na concepção, ou seja, o observador deve se incluir na observação.

Podemos perceber que com essas diversas avenidas, cada uma delas encerrando suas complexidades, formam um “complexus do complexus”, como fios diversos que tecem o tecido da realidade, que é uma unidade, mas que traz a variedade e a riqueza individual das complexidades que se uniram para compor o todo.

4. Uma educação para o século XXI na perspectiva de Edgar Morin.

A partir de 1999, com a publicação de vários livros, Morin sistematiza suas idéias sobre educação de uma maneira mais enfática; pois, em sua opinião, a educação é uma área que necessita urgentemente de mudanças profundas prioritariamente no que diz respeito ao pensamento.

Em “Notas para um ‘Emílio’ Contemporâneo”⁴⁴, o autor discute o nosso sistema educacional, que em sua opinião ensina a separar os problemas isolando os objetos nas grandes áreas do saber para poder analisá-los melhor, mas não conscientiza os alunos que os conhecimentos (apesar de estarem em “galhos” distintos), estão unidos num tronco comum, e portanto devem comunicar-se. A falha da escola está justamente em não juntá-

los, após a análise, gerando efeitos como a hiperespecialização dos saberes e uma dificuldade de articulá-los uns aos outros. Morin acusa a hiperespecialização de impedir que se tenha noção do global (que é fragmentado, nessa concepção de ensino), e também impede de ver o essencial (que é dissolvido por essa fragmentação). “Ora, os problemas essenciais nunca são parciais e os problemas globais são cada vez mais essenciais” (MORIN, 2003, p.149). Não podemos considerar um problema sem contextualizá-lo, e seu contexto também deixará de ser local e passará a ser global ou planetário, conforme podemos atestar em pesquisas recentes, como a apresentada no artigo “Estufa que exporta poluição”, publicada na edição 71, na revista FAPESP, em que a poluição produzida, na grande São Paulo, pode afetar cidades a quase 400 quilômetros de distância como, por exemplo, Bauru. O estudo também revela que dependendo das condições climáticas, as cinzas das queimadas, na Amazônia, podem afetar a cidade de São Paulo; dessa forma, ilustramos o que Morin quis dizer quando afirmou que, nos últimos dez anos, descobriu-se que os grandes problemas se tornaram planetários e “para pensar localmente é preciso também pensar globalmente” (MORIN, 2003, p.149). Portanto, um dos elementos que precisam de uma mudança sem dúvida, é o pensamento que deve ser sistêmico. Morin alerta-nos para não se confundir com análise sistêmica, pois esta enfatiza o conhecimento do todo, mas não privilegia as partes, ficando superficial; a análise sistêmica é contrária a de análise legada pela tradição cartesiana, que já comentamos, e que impregna o nosso ensino, na qual se conhece o todo pela sua decomposição: separação e análise minuciosa das partes.

Edgar Morin, a nosso ver, faz a grande síntese entre essas duas concepções; pois, conforme ele mesmo afirma:

Meu axioma é ao mesmo tempo sistêmico e analítico. Ele se expressa em uma fórmula de Pascal, que cito freqüentemente: ‘Considero impossível conhecer o todo sem conhecer especialmente as partes’. Isso implica um caminho do pensamento ‘em vaivém’. (MORIN, 2003: 150).

⁴⁴ Cf. Morin, Edgar “Notas para um ‘Emílio’ Contemporâneo”. In: Pena-Veja, Alfredo, Almeida R.S. Cleide, Petraglia, Izabel (Orgs.), “Edgar Morin: Ética, Cultura e Educação”, Ed. Cortez, São Paulo, 2003.

Como proposta, para reformulação do ensino fundamental, Morin sugere que os educadores considerem dois princípios, que ele considera capitais para a compreensão do mundo: o princípio das qualidades emergentes e o princípio hologramático, respectivamente a quinta e a sétima avenida que nos leva a complexidade. Esses princípios devem ser colocados no ensino elementar, porque as crianças sentem espontaneamente suas aptidões analíticas e sintéticas, nós é que impomos a nossa lógica a elas e as ensinamos a categorizar as coisas; e mais, acabamos por infundir os estereótipos aos alunos primários. Se uma criança desenha uma casa conforme ela sente, conforme ela vê esta casa e apresenta este desenho, no início ao menos este desenho é bem diferente do tradicional que conhecemos, a professora talvez para não desapontar a criança elogie, mas em seguida lhe ensinará um modelo estereotipado de casa, ou seja, aquele modelo que conhecemos bem, composto por formas retangulares e triangulares, com fumaça saindo da chaminé e tudo o mais.

E, no meu entender, uma criança pode muito bem compreender que quando ela come, cumpre não somente um ato biológico, como também um ato cultural: que essa alimentação foi escolhida em razão de normas que lhe deram sua família, sua religião... A criança está apta a compreender essa complexidade do real, ao passo que o adulto frequentemente, formado pelo ensino acadêmico, não consegue mais. (MORIN, 2003, p.152).

A partir daí, o ensino se processa em categorias isolantes, aprende-se História, Geografia, Química, Física, sem se dar conta de que os fatos históricos ocorrem em espaços geográficos, e a própria Geografia é resultado da História evolutiva do planeta. Mais adiante, não se percebe que a Química e a Microfísica estudam o mesmo objeto sob ângulos diferentes. O ser vivo só pode ser convenientemente estudado em seu meio, de onde retira sua energia e sua organização; se for isolado, não demonstrará seu real comportamento.

Com esse espírito, Morin pretende buscar um ponto de partida para o ensino, baseado na interrogação (programa interrogativo), começando pelo homem, e com esse programa descobrir a natureza biológica, psicológica e social; ou seja, o homem é ao mesmo tempo totalmente biológico e totalmente cultural, e o cérebro, da biologia, e a mente (da Psicologia), são faces diferentes de uma mesma moeda. A cultura, por sua vez, emerge, através da linguagem, quando precisamos nos comunicar. Podemos, também,

aplicar esse programa à Biologia, ou seja, interrogando a Biologia e descobrir que somos feitos da mesma matéria de que também são feitos outros seres vivos, diferindo biologicamente na organização. Torna-se necessário estudar o mundo físico, recontar a evolução do Cosmo, explicitando as hipóteses e o que é desconhecido, a formação das partículas, dos elementos químicos forjados nas fornalhas cósmicas (estrelas), a própria formação das estrelas e dos planetas, levantando a hipótese da contribuição de meteoritos na constituição de macromoléculas. “Então a física, a química, a biologia poderão se diferenciar, tornar-se matérias distintas, porém, não mais isoladas” (MORIN, 2003, p.153).

Em seu livro “*Os sete saberes necessários à Educação do Futuro*”⁴⁵, elaborado a partir de um pedido de Frederico Mayor, presidente da UNESCO, Morin reflete sobre as necessidades da educação no século XXI, sem a pretensão de apresentar um programa educativo, o autor aborda alguns dos problemas específicos, chamados de buracos negros, existentes tanto do ensino fundamental, médio e superior, e que são ignorados nos programas educativos, mas em sua opinião deveriam estar no centro das atenções dos que se preocupam com a formação de jovens e futuros cidadãos.

Um dos problemas ou “buracos negros” abordados, refere-se ao conhecimento, fornecido pelo ensino, que fornece saberes, mas, não revela o que é de fato o conhecimento; e - nesse caso - incorre em dois outros problemas: o erro e a ilusão.

O conhecimento não é um reflexo ou uma reprodução fiel da realidade, mas, é uma tradução seguida de uma reconstrução; por exemplo, no fenômeno em que se processa a visão: a imagem de um objeto luminoso ou iluminado atinge nossos olhos, aparelhos receptores de ondas eletromagnéticas, que ao incidirem em nossa retina, sensibiliza as terminações nervosas, são transformadas em pulsos elétricos que são transmitidos através do nervo óptico ao cérebro, para então ser “montada” e nos dar a percepção do objeto; ou seja, a percepção visual que temos das coisas é uma reconstrução, e ainda enxergamos apenas uma faixa limitada do espectro eletromagnético. Também ao olharmos para o passado, vemos que muitas das nossas crenças comportam erros. A História da Ciência é um exemplo interessante de que o conhecimento comporta erros.

Morin também afirma que não há diferença intrínseca entre alucinação e percepção, por exemplo, se alguém tiver uma alucinação e ver Napoleão Bonaparte, a única

⁴⁵ Morin Edgar, “Os sete saberes necessários à educação do futuro”. Ed. Cortez, São Paulo, 2001.



certeza que podemos ter de que se trata de uma alucinação, é sabermos que Napoleão já está morto, exceto isso não poderíamos afirmar que não se trata de uma percepção.

Historicamente, podemos nos lembrar que nos momentos antecedentes à 2ª Grande Guerra Mundial, a França e a Alemanha tinham partidos socialistas fortes e de índole pacifista, mas que, após a eclosão da guerra, lançaram propagandas nas quais um acusava o outro das piores atrocidades. Atualmente, podemos constatar, nas propagandas, os recortes que são feitos para manipular a população sobretudo em campanhas políticas, em que se esconde a parte desvantajosa e ressalta a que revela os erros do outro lado. O problema está justamente em adotar uma reconstrução ou idéia como realidade, e isso equivale a confundir um mapa com o terreno. Uma outra vertente desse erro é considerar que os nossos costumes, nossa cultura e origem são os normais, mais corretos, o que nos leva a considerar ridículo ou como desvio patológico os costumes dos povos que não estiverem dentro de nossas normas.

As idéias adquirem status de verdades absolutas, e leva pessoas a matar ou a morrer em nome delas, portanto, o problema do conhecimento não deve ser relegado apenas aos filósofos, mas deve ser encarado por todos e, desde cedo, devemos explorar as possibilidades de erro, para que, segundo Morin, termos condições de ver a realidade, pois não existe fórmula ou receita para essa conscientização.

Com relação a outro buraco negro, apontado pelo autor, muito já falamos, pois se trata do conhecimento pertinente, o mundo formado pelo conhecimento disciplinar. As disciplinas são insubstituíveis e aprofundaram nosso conhecimento do mundo, mas as conexões que existem entre elas e (que são invisíveis) precisam ser consideradas. É preciso colocar o conhecimento num contexto, pois não é a quantidade de informações ou o aparato matemático que nos dará o conhecimento pertinente, mas a capacidade que temos de contextualizá-lo.

Morin também cita, como falta dos programas de instrução, a omissão no ensino da identidade humana. Somos indivíduos inseridos numa sociedade, sociedade que também esta inserida em nós, fazemos parte de uma espécie que depende de nós, pois se não nos reproduzimos acabamos com a espécie. Portanto, a realidade humana é trinitária, indivíduo, sociedade e espécie, cada termo gera o outro e está presente no outro.



Morin acredita na convergência das ciências com a identidade humana, principalmente as ciências surgidas após a metade do século XX, a Cosmologia, as Ciências da Terra e a Ecologia.

Na Cosmologia, precisamos estar cientes de que estamos num minúsculo planeta marginal, e que nossa missão não deve ser mais dominá-lo, mas civilizá-lo.

Nas Ciências da Terra, precisamos ensinar que estamos num planeta formado por fragmentos provenientes da explosão de estrelas anteriores ao nosso sol, que organizados e auto-organizados geraram a vida. Precisamos revelar que a matéria, que nos constitui, foi gerada na explosão que deu início ao universo, que temos átomos de carbonos em nossos corpos que foram formados em estrelas distantes, através da fusão de núcleos de hélio, e devido ao ciclo dos elementos na natureza, átomos que nos constituem, hoje, podem ter feito parte do corpo de algum dinossauro no passado, ou de alguém da antiguidade. Numa visão mais abrangente, podemos dizer que somos filhos do Cosmo, e irmanados pela nossa composição química: mas, não obstante, estranhamo-nos porque ficamos na superficialidade de nossas diferenças culturais.

Na literatura e poesia, podemos encontrar um meio para se adquirir conhecimentos, apreender a complexidade humana, através da literatura; entender os indivíduos como sujeitos a emoções, paixões, etc., transpondo a visão das Ciências Sociais que ficam nas categorias e não vêem o indivíduo. A literatura aborda o meio social, familiar, histórico, as relações humanas com intensidade que precisa ser aproveitada.

Outro aspecto inexistente, em nossos programas educativos, é o ensino da compreensão humana. Não aprendemos como compreender nossos vizinhos, parentes, pais, ou as pessoas; Morin usa a palavra compreender no sentido de se ter vários elementos de explicação, e vai além, observando que a compreensão deve abranger, na realidade, a empatia, ou seja, a identificação com o outro, pois não se compreende alguém que chora analisando suas lágrimas em um microscópio, mas tendo consciência das emoções e da dor, e isso naturalmente leva a compaixão e estabelece uma forma de comunicação entre as pessoas. O exercício da compreensão nos leva a compreender as pessoas dentro dos seus próprios limites.

Infelizmente a compreensão humana não é abordada, e devido a essa falta, cresce o individualismo, o egocentrismo, as pessoas procuram se autojustificar criam



forjações mentais, situações em que mentem para si mesmas, algo que os ingleses chamam de “self-deception”. Nota-se que esse egoísmo leva as pessoas a trabalharem sempre com os aspectos negativos, enfatizando-os em detrimento de outros elementos, também leva a redução das outras pessoas. Morin considera que essa visão unilateral, essa falta de percepção da complexidade humana são grandes entraves da compreensão humana, e ainda considera plenamente justificável o aprendizado da compreensão, não somente com relação aos outros, mas também com relação a nós mesmos: analisando-nos; descobrindo os momentos em que estamos forjando situações para justificarmo-nos, e a medida que avançamos, nesse aspecto, poderemos vislumbrar num futuro: a humanidade reatando-se consigo mesma e extirpando o câncer da incompreensão que devasta os relacionamentos humanos.



CAPÍTULO III

O EFEITO ESTUFA

1. Uma análise essencial e necessária sobre o efeito estufa

Ao abordarmos numa sala de aula o tema referente ao aquecimento global, em que o ligeiro aumento das médias de temperatura observadas no planeta é atribuído a um fenômeno denominado efeito estufa, faz-se necessário ressaltarmos a importância desse fenômeno, observando que a vida teria poucas chances de se desenvolver se, por algum motivo, fôssemos desprovidos dele. Mas o que é o Efeito Estufa?

Nosso planeta recebe diariamente a energia solar, ou seja, o calor do sol a luz visível, por irradiação. Para compreendermos a irradiação, não só do sol, mas de qualquer corpo aquecido, precisamos recorrer ao modelo que concebe a luz como onda eletromagnética, da mesma natureza que as ondas de rádio, televisão ou os raios X, diferenciando-se delas apenas na frequência e no comprimento de onda.

As frequências das radiações eletromagnéticas estão relacionadas com a natureza da fonte dessas radiações, ou seja, quanto maior a frequência, maior a energia propagada mais próximo do interior do núcleo está a sua fonte. Por sua vez frequências mais baixas se originam nas oscilações de elétrons em fios condutores, conforme podemos verificar no espectro eletromagnético, o intervalo de 10^{11} a $4 \cdot 10^{14}$ Hz corresponde às



radiações infravermelhas ou radiações de calor, originárias da vibração ou oscilação dos elétrons exteriores a átomos e moléculas. No mesmo espectro eletromagnético verificamos a estreita faixa correspondente à luz visível limitada a frequências de $4 \cdot 10^{14}$ a $8 \cdot 10^{14}$ Hz, em seguida e até 10^{17} Hz estão as radiações ultravioletas, cuja origem está nas oscilações ou transições dos elétrons situados nas camadas mais externas dos átomos. Os raios X, cujas frequências se situam entre 10^{15} e 10^{20} Hz, originam-se das transições de elétrons nas camadas mais internas dos átomos. Por fim, os raios gama surgem das transições de partículas em camadas do interior do núcleo atômico e tem frequência na faixa de 10^{19} a 10^{24} Hz⁴⁶. O comprimento de onda dessas radiações segue numa ordem inversa a da frequência, ou seja, quanto maior a frequência, menor o comprimento de onda e vice-versa.

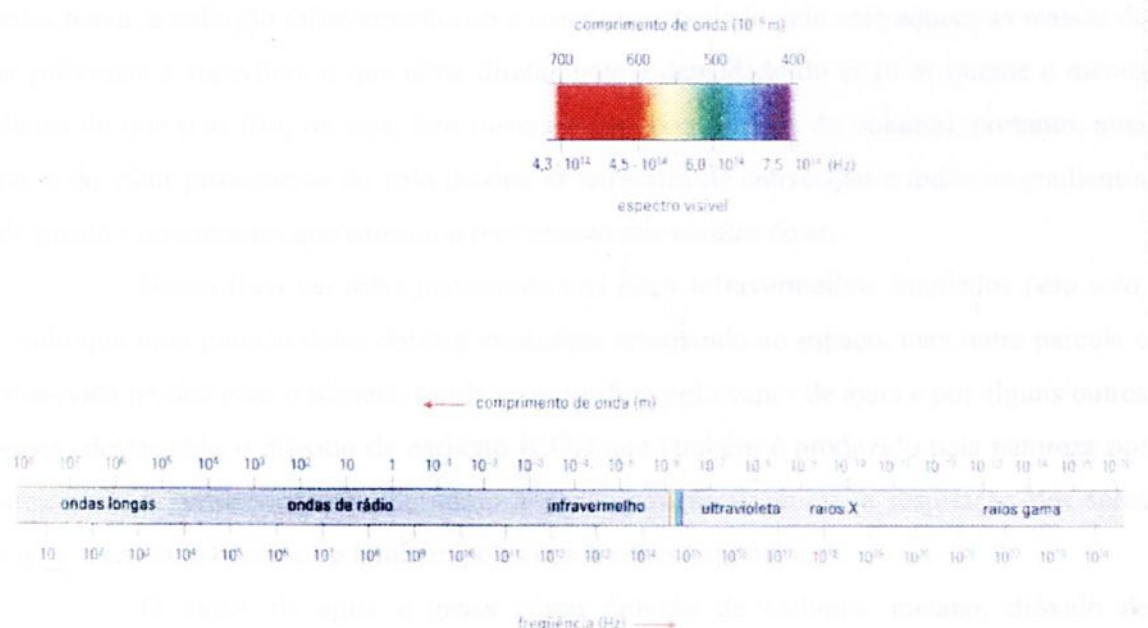


Figura 01. Espectro Eletromagnético.

Uma característica das ondas eletromagnéticas consiste no fato delas não precisarem de um meio material para se propagarem, pois transportam energia (calor é uma forma de energia) e não matéria. Portanto, dessa forma, de toda energia solar que atinge

⁴⁶ Cf. GASPAR, A. **Física: Ondas, Óptica e Termodinâmica**. São Paulo, Ática: 2000.

nosso planeta, parte dela entra na atmosfera, enquanto outra parte é refletida pela própria atmosfera e retorna ao espaço. A parcela da radiação que entra, atinge o solo e novamente uma pequena parte é refletida, mas a maior parte é absorvida pelo solo, que como qualquer objeto que recebe luz solar absorve energia, aquece-se e emite radiação infravermelha (calor). Esse efeito só pode ser explicado se considerarmos a luz como partícula, a luz se comportando como partícula, na interação com a matéria, ela transforma-se em calor e, nessa situação, devemos considerar outro modelo, ou seja, o modelo quântico em que a energia luminosa é considerada como quantum de energia denominados fótons.

Estes dois aspectos do comportamento da luz: ser interpretada como onda quando se propaga e, como partícula, quando interage com a matéria, constituem-se, na “dualidade onda-partícula”, detalhadamente estudada em Mecânica Quântica. Dessa forma, o solo absorve fótons de energia da luz solar incidente e depois emite fótons de energia mais baixa, a radiação infravermelha ou o calor que irradiado pelo solo aquece as massas de ar próximas à superfície o que afeta diretamente a densidade do ar (o ar quente é menos denso do que o ar frio, ou seja, tem menos massa por unidade de volume), portanto, uma parte do calor proveniente do solo produz as correntes de convecção e todos os gradientes de pressão importantes que causam o movimento das massas de ar.

Nosso foco vai estar justamente nos raios infravermelhos irradiados pelo solo, sendo que uma parcela deles deixa a atmosfera retornando ao espaço, mas outra parcela é absorvida e volta para o planeta, retida na atmosfera pelo vapor de água e por alguns outros gases, destacando o dióxido de carbono (CO_2) que também é produzido pela natureza por uma série de processos naturais como a decomposição orgânica, a respiração dos seres vivos, a emissão oceânica e também pelas combustões espontâneas.

O vapor de água e gases como dióxido de carbono, metano, dióxido de nitrogênio, os halocarbonos e alguns outros, presentes na atmosfera, são chamados de gases “estufa”, pois deixam passar a luz solar, a radiação de ondas curtas e alta frequência, (consideradas relativamente à radiação infravermelha, ou ondas de calor), sendo, portanto transparentes a luz solar, mas dificultam a passagem das ondas longas e de frequência mais baixa (em relação ao espectro visível), na faixa do infravermelho, sendo opaco a elas.

Apesar da atmosfera ser formada por aproximadamente 99% de nitrogênio e oxigênio (ver tabela 01), estes gases não contribuem para o efeito estufa, pois para a

radiação ser absorvida, isto depende do tipo e do volume dos corpos que atravessa, e como as moléculas de oxigênio e nitrogênio, em combinações de dois átomos, são relativamente pequenas, capturam a maior parte das ondas curtas e de altas frequências como raios X e raios gama, sendo bastante conhecida a absorção da radiação ultravioleta (também de alta frequência e de ondas curtas) pela camada de ozônio (moléculas compostas por três átomos de oxigênio) da estratosfera, mas a energia solar que incide sobre a superfície terrestre transfere energia para o solo e para a água e depois é novamente emitida pelo solo sob forma de calor (radiação infravermelha), no entanto, essa radiação proveniente do solo é de frequência mais baixa e de maior comprimento de onda do que àquela que incidiu sobre a superfície terrestre, não sendo, portanto, absorvida pelas moléculas de oxigênio e nitrogênio.

Se a atmosfera fosse constituída apenas por esses dois gases, que já compõem 99% dela, toda a energia infravermelha (calor) seria irradiada, sem retenção, para o espaço, o que faria com que nosso planeta se tornasse gelado durante a noite, conforme o que ocorre em Mercúrio (o planeta do sistema solar mais próximo do Sol), em que a face voltada para o Sol atinge temperaturas de 400°C , mas a energia sob forma de calor recebida durante o “dia”, é irradiada para o espaço e a noite mercuriana chega a -180°C , essa temperatura, sem considerar outros aspectos, já daria poucas chances de propiciar o surgimento da vida.

Felizmente o quase 1% de gases, que compõem a atmosfera terrestre, juntamente com as nuvens, conseguem reter mais de 80% das radiações de ondas longas (ondas de calor, ou radiação infravermelha), absorvendo-as e reemitindo-as de volta à superfície, o resultado dessa absorção e reemissão são impressionantes, pois com a propriedade desses gases e do vapor de água e das nuvens, o planeta recebe diariamente deles o dobro de energia na forma de radiação infravermelha, em comparação do que recebe diretamente do sol. Portanto, esse efeito, que é determinado por uma quantidade muito pequena de gases, resulta num fenômeno natural que mantém o calor na Terra.

A propriedade desses gases “estufa” existe devido ao fato de suas moléculas terem o tamanho e a configuração certa para reterem e depois irradiarem os raios infravermelhos de ondas longas, aquecendo, dessa forma, nosso planeta. Por isso, esse fenômeno foi comparado analogamente às estufas, onde se cultivam plantas, pois, as

paredes e o teto de vidro também são transparentes à luz solar, deixando-as entrar, e conseqüentemente aquecer o interior da estufa, no entanto, o vidro age da mesma forma que os gases “estufa”, ou seja, são transparentes às ondas curtas mas dificultam a saída da radiação infravermelha, de ondas mais longas, o que resulta num aumento da energia interna e num aquecimento gradativo do interior da estufa, cuja finalidade é propiciar um melhor desenvolvimento dos vegetais colocados em seu interior. Como outro exemplo, podemos observar que num automóvel, quando deixado sob o sol, com os vidros fechados, ocorre um aquecimento acentuado de seu interior, devido à semelhança dos fenômenos. O aquecimento global foi chamado de “Efeito Estufa” (Greenhouse effect, em inglês).

Podemos concluir, portanto, que o Efeito Estufa é um fenômeno natural de importância crucial para o desenvolvimento da vida no planeta Terra, pois permite uma média global de temperaturas durante o ano, em torno de $15,5^{\circ}\text{C}$. No entanto, quando o fenômeno é abordado por jornalistas ou publicitários, toma dimensões catastróficas, pois sempre é relacionado ao aquecimento acelerado da Terra.

Sem esse efeito, a média anual de temperaturas seria aproximadamente 33°C mais fria, ou seja, teríamos -18°C de temperatura média algo que provavelmente inviabilizaria o desenvolvimento da vida em nosso planeta.

2. A atmosfera e sua composição

A atmosfera (do grego atmós = gás; sphaîra = esfera) é composta por diversos gases que formam uma cobertura que envolve o planeta, mantendo-se ao seu redor, devido à atração da gravidade. Podemos considerar que essa composição seja razoavelmente homogênea até uma altitude de aproximadamente 96 quilômetros, acima dessa altitude a atmosfera deixa de ser homogênea e se constitui de sucessivas camadas de oxigênio (O_2), hélio (He), e hidrogênio (H) atômico. Conforme aumenta a altitude, diminui a densidade da atmosfera, aproximando-se da quase inexistente densidade do espaço cósmico, com essa peculiaridade não se pode afirmar com certeza onde a atmosfera termina.



Basicamente a atmosfera é composta por:

GASES	% EM VOLUME
Nitrogênio (N ₂)	78,088%
Oxigênio (O ₂)	20,949%
Argônio (Ar)	0,93%
Dióxido de carbono (CO ₂)	0,03%
Neônio (Ne)	0,0018%
Hélio (He)	0,0005%
Metano (CH ₄)	0,0002%
Criptônio (Kr)	0,0001%

Tabela 01: Composição da atmosfera.

Devido às propriedades já mencionadas, o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄), o dióxido de nitrogênio (N₂O) e os clorofluorcarbonos (CFC) - estes últimos configuram um grupo de componentes produzidos pelo homem – mas todos são os principais responsáveis pela potencialização do Efeito Estufa. Mais adiante, citaremos a contribuição desses gases e algumas de suas particularidades. Sabe-se ainda que o vapor d'água é bastante efetivo na retenção do calor, porém, estimar sua contribuição - com razoável precisão - é algo difícil, pois a sua quantidade na atmosfera é extremamente variável.

A atmosfera, como um todo, é dividida em cinco camadas (ver tabela 02) que tem como uma de suas características o gradiente de temperatura, ou seja, a forma como varia a temperatura em relação à altitude, tomando-se como referência o nível do mar.

Quando o gradiente for positivo, significa que a temperatura aumenta com a altitude, por sua vez um gradiente negativo indica que a temperatura decresce com a altitude, já um gradiente indefinido, conforme se observa na exosfera, indica que a temperatura não tem um valor significativo, isto ocorre porque a densidade das moléculas tem um valor muito baixo.

A região atmosférica, onde vivemos, denomina-se troposfera, sendo que a ela pertence aproximadamente dois terços de toda a massa da atmosfera, essa região apresenta um gradiente de temperatura negativo, ou seja, a temperatura cai conforme se aumenta a altitude, a razão de queda é cerca de $6^{\circ}\text{C}/\text{km}$; e isto ocorre porque a troposfera é aquecida pelas radiações solares que são absorvidas pelo solo e reemitidas pela superfície terrestre. É também nessa região atmosférica que ocorre os fenômenos que afetam o tempo, como por exemplo, a formação de nuvens, as chuvas e as movimentações mais intensas das massas de ar, quando estas, estando próximas a superfície, recebem a irradiação proveniente do solo, aquecem-se, tornando-se menos densas e formam correntes convectivas verticais, o que ocasiona uma região de baixa pressão, e, conseqüentemente, massas de ar de regiões de alta pressão se deslocam para ocupar o lugar das massas de ar quente, que ascenderam por convecção, originando desde uma simples brisa até um intenso furacão. A existência de correntes de ar frio e quente, na troposfera, que se movimentam continuamente, justificam a sua denominação, pois em grego, “tropos” significa movimento.

Todos esses fenômenos são considerados fenômenos troposféricos, e os grandes aviões no intuito de evitá-los, haja vista as turbulências que provocam e os perigos que representam, realizam os chamados vôos estratosféricos.

A estratosfera é a camada localizada na parte superior da troposfera, e apresenta gradiente de temperatura positivo, o que significa que a temperatura aumenta com a altitude atingindo um valor máximo de 13°C , esta característica pode ser explicada pelo fato de que a maior parte da radiação solar ultravioleta ser absorvida pela camada de ozônio, localizada na estratosfera, e isto nos livra desta radiação letal que, se atingisse a superfície, provocaria danos à vida.

Como a troposfera não é uma camada bem definida, sua altitude é variável conforme a região do planeta, ou seja, nos pólos sua altitude é de cerca de 8.000 metros e no Equador cerca de 14.000 metros, no entanto, determinamos que sua altitude é de aproximadamente 11.000 metros por ser uma altitude média, e denominamos a diferença entre a menor altitude e a maior altitude de tropopausa.

Revelações recentes, no entanto, mostram que devido à poluição a estrutura da atmosfera está sendo alterada, uma equipe internacional de pesquisa, detectou um aumento de aproximadamente 180 metros no início da tropopausa o efeito é inicialmente atribuído às



emissões de CO_2 que estaria aumentando a temperatura da troposfera e provocando sua expansão volumétrica, esse efeito também pode ser potencializado pela diminuição do ozônio estratosférico que esfria a estratosfera, a pesquisa é assinada por cientistas do Laboratório Nacional Lawrence Livermore, do Laboratório Lawrence Bekerley, do Centro Nacional de Pesquisa Atmosférica (dos Estados Unidos), e ainda do Instituto de Física Atmosférica (da Alemanha) e da Universidade de Birmingham (na Grã-Bretanha).

Com relação à destruição da camada de ozônio, um fato recente e animador pode ser constatado, o buraco que a destruição da camada de ozônio formava interrompeu seu crescimento, conforme notícia veiculada na Folha on-line – Ciência, em 05/06/2003. As previsões de que a camada de ozônio poderá ser recuperada, ainda esse século, provocam divergências: os japoneses acreditam que em 2040 a camada estará em plena forma, mas, segundo simulações feitas pelo Centro Nacional de Pesquisa Meteorológica da França, a camada apenas vai começar a se recompor após 2050. Esse fato se deve ao controle promovido pelo protocolo de Montreal, que limitava a emissão de gases que destroem a camada de ozônio e como este se recompõe naturalmente, a tendência é que a camada se reconstitua; a dúvida, no entanto, permanece no tempo requisitado por este “reparo”.

A próxima camada é a mesosfera, com gradiente de temperatura negativo, chegando a registrar -95°C , na parte superior, a menor temperatura de toda a atmosfera; quando se atinge essa marca já se está no limite a partir do qual se inicia a termosfera, novamente temos um aumento de temperatura, que se deve à absorção dos raios X e dos raios ultravioletas com comprimentos de ondas mais curtos provenientes do Sol.

Na termosfera a temperatura pode variar entre 1093°C e 1648°C . Acima dessa região está a exosfera, cuja baixa densidade não permite que a temperatura tenha um valor significativo, além da exosfera, a existência de elétrons e núcleos atômicos ionizados pela absorção de raios X solares e raios ultravioleta produzindo camadas conhecidas como ionosfera.

Veja na tabela abaixo as extensões aproximadas de cada camada atmosférica:

Camada atmosférica	Altitude	Gradiente de Temperatura
Troposfera	0 a 11km	Negativo
Estratosfera	11 a 48km	Positivo
Mesosfera	48 a 80km	Negativo
Termosfera	80 a 650km	Positivo
Exosfera	Acima de 650km	Indefinido

Tabela 02: Camadas da Atmosfera.

Dentre os diversos fenômenos ópticos que resultam da interação da luz solar e as partículas da atmosfera, está a difração e a dispersão ou espalhamento sofrido pela luz solar, que pode ser explicado pelas propriedades ondulatórias da luz, este fenômeno é responsável pela cor azul que predomina na abóbada celeste, e foi explicado no século XIX pelo físico inglês John Rayleigh, por isso se chama espalhamento Rayleigh, o fato curioso deste fenômeno consiste no maior espalhamento sofrido pela luz visível de menor comprimento de onda, ou seja, o azul (vide Figura 01), o Sol emite radiação em todos os comprimentos de onda, mas a mais irradiada situa-se na faixa do espectro visível.

O que ocorre é que a atmosfera espalha com mais eficiência as ondas de menor comprimento de onda, pois, segundo se constatou experimentalmente, para partículas menores que o comprimento da luz incidente, a dispersão é diretamente proporcional à quarta potencia da frequência, ou ainda inversamente proporcional à quarta potência do comprimento de onda (da luz incidente), como a frequência do azul é quase duas vezes maior que a frequência do vermelho, então sua dispersão é multiplicada por 16 (2^4), ou seja, a luz azul é quase dezesseis vezes mais dispersada do que a luz vermelha. Como vimos, 99% da atmosfera é composta por oxigênio e nitrogênio que são pouco efetivos, na interação, com ondas de maior comprimento, devido aos seus tamanhos e configurações.

Ao entardecer, a aparência avermelhada do céu se explica também pela dispersão da luz azul, pois quanto mais a luz visível se propaga na atmosfera, mais a

freqüência azul é espalhada, e à medida que o Sol se põe, os raios atravessam uma camada maior de atmosfera até chegar ao observador do crepúsculo, como o percurso é maior, mais o azul é disperso, ou seja, ocorre uma atenuação das freqüências mais altas, chegando até nós com intensidade menor do que a luz vermelha que foi menos dispersa, por isso o céu se torna avermelhado no crepúsculo.

Complementarmente podemos também citar o efeito Tyndall, em que a luz ao atravessar a camada próxima a superfície, que contém maiores concentrações de dióxido de carbono, e esse gás dispersa comprimento de ondas maiores (vermelho) da luz visível.

Podemos verificar claramente em foto recente, tirada pela estação espacial internacional, (figura 02) a região que determina o término da troposfera e o início da estratosfera, denominado de tropopausa. Também se percebe o espalhamento Rayleigh que determina a dispersão mais acentuada da freqüência da luz azul.



ISS007E10974

Figura 02. Espalhamento Rayleigh, e camadas da atmosfera.

3. Os gases “estufa”.

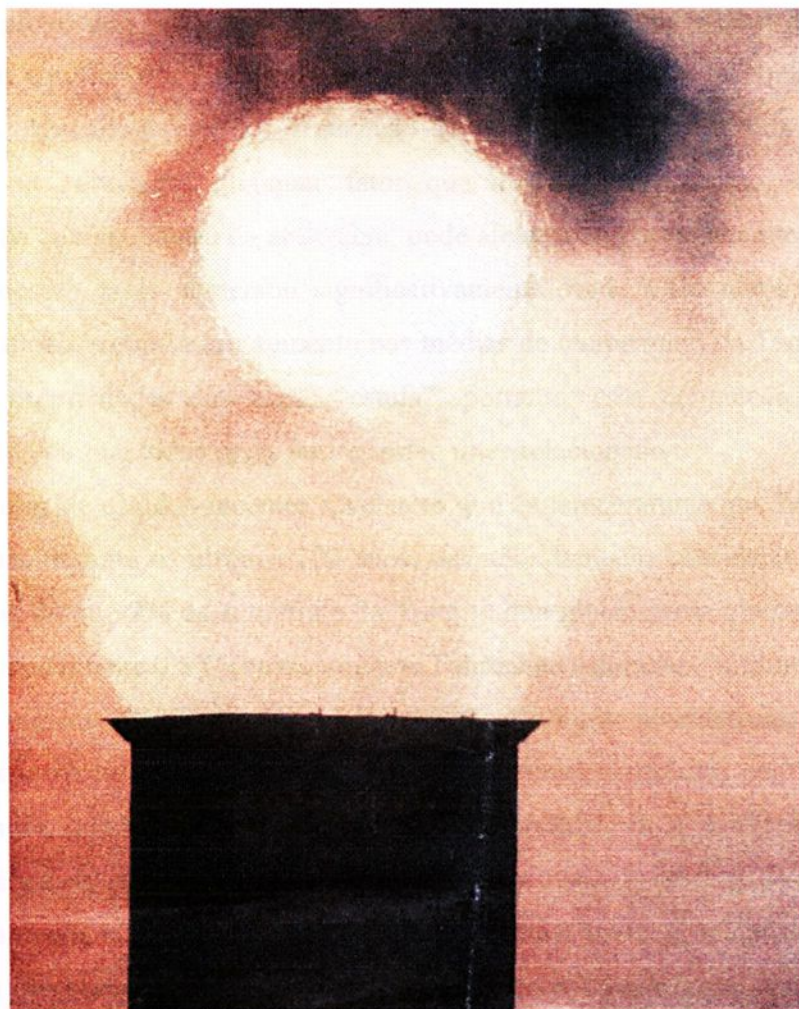


figura 03. Emissão de gases poluentes.

Os gases “estufa”, juntamente com o vapor d’água, são responsáveis pela retenção do calor no planeta Terra. Esse efeito isolante deve-se ao fato de esses gases absorverem a energia irradiada pela Terra; posteriormente, as moléculas desses gases “energizadas” reemitem essa energia em todas as direções, sendo que a maior parte retorna à Terra. Podemos considerar a parte retida pela atmosfera como sendo o efeito líquido desse “orçamento” Terra-espaço. Conforme já foi apontado, sem esse efeito isolante a Terra

seria coberta por gelo de pólo a pólo, pois teríamos -18°C de temperatura média; portanto, o Efeito Estufa garante uma temperatura aproximadamente 33°C mais alta.

O problema, conforme devidamente enfatizado, não consiste na existência do Efeito Estufa provocado pelos gases “estufa”, que são de origem natural e essencial na manutenção do equilíbrio térmico, ou seja, na proporção de energia recebida e devolvida para o espaço. Acredita-se que a manutenção desse equilíbrio depende da concentração desses gases na atmosfera; qualquer fator que altere esse processo, ou mesmo a redistribuição da energia dentro da atmosfera, pode afetar o clima; no entanto, ocorre que a concentração desses gases aumentou significativamente desde a Revolução Industrial, e simultaneamente observou-se um aumento nas médias de temperatura da Terra, a esse fato somam-se às propriedades dos gases “estufa”, portanto, essa conjunção leva o meio científico a acreditar que todos esses fatores estão inter-relacionados.

Apesar de estudos recentes revelarem que as temperaturas nos Estados Unidos não aumentaram durante os últimos 100 anos, devemos também considerar que este país não ocupa mais do que 2% da superfície da Terra, e que globalmente a temperatura do ar elevou, aproximadamente $0,5^{\circ}\text{C}$ (quase um grau Fahrenheit), durante o mesmo período.

Os registros históricos de temperatura não são muito elucidativos, pois em 1800 as medições eram feitas próximas às cidades e provavelmente afetadas pelo calor emitido por elas, portanto, inferem-se as temperaturas e a composição do ar em períodos remotos através da análise da composição do ar contido em geleiras. A análise das temperaturas medidas diretamente, só começou a ser realizada de uma maneira sistematizada a partir de 1860, data em que começaram a ser feitos registros dignos de confiança. Atualmente essas medições são mais confiáveis, pois as estações são distantes da cidade e também são captadas por satélites.

Apesar da preocupação com a composição da atmosfera ter começado relativamente cedo, os cientistas em 1896 já desconfiavam das alterações causadas pela queima de combustíveis fósseis, somente em 1957 a hipótese de que as ações antrópicas afetavam a química da atmosfera foi confirmada, quando pesquisadores num programa de pesquisa internacional chamado “Internacional Geophysical Year” recolheram uma amostra da atmosfera no topo do vulcão havaiano Mauna Loa. O que se observou foi um aumento na concentração de dióxido de carbono na atmosfera; desde então a composição da



atmosfera é cuidadosamente mensurada, mostrando o aumento gradativo dos gases “estufa”, que, acredita-se ser o responsável pelo aumento de aproximadamente $0,5^{\circ}\text{C}$ na média global.

Numa análise superficial e leviana, um aumento de $0,5^{\circ}\text{C}$ pode parecer irrisório, mas numa escala global essa elevação pode ser considerável. Outros dados relativos ao histórico de temperaturas do planeta também devem ser cuidadosamente analisados, haja vista o fato de que a Terra se aqueceu 5°C desde o fim da última era glacial, ocorrida por volta de 10000 anos atrás, um simples cálculo matemático nos mostra que isto representa $0,05^{\circ}\text{C}$ a cada 100 anos, mas no último século o aumento na média de temperaturas foi dez vezes maior saltando para $0,5^{\circ}\text{C}$, particularmente, podemos citar registros que mostram verdadeiros recordes no século XX, recordes atingidos após década de oitenta, com os três anos mais quentes após 1990, sendo 1998 o ano mais quente do século.

Para ilustrar a confusão relativa à previsibilidade de tendências no que tange a assuntos climáticos, sugerimos uma observação no gráfico de médias de temperaturas vs ano, percebe-se que entre 1910 e 1945, final da 2ª Grande Guerra Mundial, as médias globais aumentaram, e não obstante a vertiginosa expansão industrial e econômica do pós-guerra, portanto na contra mão das tendências, as médias caíram até meados da década de 1970, quando novamente as médias globais de temperatura ascendem.

O jornal “O Estado de S. Paulo”, em seu suplemento extra, veiculado em 1/12/1997; reuniu algumas possíveis respostas para perguntas sobre a aceleração do aquecimento global, baseadas em reportagens e infográficos do “Washington Post” e “Scientific American”, trouxe uma possível explicação para a queda nas médias globais de temperatura. Segundo o referido jornal no período imediatamente após a 2ª Guerra houve um aumento na queima de combustíveis fósseis, algo que provavelmente lançou uma quantidade grande de material particulado especialmente compostos de sulfato na atmosfera, aumentando, dessa forma, a reflexão da radiação solar incidente, resultando num equilíbrio temporário no processo de aquecimento do planeta Terra.

Um poderoso contribuinte para o aquecimento global é uma família de gases conhecidos como clorofluorcarbonos (CFC), por exemplo, o CFC_{13} e os CF_2C_{12} , esses compostos com base no cloro configuram um grupo de compostos sintetizados pela indústria química a partir da década de 1930 e desde então usados em larga escala como

gases refrigerantes, por serem muitos estáveis, também usados como solventes, isolantes, espumantes (usado na fabricação de espumas plásticas), propulsores aerossóis e outros usos industriais. Esses gases têm sua contribuição ao aumento na concentração de gases estufa estimada em 20%, mas sua contribuição para o aquecimento é menor do que sua quantidade na atmosfera sugere, pois os CFCs provocam a destruição da camada de ozônio na estratosfera, o ozônio também absorve a radiação infravermelha liberada pela Terra, portanto sua destruição torna a baixa estratosfera mais fria, refrigerando a troposfera.

O ozônio é considerado nocivo ao nível do solo, mas age como um filtro nas camadas mais altas da atmosfera, retendo a nociva radiação ultravioleta (UV), o ozônio se forma quando na camada superior da atmosfera as moléculas de oxigênio (O_2) são “quebradas” pela radiação ultravioleta (UV), formando dois átomos livres de oxigênio resultantes dessa reação, devido à sua instabilidade ligam-se rapidamente a outra molécula de oxigênio (O_2), formando o ozônio (O_3), esse processo é reversível; a radiação ultravioleta também é usada para romper o ozônio e formar novamente O_2 e O, criando dessa forma, um equilíbrio de O, O_2 e O_3 .

Como não existe um método natural de remoção dos CFCs na troposfera, apenas quando é transportado da baixa atmosfera para a estratosfera eles sofrem uma “quebra” provocada pela radiação ultravioleta, liberando átomos livres de cloro que perturbam o equilíbrio, acima citado, entre o oxigênio e o ozônio reduzindo a quantidade de ozônio na estratosfera, haja vista que um átomo de cloro pode destruir 100.000 moléculas de ozônio, e devido a sua estabilidade o CFC pode permanecer por mais de 100 anos, agindo na destruição da camada de ozônio mesmo que sua produção cessasse imediatamente.

A destruição de parte desse “filtro” de ozônio, e o conseqüente aumento da incidência ultravioleta na superfície terrestre causarão graves danos ecológicos, além de um aumento adicional de 800.000 mortes por câncer no século XXI, pois de acordo com o “Manual Global de Ecologia”, acredita-se que a radiação ultravioleta (UV-B) está relacionada ao caso mais mortal de câncer de pele, estima-se que a uma queda de 1% no nível de ozônio, que constitui a camada atmosférica, relaciona-se de 4% a 6% no aumento do índice de câncer de pele. Também, relacionado à maior incidência da radiação ultravioleta está o aumento dos casos de catarata.



Aliado a esses prejuízos, para a humanidade está uma lista extensa de danos à flora e a fauna, esses prejuízos estimularam um acordo internacional denominado “Protocolo de Montreal” em 1987, destinado a restringir a produção desses gases; desde então esforços foram direcionados para se sintetizar um substituto menos nocivo à camada de ozônio. Assim chegou-se a duas famílias de compostos, os hidroclorofluorcarbonos HCFCs e hidrofluorcarbonos HFCs, como substitutos potenciais para os CFCs.

Nas moléculas de HCFCs existe também átomo de cloro, mas como são menos estáveis do que os CFCs, a molécula de HCFC é destruída por reações químicas dirigidas pelo Sol na baixa atmosfera, ou seja, na troposfera, liberando esse cloro nessa região e não na estratosfera onde seriam mais prejudiciais à camada de ozônio estratosférico, no entanto os HCFCs ainda liberam cloro, o que não ocorre com os HFCs que reúnem apenas átomos de hidrogênio, carbono e flúor, porém esses compostos são considerados substitutos transitórios, pois foi constatado que em relação ao dióxido de carbono (CO_2), esses compostos são muito mais eficientes na retenção da radiação infravermelha, reemitindo-a novamente à Terra, aquecendo-a.

Como outro contribuinte para o aquecimento global, temos o metano (CH_4), esse gás origina-se naturalmente em locais onde ocorre a decomposição de matéria orgânica (a ação de bactérias do solo, em pântanos), acrescentando-se as ações antrópicas na forma de plantações de arroz, mineração de carvão, vazamento de gás natural, atividade pecuária, aterros sanitários e também a queima de combustíveis fósseis e a queima de biomassa; em nível molecular o metano chega a ser dezenas de vezes mais eficiente do que o dióxido de carbono na retenção de raios infravermelhos, mas devido a sua quantidade na atmosfera esse gás contribui com 15% do aquecimento global, com um tempo de vida de aproximadamente dez a onze anos. O metano é decomposto graças a uma reação química feita com o radical hidroxila (OH), que - na troposfera (baixa atmosfera) - é conhecida como o principal detergente natural do planeta.

A capacidade “autolimpante” da atmosfera, no entanto, está diminuindo, conforme a reportagem “Atmosfera perde capacidade autolimpante”, de 03/05/2001, veiculada no Folha Ciência on line. Segundo esta reportagem, um grupo de pesquisadores dos Estados Unidos, Austrália e do Reino Unido alerta que além de poluir, o homem também está dificultando os processos naturais de limpeza química da atmosfera, esse

estudo também foi publicado na edição de 04/05/2001 da revista "Science". O estudo aponta um decréscimo nos níveis do gás hidroxila na atmosfera nos últimos dez anos, em valores aproximados a concentração média de OH despencou de 150 ppt (partes por trilhão) em 1992, para pouco mais de 40 ppt em 2000. De acordo com o climatologista Ronald Prinn, do Instituto de Tecnologia de Massachusetts, e coordenador do estudo, não há como apontar as causas dessas reduções, apenas constatá-las, mas Prinn e sua equipe não duvidam da interferência do homem na capacidade autolimpante da atmosfera.

O físico Paulo Artaxo, vice-presidente do IGAC⁴⁷ (Internacional Global Atmospheric Chemistry), ressalta a importância do estudo que, pela primeira vez, analisa o efeito das alterações climáticas e atmosféricas nos gases de "meia-vida curta", que não obstante a sua curta permanência no ar, o OH dura apenas 1 segundo, é fundamental para a dinâmica química da atmosfera, pois são responsáveis pela quebra de gases como, por exemplo, o metano que tem meia vida de até 11 anos. Em declaração ao jornal Folha de S. Paulo, publicada na reportagem acima citada, Artaxo foi taxativo: "O recado é basicamente o seguinte: a humanidade alterou o equilíbrio sem entender como funcionava a máquina original". Embora não exista nada de conclusivo sobre a continuidade da queda do OH – ou se seus níveis irão se estacionar ou vão tornar a aumentar – os resultados não são animadores e se tornam, sem dúvida nenhuma, um argumento a mais para se considerar num momento crítico em que atitudes protecionistas são adotadas por países desenvolvidos, no intuito de progredirem economicamente e industrialmente.

O dióxido de nitrogênio (NO_2), também chamado de óxido nitroso, tem como principal fonte a queima de combustíveis fósseis, resíduos de plantação devido à aplicação de fertilizantes e queima de biomassa, apesar de a nível molecular o NO_2 ser aproximadamente 270 vezes mais eficiente na retenção de radiação infravermelha, sua contribuição ao aquecimento global é estimada em 5%.

Dos gases "estufa", o mais importante é o dióxido de carbono CO_2 , contribuindo atualmente com cerca de 60% do aquecimento global. Este gás existe naturalmente na atmosfera, antes da Revolução Industrial. Estima-se que a concentração de CO_2 na atmosfera era de 275 a 285 partes por milhão (ppm), após esse momento histórico, a poluição sistemática da atmosfera pela ação humana, também denominada ações

⁴⁷ Programa Internacional de Química Atmosférica Global.



antrópicas, aumentou a concentração de CO_2 . Dentre essas ações podemos citar principalmente a queima de combustíveis fósseis (carvão, petróleo, e gás natural), em usinas termelétricas, indústrias, veículos em circulação sistemas domésticos de aquecimento, desmatamentos e queimadas intencionais.

As ações antrópicas são responsáveis – da Revolução Industrial até os dias de hoje – por um aumento de cerca de 31,4% na concentração de CO_2 , chegando a 368 ppm em 2000, vale ressaltar que esta marca é a maior concentração dos últimos 160.000 anos. Informações obtidas em geleiras e sedimentos oceânicos revelam a relação existente entre altas concentrações de CO_2 e temperaturas também altas, ou seja, no momento geológico em que amostras de ar aprisionados em geleiras mostram que altas concentrações de dióxido de carbono coincidiram com altas temperaturas.

No início de uma pesquisa sobre a quantidade de carbono lançada na atmosfera devido às ações antrópicas, provavelmente o pesquisador custe a acreditar e talvez até questione a validade dos dados, haja vista os valores astronômicos envolvidos, mas a recorrência dos dados em outros veículos de divulgação e uma reflexão sobre o número de indústrias do planeta, a importância do petróleo, a quantidade de veículos e os incêndios de proporções épicas, torna os valores mais realistas:

Se hoje for um dia comum no planeta Terra, os seres humanos irão adicionar quinze milhões de toneladas de carbono na atmosfera, destruirão cento e quinze mil metros quadrados de floresta tropical, criarão setenta e dois mil metros quadrados de deserto, eliminarão entre quarenta e cinquenta espécies, causarão a erosão de setenta e um milhões de toneladas de solo, adicionarão duzentos e setenta toneladas de CFCs à estratosfera, e aumentarão sua população em duzentas e sessenta e três mil pessoas. Ontem, hoje e amanhã. Ao final de cada ano o número total será simplesmente estonteante; uma área de floresta tropical do tamanho do estado do Kansas perdida; de sete a dez bilhões de toneladas de carbono adicionadas à atmosfera; a população total terá aumentado em noventa milhões de pessoas. (ORR, D. 1992, p.3 apud GRÜN, M. 1996, p.85)

De acordo com Corson, “Em 1988, no mínimo 6 bilhões de toneladas de carbono – a unidade de fluxos de carbono é GtC/ano (gigatonelada de carbono por ano, 1 gigatonelada corresponde a 109 toneladas) – foram adicionados à atmosfera – cerca de 5,5 bilhões de t ou 5,5 GtC através da queima dos combustíveis fósseis; e entre 0,4 e 2,5 bilhões de t ou GtC através das queimadas ou desmatamentos de florestas” (CORSON,

1993, p.231). Ainda de acordo com a mesma fonte, se nenhum acordo internacional for feito (o Protocolo de Kyoto foi realizado entre 1 e 11 de dezembro de 1997, e até o presente ano de 2003 ainda não se tornou efetivo), se as emissões não se reduzirem, o crescimento demográfico, econômico e a demanda por energia também não forem repensados, provavelmente a temperatura será acrescida em 1,6°C e 4,7°C, considerando as temperaturas da época pré-industrial e o ano de 2030. Mas, se programas contundentes fossem implementados, criando combustíveis alternativos, melhorando a eficiência energética, utilizando energia solar, freando o desmatamento, as temperaturas globais, em relação ao mesmo período acima mencionado, aumentaria “apenas” 1,1°C a 3,2°C; pois, mesmo minimizando as fontes poluidoras, ainda conviveremos com o produto de emissões passadas, haja vista a durabilidade dos gases “estufa” na atmosfera.

Esses valores, no entanto, são hipotéticos, e com grande margem de erro devido à quantidade de variáveis, ou seja, a complexidade dos fenômenos climáticos, um fato que não permite certezas. Outra justificativa, para renovar os cálculos e análises, sustenta-se quando observamos o ano da publicação do Manual, 1993, portanto os programas decisivos a que nos referimos deveriam ser implementados naquele momento.

As determinações de emissões futuras são dependentes das decisões políticas que estão sendo tomadas, devido a essa incerteza as estimativas têm um intervalo demasiadamente grande, por exemplo, no ano 2050 as projeções situam-se em 2-20 GtC/ano (na década passada tivemos cerca 5 GtC/ano), com relação à projeção para 2050 é pouco provável que se atinja 20 GtC/ano devido às pressões ambientalistas e à restrição ao desmatamento, por sua vez o limite mínimo só será atingido por meio da união de esforços de todas as nações no que tange a diminuição do uso de combustíveis fósseis, desenvolvendo fonte de energias alternativas (fontes energéticas não fósseis) e contendo incêndios intencionais.

As concentrações atmosféricas de CO₂, projetadas na situação acima descrita (para o ano de 2050), ficariam em 390 e 580 ppm (limite mínimo e máximo), em que o limite mínimo já corresponde a 60% acima da concentração que foi estimada para a época pré-industrial, se o limite máximo se confirmar, então haverá uma duplicação na concentração atmosférica de CO₂ em 2050, se as emissões continuarem no ritmo em que está, teremos a duplicação de CO₂ para o final do século XXI. (RABELLO, 1987, p.51-6).



A esta altura um breve, mas significativo parêntese se faz necessário: a taxa percentual da concentração de alguns dos outros gases “estufa” (metano, óxido nitroso e ozônio) tem aumentado mais rapidamente do que a concentração de CO_2 , embora o CO_2 ainda tenha o maior impacto, os outros gases têm como agravante o desconhecimento de seu ciclo biogeoquímico completo, o que inviabiliza acordos políticos que orientariam as nações a reduzir ou evitar a expansão desses gases.

Em 1988 a United Nations Environment Program⁴⁸ e a World Meteorological Organization⁴⁹ determinam a criação do IPCC⁵⁰ (Intergovernmental Panel on Climate Change), um painel com 2000 cientistas com o objetivo de estudar minuciosamente o clima e investigar a hipótese de estar ocorrendo um aquecimento global (traremos mais informações sobre o IPCC neste capítulo). Segundo este painel, a temperatura global realmente aumentou $0,6^\circ\text{C}$ desde 1861, e concluiu que as causas principais são as ações antrópicas que liberam os gases “estufa”. No entanto, o IPCC previu, em 1995, a duplicação para aproximadamente 2075, essa duplicação supostamente elevaria a temperatura média global de 2°C a 5°C .

Essas estimativas se baseiam em simulações de duplicação que seguem a seguinte metodologia, num modelo climático com as atuais concentrações de CO_2 , simula-se o clima, que é chamada de simulação de controle, posteriormente o mesmo modelo é utilizado para simular o clima numa situação de duplicação de CO_2 , denominando-se agora simulação da anomalia, em que a duplicação do nível de CO_2 constitui-se no desvio do presente, a diferença da temperatura do ar na superfície entre as simulações representa para o período considerado a resposta do planeta e da atmosfera a essa duplicação na concentração de CO_2 .

A análise dos resultados embasaria respostas a questões comuns do tipo: O aquecimento será desigual ou uniforme? O regime de chuvas será afetado em que regiões? No entanto, ressaltaremos novamente que as respostas são possíveis, mas não se pode afirmar que estejam corretas, pois os modelos não simulam de forma precisa o acúmulo e a interferência das nuvens e outros processos naturais.

⁴⁸ Programa Ambiental das Nações Unidas.

⁴⁹ Organização Meteorológica Mundial.

⁵⁰ Painel Internacional sobre Mudanças Climáticas.



Em nossos referenciais, encontramos a mesma dúvida relacionada ao papel das nuvens. Sabe-se que o aumento de temperaturas evapora quantidades maiores de água, aumentando o acúmulo de nuvens; nas nuvens podem-se encontrar aerossóis emitidos pelas indústrias, por exemplo, os compostos de enxofre (responsáveis pela chuva ácida), os aerossóis (que também são emitidos naturalmente pelos vulcões). Essa combinação torna as nuvens mais reflexivas não apenas para a radiação proveniente do solo, mas principalmente para a radiação solar, permitindo dessa forma, que menos radiação solar atinja a superfície terrestre.

Além da incerteza da interferência da nebulosidade, outros fatores são apontados como deficiências do modelo: a quantidade de calor absorvida pelas camadas profundas do oceano, ou seja, apenas os primeiros 100 metros considerados a partir da superfície, chamados de camada de mistura, são considerados; o modelo dobra a quantidade de CO_2 instantaneamente, e não gradualmente conforme ocorreria na realidade.

Para ilustrar o que foi dito, consideraremos simulações de computadores em 14 modelos diferentes de clima, sem que os efeitos das nuvens fossem levados em consideração. Os modelos apresentaram previsões semelhantes de aquecimento, mas quando foram incluídas as nuvens, as previsões não convergiram para valores aproximados, feitos diversos ajustes, aperfeiçoando o método chegou-se a uma possível previsão pretensamente mais “realista”, em que o aquecimento resultaria em médias globais de temperatura $2,5^\circ\text{C}$ maior (RABELLO, 1987, p.51-6). Outros estudos considerando o aumento gradual da concentração de CO_2 (1% ao ano), e acoplando as camadas profundas do oceano à atmosfera, sugerem que as camadas profundas podem influir significativamente no clima, resultando num aquecimento global médio de $2,3^\circ\text{C}$. Apesar da média ter baixado sensivelmente, o estudo mostra várias regiões, como por exemplo, o pólo norte, com aumento pontual de mais de 4°C .

Do que foi exposto, fica evidente que não é tarefa das mais fáceis detectar os efeitos do aquecimento causado pelo CO_2 e outros gases, sendo necessário a inclusão, além da atmosfera, dos oceanos, das características geomorfológicas da superfície terrestre, do efeito da nebulosidade, sendo múltiplas e complexas as interações responsáveis pelo clima, e essa complexidade ainda não permitiu a construção de modelos que levem em conta todas as diversas variáveis. Vale ressaltar que a Ciência do clima sempre está atenta também aos



registros históricos, as médias e variações estatísticas significantes das condições climáticas passadas, procurando nos fatos algum esclarecimento.

Em meio a dados imprecisos, entre os cientistas há um consenso: a Terra esquentará conforme for adicionado CO_2 e outros gases estufa, ficando a confusão, conforme já mencionamos, por conta da precisão dos valores. Não obstante o aumento de $2,5^\circ\text{C}$ ou $2,3^\circ\text{C}$, previstos pelos modelos mais abrangentes, ser menor do que as previsões anteriores, esses aumentos mais “realistas”, na atual média global de $15,5^\circ\text{C}$, não é algo para arrefecer os ânimos dos que lutam pela redução da poluição.

4. As pressões da Comunidade Científica para acordos internacionais

As revelações que denunciaram o aumento na concentração de CO_2 na atmosfera começaram a movimentar os cientistas e ambientalistas na década de 1970, mas apenas em 1987 a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento requisitou um acordo internacional, para implantar um programa a fim de reduzir as emissões de gases “estufa”, e por determinação das Nações Unidas, mais especificamente pelo Programa de Meio Ambiente das Nações Unidas, e da Organização Meteorológica Mundial foi criado o Painel Internacional sobre Mudanças Climáticas (IPCC), reunindo 2000 cientistas de todo o mundo, com o objetivo de investigar o aumento na média de temperaturas, a possibilidade hipotética de um aquecimento global crescente, bem como dimensionar as consequências desse aquecimento. Em pouco tempo o IPCC concluiu que se as nações continuassem a manter o nível de emissões de CO_2 , em cem anos a concentração atmosférica desse gás duplicaria, aumentando a média global de $1,5^\circ\text{C}$ a $4,5^\circ\text{C}$, o mesmo relatório, elaborado em 1990, também previu a possibilidade de aumento no nível do mar, a ocorrência de enchentes e secas e locais diferenciados ameaçando, dessa forma, o suprimento de alimento e de água.

Em 1992 tivemos no Rio de Janeiro a Eco-92, onde chefes de Estado se reuniram para a primeira conferência de cúpula sobre nosso planeta. Foi realizada, nessa ocasião uma Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento,



que ficou conhecida como “Cúpula da Terra”. Nessa conferência foi assinada por 175 países mais a União Européia a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima, que passou a ser conhecida apenas por Convenção. Os países assinaram-na por reconhecerem que as mudanças climáticas são uma preocupação de toda a humanidade, e, dessa forma, tornaram-se partes da Convenção, que tem como órgão supremo a Conferência das Partes (COP-Conference of Parts), com a responsabilidade de examinar freqüentemente a implementação da Convenção, cuja atribuição é criar mecanismos e instrumentos para promover condições de efetivamente estabilizar as concentrações de gases “estufa”, sem que esse nível interfira perigosamente em nosso sistema climático. A Conferência das Partes (COP) também tem sob sua responsabilidade a implementação de instrumentos jurídicos que essa Conferência vier a adotar para tornar efetivas as decisões da Convenção. Os eventos promovidos pela COP iniciaram-se em 1995, com a COP-1, realizada em Berlim – Alemanha.

Retornando a 1992 nada de conclusivo foi determinado na questão do clima, nenhuma obrigatoriedade foi imposta, apenas uma débil sugestão de redução voluntária nas emissões dos poluentes, ou seja, a “Convenção do Clima”, sugeriu que se retornasse aos níveis de poluição emitidos em 1990, com a promessa de se iniciar um controle apenas para ano 2000. Conforme as expectativas de qualquer cientista, político ou ambientalista sério e comprometido com o bem-estar do planeta, as “sugestões” se revelaram inócuas, apesar do então presidente norte-americano Bill Clinton se mostrar favorável as essas sugestões, simpatia por uma causa não significa empenho por ela, sobretudo quando “forças maiores” entram em cena. A selvageria do capitalismo e a desabalada carreira em direção ao crescimento econômico resultaram no óbvio: em 1993, nem Estados Unidos nem a maioria dos países desenvolvidos conseguiram reduzir seus níveis de poluição aos níveis de 1990.

Nesse contexto, um segundo relatório do IPCC entra em cena, estávamos em 1995, de acordo com esse relatório o aquecimento global já teria começado, ao menos oficialmente, pois, como já mencionamos desde 1970, naturalmente o clima mundial já demonstrava essa ascensão. O órgão, então, exorta os países a tomarem medidas contundentes para diminuir emissões de CO₂. Como resposta, em 1996, governantes de mais de 120 países reunidos em Genebra, Suíça, reunião conhecida como COP-2, endossam o relatório do IPCC e marcam reuniões para a assinatura de um tratado com o poder de

impor cortes obrigatórios nas emissões de CO₂, inclusive ameaçando de sanções países negligentes.

Em 1997, acontece uma segunda cúpula da Terra, em Nova York no mês de junho, mas não há acordo entre os países, o presidente Bill Clinton não aceita os termos de redução propondo para 2010, a redução de 15% nas emissões, baseados nos valores de 1990, ou seja, em 2010 dever-se-ia emitir 15% menos do que se emitia em 1990. Em outubro do mesmo ano uma proposta japonesa menos radical entra em cena: no ano de 2010, as emissões deveriam ser reduzidas em apenas 5%, tomando como referência os níveis de 1990.

Ainda em Outubro de 1997, um grupo de 77 países em desenvolvimento, incluindo China e Índia, propõe para o ano de 2020, uma redução, por parte dos países industrializados, de 35% tendo ainda como referência os níveis de 1990, mas rejeitam qualquer limite às suas próprias emissões, argumentando que os países já desenvolvidos deveriam tomar a iniciativa justamente por serem os principais emissores de CO₂, e ainda acrescentam nesse argumento que qualquer limitação em suas próprias emissões os tornaria ainda mais pobres e dificultaria seu crescimento econômico, como se a pobreza nos países do 3º Mundo estivesse ligada apenas à sua industrialização e não na corrupção de seus governos e na centralização de renda e extrema desigualdade social.

Como já era esperado, e com rapidez – haja vista que a proposta dos 77 países em desenvolvimento foi lançada em 21 de Outubro de 1997 – a proposta americana é apresentada em 22 de Outubro, pauta-se em um nivelamento das emissões de 2012 com as emissões 1990. Rapidez nas proposições, lentidão nas deliberações e ações de fato.

Em 1º de dezembro de 1997, configura-se a mais importante reunião sobre o clima jamais realizada: O Protocolo de Kyoto. Também conhecida como COP-3, Por volta de 169 países se reuniram e iniciaram negociações árduas, haja vista que os países tinham posições muito diferentes, por exemplo, os países produtores de petróleo e os pequenos Estados Insulares do Pacífico (formados por ilhas que correm o risco de desaparecerem com o aumento do nível do mar), ambos lutando por suas sobrevivências, mas com o objetivo, pretensamente, comum de adotarem um protocolo que estabelecesse metas para a redução nas emissões de CO₂, e que fosse respeitado por todos os seus signatários. Como o protocolo deveria desacelerar as emissões dos países desenvolvidos, cujo processo de



industrialização depende dos combustíveis fósseis, ao mesmo tempo se constituiria num obstáculo ao desenvolvimento dos países pobres, como último ingrediente dessa insólita reunião temos os países membros da OPEP (Organização dos Países Exportadores de Petróleo), que são responsáveis por aproximadamente 40% da produção de petróleo do planeta. Os países da OPEP deixaram claro que lutariam por compensações financeiras para atenuar suas perdas.

Nesse contexto não é possível ter boas expectativas, uma das mais evidentes era de que se trataria de uma reunião árida em que ficaria mais evidente a diferença entre países pobres e ricos. Para ilustrar, considerem o fato de que apenas 20% da população moram em países industrializados, mas são responsáveis por 60% das emissões de gases “estufa”. O presidente norte-americano Bill Clinton expressou bem, a dificuldade de se interessar por algo que só seria confirmado muito depois do ano 2000, “Sabemos que o trem está chegando, mas a maioria dos americanos não ouve o apito tocar” (O Estado de S. Paulo, 1/12/1997).

Não se pode negar, no entanto, que o cenário havia mudado desde 1992 (1ª cúpula da Terra na ECO – 92), e os cientistas estavam mais alarmistas, arrancando créditos até da 3ª maior companhia distribuidora de petróleo do mundo, a British Petroleum que anunciou sua crença na existência de evidências conclusivas de que as ações antrópicas, sobretudo, a queima de combustíveis fósseis, estava influenciando o clima. Inusitadamente seu presidente, à época do acordo, John Browne, declarou que a hora de agir era agora (dezembro de 1997), e não deveríamos esperar uma comprovação irrefutável da ligação entre a poluição e o aquecimento global.

Provavelmente quando os modelos atingirem a pretendida precisão talvez seja tarde, ou ao menos muito mais difícil de desacelerar o “efeito estufa”. As propostas que estavam sendo analisadas na reunião eram as seguintes: a União Européia convocava os países industrializados a assumirem o compromisso de reduzir, em 2010, 15% dos níveis de emissão sobre os valores de 1990, essa era a proposta mais radical, com o mesmo referencial o Japão propôs uma redução de 5% entre 2008 e 2010, essa proposta foi compartilhada com os Estados Unidos e o Canadá, que acrescentaram a possibilidade de se livrarem dessas obrigações no caso de investirem em projetos ambientais dos países em desenvolvimento. Os países em desenvolvimento, entre os quais o Brasil, concordaram com

a proposta européia, desde que essas metas não os atingissem, pois não eram os principais poluidores. A tese apresentada pelo Brasil instituía multas aplicadas aos países que não conseguissem atingir as metas. Essas multas possibilitariam a criação de um fundo para financiar o desenvolvimento dos países do 3º Mundo, para que esses não trilhem os caminhos das nações, hoje, industrializadas e que os países em desenvolvimento não se tornem num futuro potenciais poluidores. O Brasil, também propôs uma discussão sobre a responsabilidade histórica, ou seja, os países também deveriam se responsabilizar por emissões passadas, pois passaram primeiro pelo processo de industrialização.

O coordenador de Pesquisa de Mudanças Globais do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), José Domingos Gonzalez Miguez, comentou que todas as nações deveriam ter responsabilidade comum, mas diferenciada, conforme ele mesmo já tinha advertido. A posição brasileira não foi bem aceita, de início na conferência, mas conquistou adeptos, e o documento foi mantido na mesa de negociações ganhando espaço nas discussões do IPCC.

Os resultados do Protocolo de Kyoto foram os seguintes:

1. Para um horizonte compreendido entre os anos de 2008 e 2012, as emissões deverão ser reduzidas em 5,2%, na média, sobre os níveis de 1990, para o dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso, redução das emissões de hexafluoreto de enxofre (SF_6), e de gases da família dos halocarbonos (HFCs, HCFCs, e PFCs).
2. Os países da União Européia em conjunto deveriam reduzir as emissões em 8% sobre os níveis de 1990, para os Estados Unidos a redução ficaria em 7%, e o Japão deveria reduzir 6%.
3. Para os países em desenvolvimento, como o Brasil, México, Índia e China, não foi determinada nenhuma redução.
4. O protocolo inclui três mecanismos de flexibilização para auxiliarem no cumprimento dos compromissos da Convenção. São eles: a



implementação conjunta (JI – Joint Implementation), comércio de emissões (Emissions Trade) e o Mecanismo de Desenvolvimento limpo – MDL (CDM – Clean Development Mechanism).

Os dois primeiros mecanismos de flexibilização, a implementação conjunta e o comércio de emissões foram estabelecidos para serem utilizados por países industrializados, ou seja, uma modalidade de execução conjunta implementada segundo o conceito de cooperação internacional, visando a estabilização das concentrações dos gases na atmosfera. Esses mecanismos têm como objetivo a contabilização de reduções líquidas na emissão de gases num contexto global, através de investimentos em projetos ambientais em outros países.

O terceiro mecanismo, o de desenvolvimento limpo, foi elaborado a partir da proposta do Brasil, cuja delegação desejava criar um Fundo de Desenvolvimento Limpo, em princípio abastecido com as multas dos países que não atingirem as suas metas de redução, o poluidor deverá pagar. No entanto, essa idéia foi reformulada constituindo-se no MDL, ou mais conhecido em sua sigla em inglês CDM, que se baseia na eventualidade de um país desenvolvido financiar projetos com o objetivo de mitigar a emissão de gases de efeito estufa em países em processo de industrialização, portanto, esses projetos beneficiam o desenvolvimento de tecnologias mais limpas, melhoria de eficiência energética, fontes alternativas de energia e a preservação de sumidouros de carbono.

No ano seguinte foi realizada uma conferência em Buenos Aires (COP-4), de 2 a 13 de novembro de 1998, com o objetivo de estabelecer prazos finais para a programação dos trabalhos, mas o objetivo primordial era a regulamentação e posteriormente a implantação do Mecanismo de Desenvolvimento limpo (MDL ou CDM), algo que favoreceria o Brasil possibilitando o recebimento de financiamento externo para o desenvolvimento de projetos que estivessem em conformidade com o MDL.

Houve renovação dos compromissos internacionais assumidos em Kyoto, cujo protocolo deveria entrar em vigor em 2002 e teria que ser assinado, para se tornar efetivo, por pelo menos 55 países que respondam por 55% das emissões de gases poluentes do mundo. Em Buenos Aires foi confirmada a necessidade de se mapear as emissões de poluentes e também considerar o conceito de responsabilidade histórica, distinguindo os

países que mais contribuíram para o aumento das concentrações atmosféricas de CO₂ desde a Revolução Industrial, dos países que começaram recentemente a se desenvolver industrialmente. A questão central foi avaliar a contribuição de cada país para o aumento do aquecimento global. Um importante consenso da União Européia pautou-se na necessidade da transferência de tecnologia dos países industrializados aos países em desenvolvimento, propiciando, dessa forma, um desenvolvimento tecnologicamente balizado pela responsabilidade sócio-ambiente para os padrões atuais, ou seja, os países pobres poderiam utilizar modernas técnicas e máquinas menos dispendiosas e mais eficientes, beneficiando-se das conquistas feitas pelos países já avançados industrialmente e com isso emitiriam menos gases poluentes em seu processo de desenvolvimento industrial.

A iniciativa da Argentina, de estabelecer um programa de compromissos voluntários de redução imediata de poluentes entre os países em desenvolvimento, foi bem recebida pelos Estados Unidos. Por um lado, pode parecer lógico esse comprometimento dos países em desenvolvimento, mas por outro lado não considera a desigualdade existente entre países desenvolvidos e aqueles que se empenham para superar as dificuldades de um atraso econômico.

Não obstante à importância atribuída à Rússia e aos Estados Unidos, estes ainda não haviam assinado o documento, o que inviabilizava o protocolo, pois em 1990, segundo os referenciais do protocolo, esses países respondiam por 53,6% das emissões. No caso da Rússia, com o colapso das indústrias devido ao fim da União Soviética em 1991, as fábricas, que anteriormente a esse fato sempre tiveram níveis elevados de emissão, após o fim da URSS, diminuíram suas emissões em 30% sobre os níveis de 1990.

A favor da União Européia temos o fato de que os ingleses se beneficiaram com o declínio dos sindicatos mineiros. Indiretamente esse declínio permitiu a substituição do carvão por combustíveis menos poluentes. A Alemanha Ocidental, por sua vez, com o colapso econômico do antigo bloco soviético, teve acesso às fábricas da Alemanha Oriental o que permitiu modernizá-las ou fechar as mais antiquadas e poluentes.

O alvo preferencial passou a ser os Estados Unidos. Com efeito, já que com apenas 4% da população mundial esse país é responsável por 22% das emissões de CO₂ do planeta; e como se apenas esses dados não bastassem, os norte-americanos também estavam, em 1998, jogando gases poluentes na atmosfera com uma velocidade 8% maior do



que jogavam em 1990. Um relatório liberado em outubro de 1997, revelou que somente em 1996 as emissões aumentaram 3,4%. Segundo reportagem veiculada no jornal "O Estado de S. Paulo", em 18/07/2001, os Estados Unidos respondiam por 35% das emissões de poluentes (a reportagem não especifica quais poluentes, mas o jornal "Folha de S. Paulo" informa, em sua edição de 30/10/2001, que esse país lançava quase 25% das descargas globais de dióxido de carbono na atmosfera). As pressões sofridas pelos Estados Unidos levam-no ao desafio de restringir as emissões de poluentes sem que isso afete a economia e seu crescimento, e, qualquer medida contundente tem poucas chances de passar pelo Congresso americano, extremamente sensível às pressões de empresas como a Ford, General Motors, e Chrysler.

O ambiente planetário de um lado e as indústrias do outro, pior para o planeta. O Senado americano exortou o governo norte-americano a não se comprometer com o protocolo, pois as nações em desenvolvimento não seriam obrigadas a fazer o mesmo. O temor americano é que esses países pobres, não sofram restrições, Clinton e seu delegado em Kyoto, o sub-secretário de Estado Stuart Eizenstat, tentaram arrancar compromissos de países como a Tailândia, China e Indonésia, no intuito destes evitarem os mesmos erros cometidos por países como os Estados Unidos que adotaram um modelo de desenvolvimento aliado à poluição. Justificando apenas que "agiriam antes", para que as outras nações menos desenvolvidas possam ter mais tempo e se beneficiarem com as mudanças. Para fechar esse quadro os americanos argumentaram que em 2008 o mundo estaria mais preparado (talvez tecnologicamente, talvez espiritualmente) para reduzir as emissões de poluentes.

O resultado de Kyoto já foi apresentado acima e os Estados Unidos assinaram o protocolo, o que representou apenas num passo simbólico, importante, diga-se de passagem, mas a adesão norte-americana ainda dependeria da ratificação do protocolo pelo Senado dos Estados Unidos. Se não ocorrer essa ratificação, os esforços para enfrentar o aquecimento global não surtirão o efeito desejado.

De fato, muitos esforços foram dispensados para se tentar um acordo: (a) aumentar a adesão ao protocolo de Kyoto, (b) em 13 de novembro de 2000, começa uma reunião em Haia na Holanda (COP-5), que segundo o presidente da conferência e ministro

holandês do Ambiente, Jan Pronk, teve como objetivo pôr em prática aquilo que havia sido discutido nos três anos subsequente à reunião em Kyoto.

Para Jennifer Morgan do Fundo Mundial para a Vida Selvagem, o encontro em Haia seria crucial, mas o temor de que os países reabrissem a discussão e não aderissem aos acordos, rondou a reunião. Na opinião do presidente da conferência, os países que tivessem problemas para cumprir as metas de redução de emissão de gases poluentes, poderiam fazer um pacto com aqueles que conseguissem reduzir além do estabelecido, dessa forma, os países poluentes poderiam comprar “créditos” de emissão daqueles que reduziram mais. Por exemplo, os Estados Unidos com dificuldades de atingir as metas, pagaria para obter o crédito do Brasil que talvez, com esse comércio, se visse estimulado a preservar suas reservas florestais. Ainda nessa linha de raciocínio os países pobres, para não perderem esse rendimento, não permitiriam a entrada de indústrias poluentes que porventura venham a ser banidas dos países desenvolvidos, estes por sua vez com essa medida teriam mais tempo para se adaptar.

Na opinião de Phil Kosnett, da Embaixada dos Estados Unidos em Haia, compensaria mais plantar uma floresta que absorvesse uma tonelada de dióxido de carbono, do que impedir uma geradora americana de eletricidade, que consumisse combustível fóssil, que jogasse uma tonelada de dióxido de carbono na atmosfera. Mesmo essa medida que seria paliativa, gerou polêmica, pois, os membros da União Européia defendiam o estabelecimento de cotas fixas de emissão de poluentes e também defendiam a criação de uma organização independente que controlaria a o comprimento do acordo, com poder inclusive de impor sanções e aplicar multas aos que não respeitassem o acordo.

Estados Unidos, Canadá, Austrália, Japão, entre outros, defendiam um “mercado livre” de cotas de emissão. No entanto, qualquer acordo estaria sujeito a mudanças; pois, a indefinição política dos Estados Unidos, que passava por um período eleitoral, em que não se podia prever se Al Gore ou George W. Bush ganharia a eleição deixava tudo muito obscuro. George W. Bush era governante do Texas, um Estado importante na produção petrolífera. Já o democrata Al Gore seria mais partidário da causa ecológica e justamente essa indefinição causou um adiamento na assinatura de um acordo.

A não assinatura de um acordo principalmente pelos Estados Unidos em Haia, levou 178 países a se reunirem em Bonn, Alemanha em julho de 2001 (COP-6), onde a

delegação brasileira trabalhou para acelerar o processo de ratificação do protocolo de Kyoto. Para este fim, pretendia propor a regulamentação de pontos ainda em aberto do protocolo; conforme Gilvan Meira, o acordo deveria definir exatamente as regras, o que deveria ser feito, para que os países pudessem submeter o documento à ratificação de seus respectivos parlamentos. Meira em julho de 2001 presidia a Agência Espacial Brasileira (AEB) e integrava o grupo de negociadores do então ministro da Ciência e Tecnologia Ronaldo Sardenberg.

Os temas discutidos foram a regulamentação do Mecanismo de Desenvolvimento limpo, os créditos para absorção de gás carbônico por florestas e as formas de sanção aos países que desrespeitassem as metas. Estas formas de sanção foram propostas brasileiras, apresentadas em 1997. No entanto, os Estados Unidos, com seu presidente já definido, George W. Bush, contra a não-obrigatoriedade de redução de emissões por parte das nações menos industrializadas, pois estas nações certamente ganhariam competitividade, sendo-lhes também vantajosa a transferência de tecnologia, na forma de equipamentos modernos que poluiriam menos e produziriam satisfatoriamente. Os Estados Unidos declararam que não assinariam os documentos, e o desânimo tomou conta dos delegados. O representante alemão, Juergen Tritin, declarou que essa reunião de Bonn seria a última chance de se obter uma vitória sobre o aquecimento global; se fosse desperdiçada, estariam perdidos dez anos.

A declaração do representante alemão e o fato do primeiro-ministro japonês, Junichiro Koizume anunciar que o Japão não ratificaria o acordo até outubro (a reunião em Bonn foi realizada em julho de 2001), demonstra o clima de pessimismo diante do fracasso iminente do protocolo de Kyoto, no entanto, as conversações prosseguiram com os europeus reforçando suas posições a favor de Kyoto, e com o que chamavam de Plano A, que pautava na tentativa de persuadirem os Estados Unidos a apoiarem o protocolo mesmo com a rejeição já anunciada pela administração Bush, e mesmo com a consciência de que seria difícil convencer os americanos. Por fim, também havia uma deficiência estratégica, uma vez que não havia um plano B. Ou seja, os grandes esforços se justificavam pela sensação de que a outra alternativa ao acordo de Kyoto era simplesmente “nenhum acordo”.

Um plano criado por ativistas verdes chamado “Contração e Conveniência” (C&C), ironicamente favorecia as empresas. Com três fases distintas o plano previa



primeiro a determinação dos limites da concentração de dióxido de carbono e quanto tempo seria necessário para reduzi-la a fim de se atingir a meta; posteriormente, um acordo seria feito para distribuir o consumo de combustível fóssil.

O plano partia do princípio de que a emissão de combustível fóssil é um direito sagrado da humanidade, devendo ser distribuído igualmente entre todos. Esse pressuposto favorecia os países pobres, pois o plano permitia um período de ajuste, em que os países - que não se enquadrassem nos limites permitidos - poderiam comprar permissões de países menos poluentes. Nesse aspecto, o plano se assemelhava com as flexibilizações propostas em 1997. Esse comércio criaria um fluxo de fundos que estimularia o desenvolvimento de projetos ambientais e a administração de energia por partes dos países pobres que pretendessem continuar a ter permissões para vender.

A posição brasileira nas negociações coincidia com a posição das ONGs, que lidavam com este tema. O Brasil criou uma comissão interministerial para estudar formas de energia consideradas sustentáveis, tínhamos como precedente histórico o programa Pró-Álcool, e um Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas que atuaria na conscientização da população e das empresas acerca dos efeitos do aquecimento global, iniciativas que levaram Rubens Harry Born representante latino-americano da Climate Action Network⁵¹, uma rede de ONGs sobre mudanças de clima, a declarar em 2001, que a postura brasileira estava sendo muito consistente.

Não obstante a situação tranqüila do Brasil, uma vez que as nações menos industrializadas não eram obrigadas a reduzir imediatamente suas emissões de poluentes, o sociólogo Paulo Henrique Cardoso, então coordenador da Câmara de Mudanças Climáticas do Centro Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (Cebds), deflagrou uma campanha para convencer os empresários a investirem em tecnologias que propiciassem redução de emissões. Dessa forma, o Brasil passava de intenções a ações direcionadas ao cumprimento do protocolo de Kyoto, defendido por ele, mas rejeitado pelos Estados Unidos. Talvez esse ânimo estivesse ligado às compensações financeiras obtidas com a manutenção dos sumidouros de carbono, ou seja, as florestas.

Como resultado, recentemente ocorreu a troca de equipamentos no Brasil em diversos setores como, por exemplo, o da produção têxtil. Um outro exemplo significativo é

⁵¹ Rede global de Ação Climática.



o investimento da ordem de US\$ 270 milhões da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), em geração de energia com resíduos, algo que responde com 170 megawatts da capacidade total de 238 megawatts, que é complementada com gás natural.

Para o sociólogo Paulo Henrique Cardoso, esses exemplos das empresas melhoram a qualidade de vida, preservam o ambiente e antecipa nosso país à imposição de redução de gases. No entanto, esses bons exemplos das indústrias não são reforçados por um controle mais efetivo do desmatamento e das queimadas ilegais. Os danos sofridos pela floresta amazônica foram estimados em 1997 pelo ecólogo Philip Fearnside do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia; os resultados pesaram no cômputo geral: 4,2% das emissões globais.

Um estudo realizado pela ONG World Resources Institute⁵² revelou que o Brasil emitiu entre 1950 e 2000, 6,6 bilhões de toneladas de dióxido carbono; já os Estados Unidos emitiram, no mesmo período, 186,1 bilhões de toneladas do mesmo gás, e a União Européia contribuiu com 127,8 bilhões de toneladas. A diferença é que a União Européia está disposta a aceitar as determinações de redução e aceita também pagar os custos dessa redução.

Em outubro de 2001, foi iniciada em Marrakech, Marrocos, a Sétima Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, conhecida oficialmente como COP-7 (Sétima Conferência das Partes). Esta contou com a presença de representantes de 180 países, com o objetivo de finalizar vários acordos realizados em julho na reunião de Bonn, Alemanha, e - após essa finalização - definitivamente ratificar, ou seja, transformar em Lei o Protocolo de Kyoto. Haja vista que 2002 era a data prevista pelo protocolo para o início das ações que visariam às reduções; e, conforme mencionamos, o protocolo somente teria efeito, se pelo menos, 55 países - que fossem responsáveis por 55% das emissões globais de gases "estufa" - aderissem ao protocolo. Com esses valores é possível imaginar a importância da adesão americana, pois os Estados Unidos são responsáveis por quase 25% das emissões apenas do CO₂.

Não obstante a retirada americana; pois, segundo George W. Bush, o protocolo teria "falhas, em sua estrutura," os europeus levaram adiante a proposta de ratificação, exortando os outros países, signatários do protocolo, a fazerem o mesmo. O esforço

⁵² Instituto Mundial de Recursos.



européu, iniciado em julho na Alemanha, permitiu acordos que resultaram na adesão de países como a Austrália, Canadá e Nova Zelândia, países tradicionalmente aliados dos Estados Unidos. Para que essas adesões fossem possíveis, os defensores do acordo tiveram que aceitar que essas nações utilizassem suas próprias florestas como “sumidouros” de carbono, o que diminuía sensivelmente as porcentagens de redução de CO₂. Por exemplo, se o Canadá usasse as supostas absorções de carbono de suas próprias florestas, a redução cairia dos 5,2% pretendidos pelo protocolo para 1,8% apenas (esses novos valores ainda não estavam bem definidos). Sem dúvida, um acordo desse tipo enfraqueceria o Protocolo de Kyoto, mas sem essa concessão talvez não houvesse acordo algum. E, segundo o presidente da Convenção do Clima, Michael Zammit Cutajar, com a retirada dos Estados Unidos do protocolo, caberia ao restante do mundo a responsabilidade de reduzir as emissões nocivas ao ambiente.

4.1 O Terceiro Relatório do IPCC (Third Assessment Report – TAR).

Em conformidade com sua função (atribuída pela ONU) de subsidiar os países, ou seja, as Partes da Convenção com informações advindas de estudos, técnico-científico e socioeconômicos relevantes; o IPCC divulga em 2001 seu terceiro relatório⁵³, e, como parte do terceiro relatório de avaliação, o IPCC incluiu um relatório sintético que tencionava prover uma linha de ação relevante, uma norma de conduta politicamente adequada e não uma prescrição ou receita política. Esse relatório sintético se baseou em questões (nove ao todo) que seriam desenvolvidas em reuniões da COP.

A primeira questão era baseada no que poderiam as análises científicas, técnica e socioeconômica, contribuir para determinar o que se constituía numa interferência antropogênica perigosa ao sistema climático. Ficando claro que as ciências técnicas, naturais e sociais podem prover informações essenciais e evidências necessárias para decidir quais ações humanas são prejudiciais, sempre observando que os impactos variam de região para região, dependendo da natureza local, capacidade de adaptação frente uma

⁵³ Todas as informações relatadas a seguir constam do 3º Relatório de Avaliação do IPCC, lançado em 2001.



mudança climática, grau de desenvolvimento e “sustentabilidade” dessa região. Portanto, não há como traçar políticas universais, deve-se analisar pontualmente cada situação.

O terceiro relatório fornece avaliação e evidências, utilizando-se de novas informações científicas, bem como faz projeções de futuras concentrações de gases “estufa” na atmosfera local e global, padrões de mudanças de temperatura, precipitação pluviométrica e nível do mar. As previsões também analisam mudanças abruptas e irreversível na circulação dos oceanos, e avalia os impactos biológicos e socioeconômicos de mudanças climáticas, procurando levar em conta desde incertezas a mudanças extremas no clima.

O relatório também traz uma visão integrada (sistêmica) das causas e efeitos da mudança climática, considerando a dinâmica de um ciclo completo e interligado entre setores estabelecidos para facilitar os estudos. Apesar da representação estar delineada e os esquemas bem estabelecidos não existe a pretensão ainda de uma avaliação determinista totalmente integrada dos efeitos do aquecimento entre os setores, devido ao estado de incompletude do conhecimento humano. E devido a essa razão, qualquer discussão e decisão política serão essencialmente processadas sob uma certa incerteza. No entanto, devemos ressaltar que essa incerteza se refere às previsões, ou seja, ao futuro. O que já aconteceu está registrado, e não pode ser negado; é fato, e, esses fatos efetivam a mudança climática. A figura na página seguinte mostra um esquema interligado de mudanças climáticas.



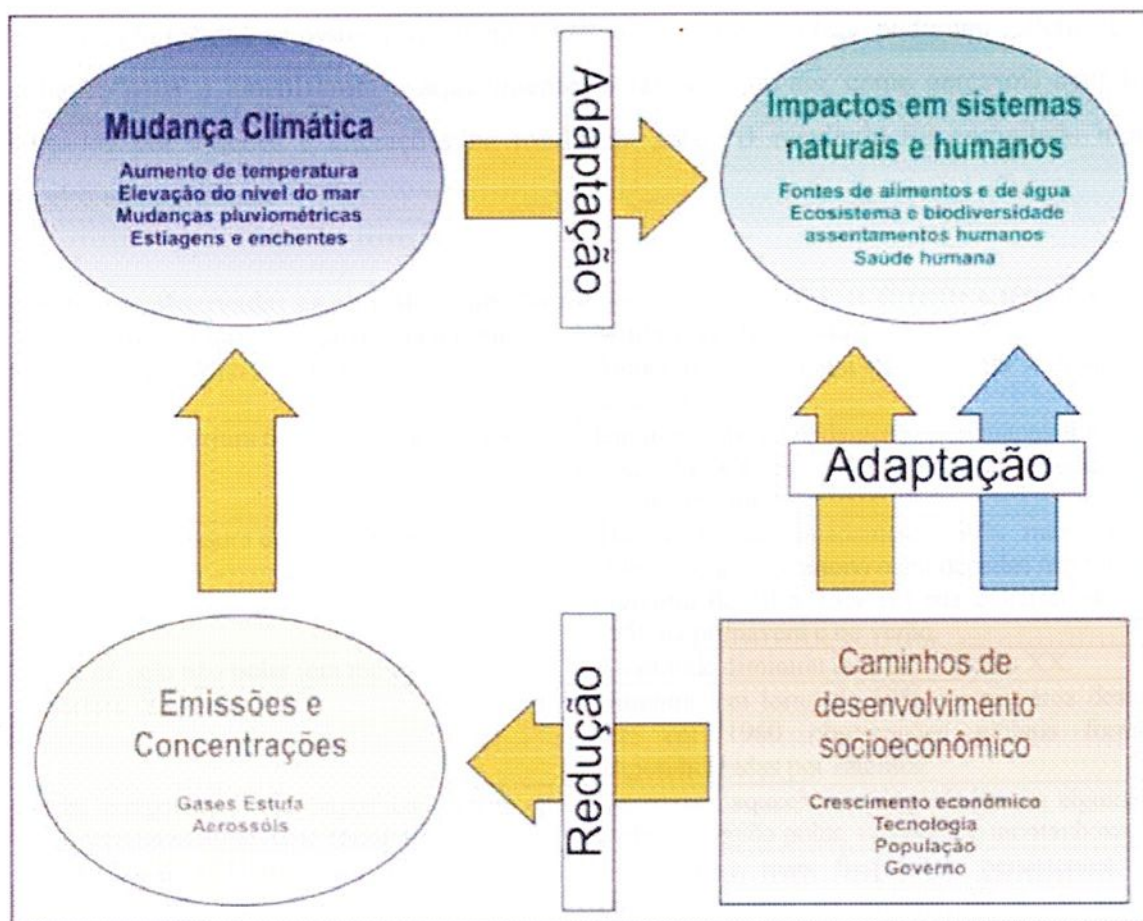


Figura 04. Visão integrada das causas e efeitos das mudanças climáticas.

A segunda questão, levantada pelo relatório, observa as evidências, as causas, bem como as consequências das mudanças climáticas na Terra, desde a era pré-industrial; procura responder em que escala ela ocorre, regional ou global. Se estiver realmente ocorrendo aquecimento, qual a parte atribuída à influência humana, e qual a parte atribuída a um processo natural. O IPCC subsidia a resposta com um quadro, no qual demonstra essas mudanças, ressaltando, inclusive, que a década de 1990 foi a mais quente, e o ano de 1998 o mais quente, desde que começaram os registros instrumentais confiáveis (1861 – 2000). Provavelmente, 1998 perderá seu posto para 2003, pois os jornais têm noticiado uma “onda de calor” jamais observada na história na Europa.

De acordo com o IPCC, existem novas e fortes evidências que atribuem ao homem a responsabilidade sobre o aquecimento, o estudo realizado inclui as incertezas

sobre os efeitos dos aerossóis provenientes das ações antrópicas (que poderiam refletir mais radiação solar e amenizarem o aquecimento) e fatores naturais, como aerossóis naturais lançados por vulcões e alterações na irradiação solar. O resultado foi compilado num quadro e em gráficos.

Mudanças observadas na atmosfera, no clima e nos sistemas biofísicos durante o século XX.	
Indicadores biológicos, físicos e econômicos.	Mudanças observadas.
Média global do nível do mar	Aumento médio anual de um 1mm a 2mm no século XX
Duração da cobertura de gelo dos rios e lagos	Diminuiu aproximadamente 2 semanas durante o século XX, em médias e altas latitudes do hemisfério norte
Extensão e espessura do gelo oceânico	Tornou-se aproximadamente 40% mais fino, entre o verão e o outono e em décadas recentes e diminuiu de 10 a 15% em sua extensão desde 1950 na primavera e no verão.
Massa de gelo não polar (em montanhas)	Amplitude diminuiu durante o século XX.
Cobertura de neve	Diminuiu em torno de 10% em sua área desde que em 1960 observações globais foram disponibilizadas por satélites.
Terras congeladas cuja superfície derrete no verão e congela no inverno (permafrost)	Derretidas, aquecidas e degradadas em algumas partes da região polar, sub-polar e montanhosa.
Ocorrências do El Nino	Tornaram-se mais freqüentes, persistentes, e intensas durante os últimos 20 a 30 anos, comparativamente aos últimos 100 anos.
Aumento das estações	Extensão de 1 a 4 dias por década durante os últimos 40 anos no Hemisfério Norte, especialmente em altas latitudes.
Grupos de animais e plantas	Lentas movimentações de suas regiões de origens para outras regiões.
Reprodução, florescimento e migração	Florescimento precoce das plantas, chegada antecipada dos pássaros em suas migrações, antecipação na estação de acasalamento e aparecimento também antecipado de insetos no hemisfério norte.
Descoloração de corais	Aumento na freqüência, especialmente durante as ocorrências de El Niño.
Perdas na economia relacionadas com o clima	Crescimento da ordem de magnitude das perdas devido a ajustes na inflação global nos últimos 40 anos. Sendo que parte das perdas se refere a fatores socioeconômicos e parte a fatores climáticos.

Quadro 02. Alterações observadas no planeta Terra durante o século XX.

Podemos observar, no quadro, pequenos aumentos no nível do mar, no entanto, é necessário esclarecermos que o aumento do nível do mar não se deve apenas ao derretimento das geleiras, mas conforme aprendemos em Física Térmica, todo material aquecido dilata-se e o oceano com o aquecimento também apresentará uma expansão volumétrica.

Apresentaremos, abaixo, gráficos que mostram uma comparação das variações na temperatura da Terra, medidas por modelos que permitem uma simulação e confrontadas com as observações reais. No Gráfico 1A temos o resultados de simulações que consideraram apenas fatores naturais, como: variações na atividade solar, e atividades vulcânicas; confrontadas com a realidade mensurada pelos instrumentos. No Gráfico 1B, teremos as comparações entre o modelo e a realidade considerando os fatores antrópicos como: gases “estufa” e os aerossóis lançados pelo homem. No Gráfico 1C, considera-se fatores naturais e antrópicos.

Os gráficos mostram que os fatores incluídos nos modelos são suficientes para explicar as mudanças observadas, mas, ainda assim, não podemos excluir a possibilidade de que outros fatores, não considerados nos modelos, tenham também influenciado.



Comparação entre modelos e observações de aumento de temperatura desde o ano de 1860

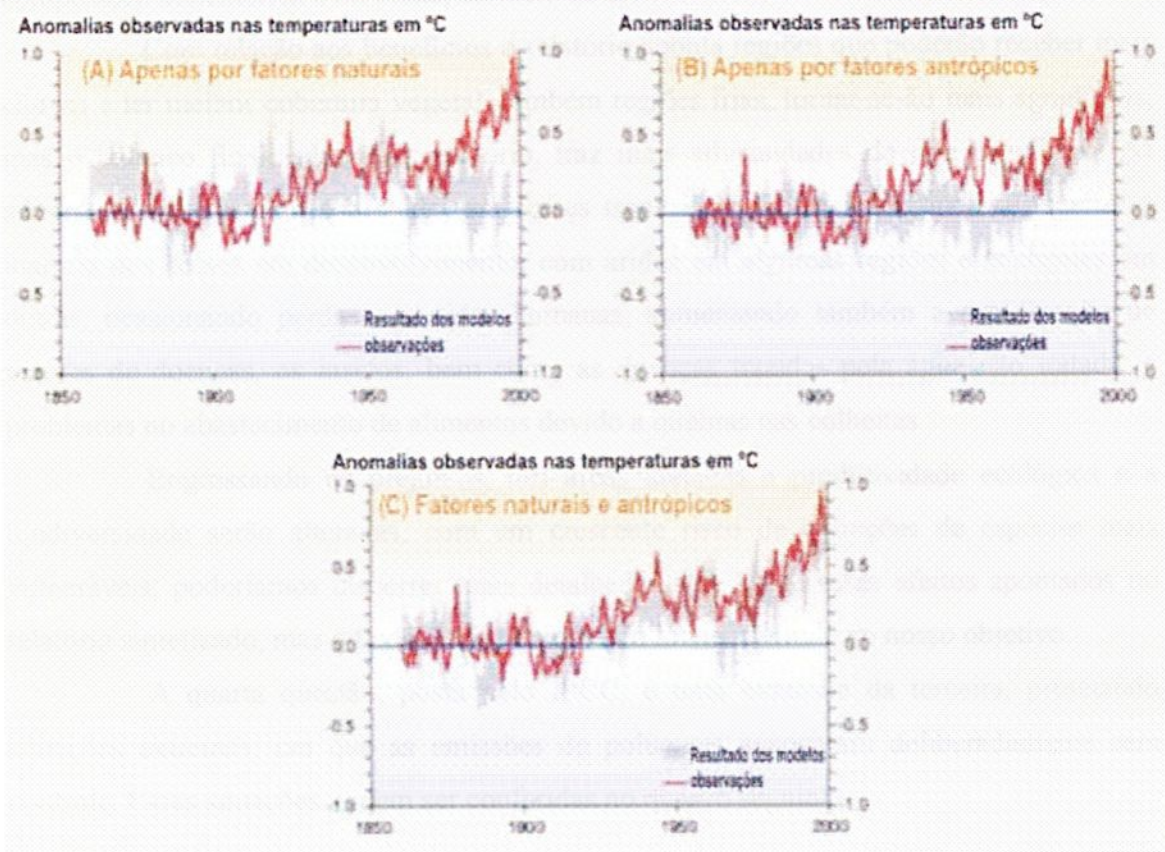


Gráfico 01. Registro de temperaturas (observadas e estimadas).

As mudanças climáticas regionais produzem alterações em sistemas físicos e biológicos localizados, o que é uma indicação preliminar de que os sistemas sociais e econômicos estão também sendo afetados. O relatório do IPCC cita 44 estudos regionais versados sobre 400 espécies de plantas e animais, com duração de 20 a 50 anos, a maioria desses estudos foram realizados na América do Norte, Europa e na região polar do Sul. Também existe um estudo em 16 regiões sobre 100 processos físicos (alterações físicas) na maioria das regiões da Terra, com duração de 20 até 150 anos.

Na terceira questão, o relatório levanta o que se conhece sobre as consequências socioeconômicas e ambientais que seriam causadas pelo clima global nos próximos 25, 50 e 100 anos associados aos níveis de emissão de gases “estufa” seguindo sua lógica de ascensão. Trazendo à pauta as mudanças na concentração atmosférica, no clima e nos

oceanos, discutindo os impactos sobre a economia e os benefícios das mudanças na composição atmosférica e no clima, também os efeitos na saúde humana.

Com relação aos benefícios o relatório aponta regiões que poderão receber mais chuvas e ter melhor cobertura vegetal, também regiões frias, tornar-se-ão mais agradáveis, mas o balanço final, adverte o relatório, traz mais adversidades do que benefícios. As adversidades ocorrerão, sobretudo, em países tropicais e subtropicais, onde se localiza a maioria dos países em desenvolvimento, com aridez em algumas regiões e enchentes em outras, ocasionando perdas em vidas humanas, aumentando também a proliferação de vetores de doenças, os insetos, bem como as doenças trazidas pela água não tratada, e problemas no abastecimento de alimentos devido a quebras nas colheitas.

Engrossando os prejuízos, nas áreas afetadas a produtividade ecológica e a biodiversidade serão alteradas, com um crescente risco de extinções de espécies mais vulneráveis; poderíamos discorrer mais detalhadamente sobre esses efeitos apontados no relatório sintetizado, mas o texto ficaria demasiado longo, fugindo ao nosso objetivo.

A quarta questão, posta pelo IPCC, é uma extensão da terceira, projetando situações extremas, em que as emissões de poluentes avançaram deliberadamente sem controle. Essas situações podem ser conferidas no quadro seguinte.



Exemplos de variabilidade climática projeção de eventos climáticos extremos e seus impactos.	
Mudanças projetadas para o século XXI de fenômenos climáticos extremos e suas probabilidades.	Exemplos Representativos de Impactos projetados.
Temperaturas máximas mais altas, mais dias quentes e ondas de calor sobre aproximadamente todas as regiões (alta probabilidade).	Aumento da incidência de mortes e doenças sérias em grupos humanos de mais idade e entre os mais pobres. Aumento do stress devido ao calor na vida selvagem. Mudanças das rotas de turismo. Risco crescente de prejuízos no número de grãos. Aumento na demanda por refrigeração elétrica aumentando o risco de colapso no fornecimento de energia.
Maiores (aumentando) temperaturas mínimas, menos dias frios e frentes frias (alta probabilidade).	Aumento na atividade de vetores de doenças e de algumas pestes. Diminuição na mortalidade devido ao frio.
Ocorrência de mais precipitações pluviométricas (alta probabilidade, em muitas áreas).	Aumento de enchentes, deslizamento e avalanches. Maior erosão do solo. Perdas por parte de companhias de seguros privadas devido às enchentes e conseqüentes pressões sobre o governo.
Diminuição na umidade relativa nos verões continentais interiores em médias latitudes e estiagens mais prolongadas no outono (provável).	Diminuição nos campos de cereais. Aumento de danos nas estruturas de fundações de edifícios e outras construções devido a um solo mais ressecado. Diminuição no fornecimento de água e piora de sua qualidade. Aumento no risco de incêndios florestais.
Quantidade maior de ciclones e maior intensidade de ventos, aumento na média e no pico da intensidade de precipitações (provável; em algumas áreas).	Aumento de riscos a vida humana, riscos de epidemias e doenças infecciosas. Aumento de erosão costeira e danos na infraestrutura costeira. Maiores danos ao ecossistema costeiro, tais como recife de corais e manguezais.
Estiagens e enchentes mais intensas devido ao El Niño em diferentes regiões (provável).	Diminuição de potencial hídrico nas regiões com ocorrência de estiagens. Diminuição na agricultura e produtividade nas áreas alagadas e nas ressecadas.
Aumento nas chuvas de monções no verão asiático (provável)	Aumento na magnitude das enchentes e estiagens trazendo prejuízos à Ásia tropical.
Aumento na intensidade de tempestades em latitudes médias (alguns modelos apresentaram os mesmo resultado).	Aumento no risco a vida e saúde humanas. Aumento de pobreza e perdas na infraestrutura. Maiores danos aos sistemas ecológicos.

Quadro 03. Projeção de impactos da mudança climática durante o século XXI.

Na forma de uma quinta questão, o IPCC traz uma característica comum em fenômenos climáticos, ecológicos e socioeconômicos, ou seja, a inércia e o tempo para que uma agressão humana se torne evidente. A lentidão com que isto acontece, esta questão nos lembra Bill Clinton quando, por ocasião da reunião em Kyoto, declarou que seria difícil convencer o povo americano de algo que ainda não aconteceu, e, que tinha muitas décadas para acontecer, “é como ouvir um apito de trem”, mas ao olharmos não vemos o trem, disse Clinton. Mas o relatório adverte que a demora das evidências traz ainda outro problema: a estabilização das emissões de CO₂, por parte das ações humanas, não significa estabilização na atmosfera, é necessária redução efetiva e logo, pois mesmo com ações contundentes que consigam estabilizar os níveis de CO₂ na atmosfera, a temperatura manterá sua tendência ao crescimento mesmo que da ordem de décimos de grau e o nível dos oceanos também continuará aumentar devido à lentidão nas trocas na imensa massa aquática terrestre, também será lento o reparo nas camadas de gelo que levaram muito tempo para se formar, portanto, o equilíbrio no sistema climático virá após um longo período, contados após as medidas efetivas de redução. Certamente isto se configura num grave entrave, considerando o imediatismo humano.

O relatório também traz estudos sobre a inércia em sistemas ecológicos, que certamente seriam apreciados por biólogos interessados no assunto e também comenta a inércia de sistemas socioeconômicos revelando que, diferentemente da inércia dos sistemas climáticos e ecológicos, não são fixas, pois podem ser mudadas por políticas escolhas individuais. Um gráfico representativo desta inércia pode ser contemplado abaixo.



De acordo com José Goldemberg, professor da Universidade de São Paulo, não obstante ao rigor científico dos relatórios do IPCC, o presidente norte-americano provavelmente desconfiou da ligação entre os poluentes conhecidos como gases “estufa” e o aquecimento global, apontado pelo IPCC – talvez pelo fato do painel envolver cientistas “estrangeiros” – pois, determinou que a Academia de Ciências dos Estados Unidos realizasse um estudo, feito exclusivamente por cientistas americanos, atitude considerada estranha por Goldemberg, já que o IPCC também é composto por cientistas americanos, mas, apesar dessa “nova” equipe também ser composta por cientistas que criticaram o IPCC; no final do relatório elaborado, houve confirmação integral do que já se sabia, e, não obstante a falta de respaldo científico e às pressões de ambientalistas, George W. Bush lançou-se numa campanha para impedir que os países aliados ratificassem o Protocolo de Kyoto. Essa atitude, de não acreditar no IPCC, foi digna de alguém que pode até desconfiar da Lei da Gravidade, e ainda segundo Goldemberg, não aceitar as evidências científicas é obscurantismo e certamente levará a decisões errôneas.

Em contra-partida o presidente americano propôs medidas consideradas cosméticas que muito provavelmente foram tomadas para atenuar as pressões dos ambientalistas, o plano proposto ficou conhecido como Bush-Exxon e foi criticado (vide figuras abaixo) por apenas reduzir a velocidade de emissão de gás carbônico. O enviado ambiental americano tentou enfatizar numa reunião ocorrida em 1º de março de 2002, que a proposta americana seria equivalente a tirar das ruas americanas 70 milhões de carros em dez anos. Mas acabou admitindo que o plano é um paliativo que não reduz as emissões (como pretende o acordo de 1997 realizado no Japão), apenas diminui a velocidade do crescimento dessas emissões.



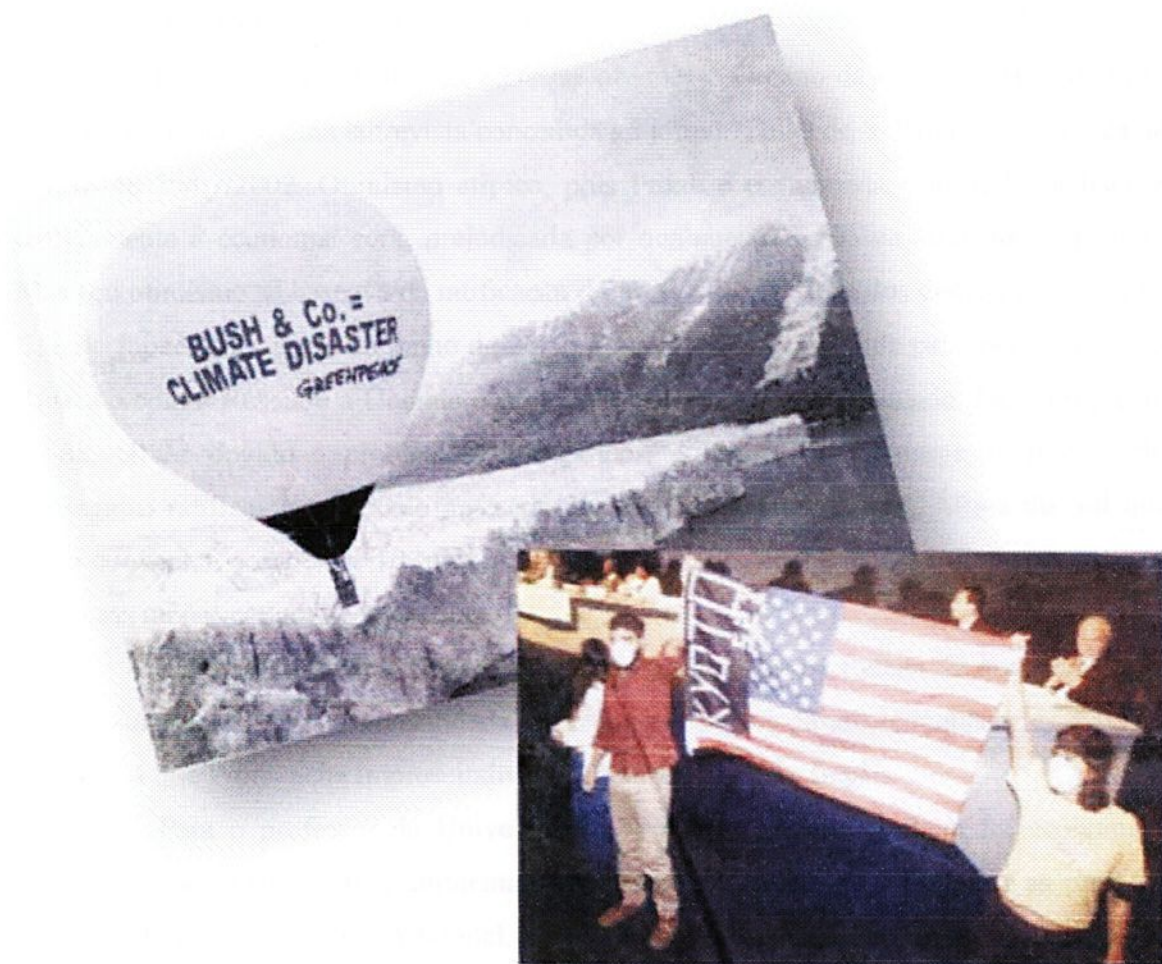


Figura 05. Protestos de ambientalistas.

A Europa segue em seu compromisso, e, em 19 de março de 2002, o Ministério do Ambiente da Holanda divulgou em uma nota à imprensa que o senado holandês aprovou por unanimidade a ratificação do Protocolo de Kyoto, sendo o primeiro país da União Européia a transformar em lei o protocolo.

O ministro do Ambiente e Desenvolvimento Urbano da Holanda, Jan Pronk, se mostrou otimista em uma entrevista concedida ao jornal “Folha de S. Paulo” e veiculada na edição de 25/07/2002. Otimismo atípico, pois Pronk é economista, não ambientalista, e teoricamente a economia seria prejudicada por qualquer redução na atividade industrial. Mas seu otimismo se baseava na ratificação do protocolo por parte dos demais países da U. E. e do Japão antes de 1º de junho de 2002. Faltava ainda um grande país, por exemplo, a Rússia e com a Rússia e a Ucrânia o protocolo poderia ser implementado. De acordo com Pronk, talvez devido a problemas burocráticos, a Rússia não conseguiria (como não conseguiu) ratificar o protocolo antes da reunião em Johannesburgo, África do Sul que ficou conhecida como Rio+10, possivelmente por razões econômicas. mas Pronk reiterou que essas razões seriam de curto prazo.

Faltava também o Canadá que havia participado da rodada de negociações, e, com a sua adesão estaria consolidada uma ponte para, no futuro, conquistar os Estados Unidos, já que Pronk acha imprescindível a futura inclusão desse país.

Para o professor da Universidade de Maryland, que também foi economista sênior, Herman Daly, a área ambiental do Banco Mundial deveria esquecer as pressões políticas da comunidade internacional, pois a única forma de trazer os Estados Unidos ao Protocolo de Kyoto é falar a mesma língua que o presidente americano entende, a do dinheiro, por isso defende a tese de que a OMC (Organização Mundial do Comércio), teria esse poder, ou seja, os países que ratificaram o protocolo deveriam retaliar os Estados Unidos. Por mais paradoxal que possa parecer essa lógica tem sentido, os países, no intuito de atingir as metas de redução de gases poluentes, deverão se esforçar para modificar seu sistema energético, e essa adaptação sugere custos que não seriam irrelevantes; em contrapartida os americanos, não aderindo ao acordo, teriam vantagem competitiva sobre os países signatários, o que leva Daly a concluir que é protecionismo não aceitar o protocolo e conseqüentemente não pagar os custos, isto violaria o princípio de campo nivelado, e, portanto, não se teria mais “livre comércio”.



O economista também defende a inclusão do que chamou de externalidades, ou seja, incluir o valor dos recursos naturais na contabilidade econômica, isso não significa incluir valores referentes a mecanismos de mercado para ecossistemas, ou seja, obter valores com esses mecanismos e transferi-los de volta à natureza, mas, impor limites quantitativos para a exploração dos recursos naturais pela economia. Dessa forma, ao se chegar ao limite a escassez de recursos terá que ser contabilizada, aumentando-se automaticamente os preços e internalizando isso para a economia.

A idéia proposta por Daly é ao mesmo tempo política, ecológica e ética, envolvendo estudos que determinarão quanto se pode tirar da natureza e quanto se pode devolver na forma de resíduos sem prejudicá-la, a rapidez com que se devem utilizar os recursos renováveis, e, finalmente qual a quantidade de sistemas naturais deverão ser preservados para as demais espécies. Obviamente essas medidas impõem um limite físico ao mercado, e os empresários rejeitam qualquer limite, assim como os políticos respaldam essa rejeição certamente porque receberam para isso. Mas uma maneira de fazê-los refletir, é usar o argumento de que com esses limites poderão evitar grandes perdas num futuro, talvez próximo, pois já estamos em grande débito com a natureza.

Apesar de o Brasil ter sido o 77º a ratificar o Protocolo de Kyoto em 23 de agosto de 2002, não seria possível a entrada em vigor do protocolo antes da conferência Rio+10, faltavam a Rússia e a Polônia que confirmaram sua adesão tardiamente, pois também ainda faltava ratificar, ou seja, transformar o documento em Lei. Rússia e Polônia foram seguidas pelo Canadá na adesão, ocorrida durante a reunião de Johannesburgo, (Rio+10). O Canadá provavelmente enfrentaria problemas, pois, a província canadense de Alberta que produz petróleo e gás natural, em grande escala, declarou que entraria na justiça contra o governo canadense, caso este ratificasse o protocolo.

E, num clima pessimista, começa em 26 de agosto de 2002 a Rio+10, o jornal “Folha de S. Paulo”, estampa esse sentimento em suplemento especial, veiculado em 24/08/2002, com o título “Rio+10, A década perdida do ambiente, Terra – 10”. A reportagem cita o aquecimento global como o pior pesadelo ambiental, e nenhuma outra questão havia gerado tanta polêmica quanto o acordo de Kyoto em 1997, possivelmente porque os outros acordos não afetavam tão diretamente o capitalismo em sua obstinada trajetória para seu objetivo central, ou seja, o maior lucro possível.



Convencido de que os esforços para chegar a uma Lei que obrigasse as empresas a reduzirem suas emissões, queimando menos combustíveis fósseis, não surtiria o menor efeito, o então secretário de Estado do Meio Ambiente, José Goldemberg, resolveu investir em outro flanco, e idealizou a principal proposta brasileira na reunião de Johannesburgo. A idéia era de que as nações aumentassem a participação das fontes de energia renováveis, baseadas em recursos renováveis correspondendo atualmente a 2,2%, para 10% em 2012. Atualmente a humanidade pode fazer desfilar diversas propostas, por exemplo, o álcool combustível, a energia eólica que tem a Alemanha como referência; 6% das necessidades energéticas do país vem de fontes renováveis e a intenção era que essas fontes chegassem a um terço da demanda energética em 2030; apesar do potencial eólico no Brasil, particularmente no nordeste, ser maior, as turbinas eólicas são pouco difundidas, haja vista o seu alto custo.

Em Israel o pesquisador David Faiman, da Universidade Ben-Gurion, trabalha com a produção de energia fotovoltaica com células solares no deserto israelense, apesar das críticas relacionadas ao alto custo, o pesquisador acredita nesse potencial energético. Um grande promissor nessa área é o mesmo combustível usado nas estrelas: o hidrogênio, segundo o secretário-executivo do Centro Nacional de Referência em Energia do Hidrogênio da Unicamp, Ennio Peres, na obtenção do hidrogênio é necessário a decomposição da água em hidrogênio e oxigênio, e, esse processo gasta energia, no final o resíduo deixado por essa utilização é apenas água. Peres considera o hidrogênio como um vetor energético, a tecnologia que permite seu uso é a “célula de combustível” usada para alimentar com corrente elétrica a nave que levou o homem à Lua.

A tecnologia destas células está se desenvolvendo, e a tecnologia que ainda é cara está barateando, e os investimentos em pesquisa justificam-se pelo ganho ambiental, assim como as outras formas de obtenção de tecnologia, eólica, fotovoltaica, etc. os altos custos de obtenção atualmente podem cair substancialmente, desde que a Ciência volte seus esforços para esta finalidade no melhor estilo “só se transforma o que se conhece e só se conhece o que se estuda”.

Infelizmente a genialidade humana esbarra na intransigência econômica-política, emperrando a proposta dos 10% da demanda energética mundial serem provenientes de recursos renováveis. A insensatez humana coloca as leis do mercado à



frente das leis da natureza, o cenário em agosto de 2002 no Rio+10, relegava as propostas da Eco-92 a puros devaneios, a Convenção sobre Mudanças Climáticas estava estagnada, o programa de medidas, que cada país deveria implantar para promover o desenvolvimento sustentável, como por exemplo, a universalização do saneamento básico, as redes de metrô e trens rápidos em grandes cidades, a democratização da justiça, ensino em tempo integral, esses compromissos ficaram conhecidos como Agenda 21, que ainda contava com a meta de aumentar a ajuda dos países ricos de 0,36% do PIB para 0,7% nos dez anos entre esses dois encontros. No entanto, a depressão econômica fez a contribuição cair dos 0,36% para 0,22% do PIB, apesar do maior número de ONGs a decadência dos recursos ambientais e a extinção de espécies segue resoluta. O suplemento especial do jornal supracitado comparava a Agenda 21 a uma árvore de natal onde todos penduravam seus desejos.

Mas, não obstante a esse cenário, as pesquisas avançam para prover-nos de fontes renováveis e menos poluentes de energia, a educação ambiental está em pauta, o comércio de emissões de carbono está sendo implantado e os subsídios às energias fósseis poderão ser eliminados, mudanças lentas, mas que avançam.

Em 23 de outubro de 2002, inicia-se em Nova Delhi, Índia a 8ª COP, constatando que apesar da criação de várias políticas que visam à redução de CO₂, elas haviam aumentado, e esse fato tornava o Protocolo de Kyoto imprescindível, o planeta já contava com a ratificação de 90 países, infelizmente esses países ainda não somavam os 55% de emissões necessários para que o protocolo entrasse em vigor. Faltava Rússia e Canadá, grandes responsáveis por emissões de CO₂, que aderiram, mas não ratificaram. Um bom exemplo, no entanto, veio da Alemanha, este país se prontificou a reduzir 40% das emissões até 2030, com a condição de que os outros membros da União Européia se comprometam com 30%.

A reunião em Nova Delhi reiterou os apelos dos cientistas que consideram as mudanças climáticas uma ameaça para a humanidade, os estudiosos advertem que o pior ainda está por vir, com consequências mais agudas para os países em desenvolvimento, estes vulneráveis devido a uma economia instável, os apelos também pediam clareza e, sobretudo, ação.

O governo federal criou o Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas e divulgou (<http://www.forumclimabr.org.br>) um boletim do dia 24 de outubro de 2002, em que a conferência, recorrentemente recomendava:

- 1) Políticas de regularização integrada e medidas de desenvolvimento sustentável;
- 2) sensibilizar as políticas nacionais e outros apostadores;
- 3) a taxa de regularização nacional, local e em planos setoriais;
- 4) fortificar a regularização além de aumentar os esforços;
- 5) exigir e utilizar os conhecimentos existentes e experiências no desenvolvimento sustentável e na regularização da redução da pobreza;
- 6) levar a consciência pública em todos os níveis;
- 7) apoiar a regularização em nível local com políticas e medidas nacionais e internacionais;
- 8) institucionalizar a responsabilidade a todos os níveis e explorar novos meios para ganhar reforços e
- 9) incorporar as necessidades locais de regularização de acordo com o sistema financeiro.

Na reunião de Bonn (COP-7), pudemos observar uma benéfica aliança da União Européia, e, segundo uma coalizão de ONGs denominada "Climate Action Network"⁵⁴, deveríamos exigir que a reunião de Nova Délhi clamasse pela imediata ratificação da Rússia e Canadá, garantindo que o Protocolo de Kyoto entrasse em vigor e, dessa forma, forçar os Estados Unidos e a Austrália a também ratificarem. Garantir a implementação dos acordos com eficácia e substanciais transferências de tecnologias e fundos para países em desenvolvimento, reconhecendo que essas transferências são benéficas, pois reduzirão emissões de poluentes e deverão ser pautadas no princípio das ações comuns, mas com responsabilidades diferenciadas, haja vista o grau de desenvolvimento de cada país, e pressupondo um reconhecimento por parte das nações industrializadas de sua responsabilidade social e histórica no aumento das concentrações de poluentes, o que

⁵⁴ Rede Global de Ações climáticas.



reforça a justificativa de financiamentos e investimentos substanciais na melhoria da eficiência energética, fontes renováveis e desenvolvimento sustentável.

No campo social a exigência se pautaria no poder da participação pública nas decisões e implementações, que pressupõem instrução pública prévia, na forma de educação e conscientização geral, tendo a Ciência como princípio das responsabilidades.

Conforme o acesso ao site <http://www.minambiente.it/cop9/>, em 17/09/2003, temos o anúncio da nona edição da conferência das partes (COP9), que discutiu, entre outras coisas, a convenção sobre as transformações climáticas e consequências. A COP 9 aconteceu em dezembro de 2003 em Milão. O anúncio desta importante reunião está logo abaixo.

As esperanças de que os países, que já aderiram ao protocolo de Kyoto, ratifiquem suas determinações estavam renovadas.

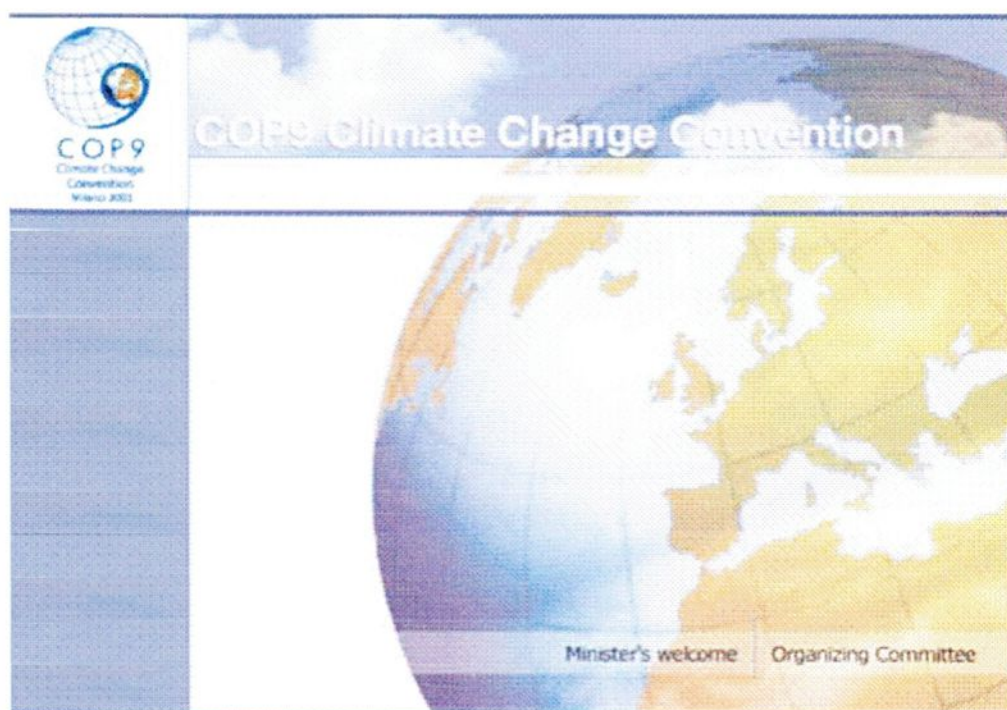


figura 08: anúncio da 9ª Conferência das Partes (COP-9).

No entanto, o Estados Unidos segue resoluto em sua posição contrária ao Protocolo de Kyoto, pois considera incertas as evidências de que a emissão de poluentes afeta o clima, apesar do Centro de Informações Climáticas dos EUA assegurar que “não há dúvidas sobre o papel crescente e mensurável das atividades humanas nas mudanças climáticas”⁵⁵, soma-se a isso o fato da Rússia adiar mais uma vez sua decisão de aderir ao pacto.

Também a Europa encontra dificuldades em reduzir suas emissões e esse panorama levou a revista *New Scientist* a acreditar que: “o Protocolo de Kyoto está morrendo uma morte de mil golpes”, no entanto, os delegados alemães terminaram a COP-9 afirmando que o Protocolo continuará, confiantes em que, após as eleições de 2004, a Rússia ratifique o acordo, algo que ocorreu de fato, no final de 2004, com a inclusão da Rússia as determinações do acordo entraram em vigor em fevereiro de 2005. Resta reavaliar as cotas, pois o cenário atual mudou bastante em relação a 1997.

⁵⁵ NOVAES, W. Empacados e sem rumo. *Jornal da Ciência*. 19 de dez. 2003. Seção de Notícias. Disponível em <<http://www.jornaldaciencia.org.br/Detalhe.jsp?id=15117>>. Acesso em: 13 jul. 2004.



CAPÍTULO IV

HISTÓRIA DA TERMODINÂMICA COMO ESTRATÉGIA DE ENSINO



1. A História da Termodinâmica subsidiando a instrumentalização dos alunos

Como estratégia de ensino, é pertinente a utilização da História da Ciência no intuito de demonstrar as idéias que se tinha acerca do Calor e da Temperatura, inferir suas lógicas e perceber sua viabilidade no momento histórico em que foram concebidas, portanto, das múltiplas utilidades permitidas por essa estratégia, contemplaremos a melhoria do processo de ensino e aprendizagem das teorias científicas e dos conceitos centrais da termodinâmica.

A História da Ciência também permite dar abertura para pesquisas sobre a relação entre Ciência, Tecnologia e o contexto social, pois, como dissemos a tecnologia e a ciência do calor, propiciaram uma intensa industrialização, modificando a sociedade, transformando economias essencialmente rurais, trazendo muitos trabalhadores para as cidades, produzindo intensa urbanização, algo que poderia render estudos sobre uma geografia como síntese de “fixos e fluxos”.

Precisamos nos deter em alguns aspectos relevantes da evolução dos conceitos relativos à Física Térmica, portanto, não pretendemos nos fixar em determinados fatos (que



eventualmente podem ser relevantes em outras pesquisas), mas que não foram contemplados em nossa pesquisa devido, principalmente à necessidade de otimizar o material em função do tempo que normalmente é atribuído para as aulas de Física.

A utilização da História da Ciência deverá enriquecer o estudo da Termodinâmica, não substituí-la, portanto selecionaremos textos históricos para serem utilizados em momentos que também serão sugeridos por nós. Pode-se até incentivar a identificação das idéias que comumente encontramos no âmbito do senso comum, com as idéias aceitas pela comunidade científica de vários séculos atrás (apesar de estarem atualmente descartadas foram úteis no passado), e, com a possível identificação de seu modo de pensar, com a maneira que grandes cientistas pensaram, o aluno, talvez, possa se sentir mais a vontade para expor suas idéias, estabelecendo, dessa forma, um diálogo com os textos históricos.

A vertente histórica pode motivar os alunos tornando os conteúdos mais interessantes, revelando que os conceitos, as “verdades científicas” não são eternas, mas são construções humanas e podem ser rejeitados, segundo Demo (1999, p.26), somente é científico aquilo que for passível de discussão, sendo esse um critério de cientificidade, Demo conclui que o caráter científico de um discurso está na convivência crítica e criativa com a dúvida, e não em pretensas comprovações irrefutáveis, pois, as certezas fazem a Ciência se aquietar e a dúvida a impulsiona. Morin também diz que o único pensamento que sobrevive é aquele que está sempre na temperatura de sua destruição.

A Ciência, assim, perde a aura de “redentora da humanidade”, e, assumindo sua realidade desmistificada, não mais relegada apenas a “gênios”, assim o saber científico revela-se, também, como produto de um esforço coletivo de especialistas, sabemos que até Isaac Newton confessou que só fez o que fez porque se apoiou em ombros de gigantes, assim essa noção de uma Ciência que convive com a dúvida e com o erro, mas que ao mesmo tempo, deixa-nos como legado uma exuberante tecnologia; incentiva-nos a contribuir com estudos e pesquisas para seu aprimoramento.

Dessa forma, a utilização da História da Ciência contribuiria, entre outras coisas, para preparar indivíduos adaptando-os a uma realidade dinâmica, evidenciando o caráter provisório das concepções e idéias científicas; também tornam explícitas as relações entre ciência, tecnologia e contexto social.



2. Calor a problemática da definição na existência de duas teorias concorrentes.

No percurso histórico da termodinâmica notamos um longo processo de desenvolvimento dos conceitos de Calor e Temperatura, sendo particularmente pertinente observar que os cientistas acreditavam que Calor e Temperatura expressam a mesma idéia, ou seja, até meados do século XVIII ainda não havia distinção clara desses conceitos, pois uma influência importante, remonta aos tratados médicos do famoso Galeno (129-200) que dizia existir no corpo humano uma mescla (mistura) de calor e frio, naturalmente em quantidades iguais. Quando havia desequilíbrio nessa mistura o corpo adoecia.

Na tradução para o latim o termo “mescla” aparece como temperatura, cujas origens está na palavra temperar que em latim significa ‘combinar’, ‘colocar em ordem’, ‘misturar’, para os médicos antigos o estado febril precisava ser temperado com remédios para novamente atingir o equilíbrio, portanto o corpo em estado febril, emanava mais calor que era chamado de temperatura, e esta temperatura era classificada em estágios ou graus, em que o primeiro grau era apenas perceptível (febre pouco intensa), e o último grau era mortal (febre intensa), acredita-se que a partir dessa classificação passou-se a medir a temperatura em graus.

Como esses tratados médicos tiveram grande sucesso e conseqüentemente grande repercussão, a palavra temperatura se disseminou no meio científico e por longo período passou a ser considerada equivalente ao calor, por representar a medida do calor.

Com relação especificamente ao calor, constatamos também a coexistência de duas teorias: a substancialista e a dinâmica ou mecanicista.

No final do século XVII e início do século XVIII, não havia explicações conclusivas sobre a natureza do calor, pois o simples fato de que objetos dispostos ao redor de uma fogueira aqueciam-se ou que um objeto quente aquecia outros objetos próximos, sugeria que algo passava do fogo ou do objeto quente para os outros objetos inicialmente frios, formando, desse modo uma corrente teórica que concebia calor como substância.

A teoria substancialista do calor estava de acordo com pensadores da Grécia antiga que admitiam o calor como uma substância sutil, que permeava a matéria e quando se acumulava num corpo, este se apresentava quente. Essa teoria que concebia o calor como

algo material (substância), sofreu modificações, mas manteve-se hegemônica por ser a mais fácil de ser usada, mais aparente, e conseqüentemente com maior poder de explicação.

É antigo o conhecimento do fato de que o atrito produzia calor, conforme Castro (1993), Roger Bacon (1214-1294) em seu *Opus Majus* considerava que a causa do calor estava no movimento interno dos corpos, sendo que a essência do calor estaria nos esforços contrários das partículas que constituem os corpos. Mais tarde Francis Bacon (1561-1626) considerou, em sua *Interpretação da Natureza e o Reino do Homem*, que não há corpo tangível (palpável) que não se aqueça ao ser atritado, a bigorna, observou, se torna quente ao receber golpes do martelo. Ele acreditava que se o metal da bigorna fosse mais mole, esta chegaria a ficar avermelhada devido aos golpes que recebia.

Francis Bacon cita inclusive, que “os antigos” concebiam o aquecimento dos corpos celestes como sendo causado pelo seu rápido movimento de rotação que provocava o atrito das massas de ar, portanto, conclui que a natureza do calor parece ser o movimento. Devido ao fato do atrito aumentar o aquecimento dos corpos, ou como ele dizia “aumentava o calor”⁵⁶ dos corpos, Francis Bacon excluía a hipótese de que havia a comunicação de alguma substância de algum corpo quente.

O calor estava relacionado ao movimento vibratório das partículas de um corpo, compondo, dessa forma, a outra corrente que concebia o calor como movimento, conhecida como teoria dinâmica ou cinética do calor (Termodinâmica), esta teoria necessitava de uma noção microscópica da matéria, em nível de partículas, dificultando sua compreensão, pois a Ciência ainda não havia, efetivamente, entrado no micromundo.

A divergência entre os modelos de explicação do calor não chegou a causar grandes disputas ou embates entre os cientistas, mas ficou notória numa publicação conjunta de Lavoisier e Laplace em 1783, “*Memoirs sur le Chaleur*” na qual esses ilustres cientistas concluem que muitos físicos consideram o calor como fluido capaz de penetrar a matéria e combinar-se com ela ou propagar-se de um corpo a outro, outros ainda consideram calor como resultado do movimento interno invisível das partículas de um corpo, uma vibração em todos os sentidos que ocupava os espaços vazios existentes entre

⁵⁶ Atualmente calor é concebido como uma forma de energia que se manifesta em trânsito, não podendo, portanto, um corpo ou objeto conter calor, o que ocorre é um aquecimento devido ao aumento da energia interna, especialmente da energia cinética média das partículas desse objeto, este corpo aquecido transmite energia para outros corpos próximos e/ou para o ar, essa energia transmitida é denominada **calor**.

as partículas. Lavoisier e Laplace não optaram por nenhuma delas dizendo ainda, no final, que talvez as duas estivessem certas.

A teoria substancialista, como dissemos, convencia mais porque era baseada em variáveis macroscópicas, facilmente observáveis.

A teoria substancialista do calor concebia-o como um fluido capaz de se espalhar por todo o espaço, fluindo para dentro e para fora de todas as substâncias. Esta teoria fortalecia-se devido ao resultado que seus inúmeros e ilustres adeptos obtinham na tentativa de aumentar-lhe o poder explicativo, sempre tentando estendê-lo aos mais diversos fenômenos. Entre seus partidários mais famosos, podemos destacar o médico, químico e físico escocês, Joseph Black (1728-1799) o “pai da calorimetria”, cujos experimentos e conclusões (confira no item 4) foram verdadeiros “divisores de água” nos estudos de fenômenos térmicos, chegando até a usar os resultados de seus experimentos para refutar a teoria cinética ou dinâmica do calor, o que não diminuiu o brilho de suas descobertas; pois, como sabemos, a observação de um fenômeno é influenciada pelo modelo teórico subjacente a essa observação.

Esse fluido que, segundo a teoria substancialista do calor, seria a causa do calor foi denominado por Antoine Laurent Lavoisier (1743 – 1794) no seu “*Traité Elementaire de Chimie*” em 1789 de Calórico. A teoria do calórico tinha os seguintes postulados básicos:

- 1)O calórico é um fluido elástico cujas partículas se repelem.
- 2)As partículas de calórico são fortemente atraídas pelas partículas da matéria, com força de intensidade variável para substâncias diferentes e também para a mesma substância, esta força atração não é a mesma para estados físicos diferentes.
- 3)O calórico é indestrutível e não pode ser criado.
- 4)O calórico pode ser sensível ou latente, e neste segundo estado agrega-se quimicamente às partículas dos materiais, para produzir mudanças de fase, transformando um sólido em líquido ou um líquido em vapor.
- 5)O calórico tem peso apreciável (posteriormente esse postulado foi negado, mas, como veremos, isso não provocou a derrubada dessa teoria).



Lavoisier, em "*Traité Elementaire de Chimie*", chegou a classificar o calórico como um dos elementos químicos, haja vista os sucessos dessa teoria na química especialmente entre os adeptos do atomismo, que não tiveram outra opção senão optar pelo fluido calórico.

Como vimos, em seus postulados, o "fluido sutil" (calórico) ainda trazia para os químicos a vantagem da lei de conservação implícita.

Com um amplo poder de explicação, fundada basicamente em variantes macroscópicas, ou seja, naquilo que é aparente, a teoria substancialista funcionava muito bem com diferentes tipos de matéria atraindo o calórico em graus de magnitude diferentes, justificando o conceito de calor específico descoberto por Joseph Black, o acúmulo desse calórico produzindo o aquecimento dos materiais, a dilatação sendo explicada pela auto-repulsão das partículas do calórico, a conclusão de que as partículas do calórico se auto-repelem, também se devia ao fato de que um corpo com "muito calórico", transmitia-o para outros objetos, ou comunicava-o para o ar.

Também as mudanças de fase eram explicadas, de acordo com os experimentos de Joseph Black, em que o calórico ficava "latente", ou seja, não se manifestava como aumento de temperatura; não sendo, portanto, percebido pelos termômetros (daí o nome latente), mas combinava-se com as partículas da matéria e, em consequência, mudava-lhe a fase, de sólida para líquida ou de líquida para vapor. Por fim, a substância calórica, segundo o conceito grego de matéria, era indestrutível e não podia ser criada, consequentemente havia o "Princípio da Conservação do Calórico" - o que resultava numa lei de conservação do calor - esse postulado foi tido, justamente, como o "Calcanhar de Aquiles" da teoria do calórico; pois, segundo Benjamim Thompson, (conde de Rumford) o calor produzido pela fricção parecia inesgotável.(confira no item 5)

O senso comum, no entanto, atualmente também concebe calor como uma substância. Teixeira (1992), em dez entrevistas realizadas com alunos de 12 anos de idade, constatou justamente que o calor é percebido como um tipo de substância material, parecido com uma fumaça que escapa dos objetos quentes através do ar. Com relação ao movimento, os alunos imaginam que o calor consegue viajar através dos corpos, passando do objeto mais quente para o objeto mais frio. As respostas sobre a origem do calor demonstravam que esses alunos acreditam que o calor se originava nos corpos quentes.



Conhecendo essas concepções prévias dos alunos, podemos estabelecer um diálogo com textos históricos, resumindo a evolução da teoria substancialista que culminou com o postulado da Teoria do Calórico.

3. A Termometria subsidiando as Teorias Concorrentes

É importante ressaltarmos, conforme Francis Bacon já havia mencionado, o “calor” (sensação de quente ou frio) como algo sensível é relativo ao homem e não à natureza, portanto pode ser variável, dependendo da disposição dos sentidos, ou seja: “*O calor, em relação ao tato e aos demais sentidos humanos, é coisa variável e relativa. Por isso a água tépida, se a mão que a toca está fria, parece quente; se a mão está quente, parece fria*”. (BACON, 1999, p.126), essa afirmação, no século XVII, provavelmente servia como advertência àqueles que estudam os fenômenos térmicos para que não se deixassem levar pelas sensações táteis para aferir valores de temperaturas ou “graus de calor”, pois essa confiança nos sentidos atrapalha as conclusões sobre os fenômenos térmicos.

Isso posto, fica evidente a necessidade de se desenvolver uma técnica para medir temperaturas. A termometria inicia-se com Galileu no final do século XVI, 1593 aproximadamente, quando este notável cientista baseado no funcionamento de alguns inventos gregos que dependiam da expansão do ar quente para funcionarem, construiu um termoscópio (termos, calor e skopeo, observar).

O instrumento foi denominado de termoscópio por ainda não ter uma escala. Constituíam-se de um bulbo de vidro transparente ligado a um tubo também transparente de vidro, o bulbo ficava na parte de cima e o tubo, na posição vertical, descia e mergulhava num recipiente de vidro que continha um líquido colorido. Quando se colocava a mão no bulbo ou o aproximava de uma fonte térmica, o calor fornecido provocava a expansão volumétrica (dilatação) do ar contido no bulbo, então, o ar pressionava o líquido e a coluna do líquido descia, ao se resfriar o ar, este se contraía e a coluna de líquido subia.



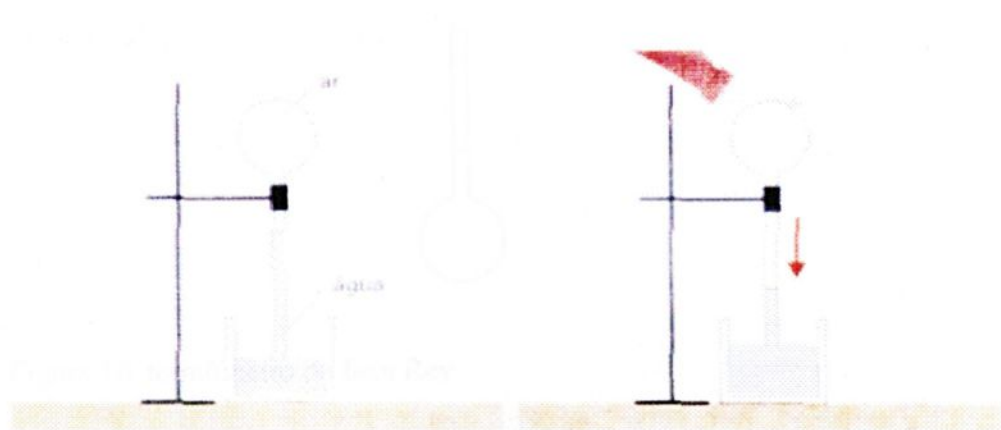


Figura 09: termoscópio parecido com o idealizado por Galileu. (CHIQUETO, 1996).

Esta propriedade, dilatação volumétrica, permitiria desenvolver a termometria⁵⁷ e perceber “graus de aquecimento”, sem a influência das sensações.

Com Santório em 1621, médico e professor da Universidade de Pádua, estima-se que tenha surgido a primeira escala termométrica, pois ele marcou dois pontos de referência, no termoscópio de Galileu, o primeiro estava relacionado à altura que o líquido atingia num dia de inverno, o outro ponto marcava a altura que o líquido atingia quando o instrumento estava em contato com o corpo de um animal, posteriormente dividiu a distância entre esses dois pontos em partes iguais, dessa forma, o instrumento deixava de ser um termoscópio e tornava-se um termômetro, e, com as mencionadas referências limítrofes Santório media a temperatura de pessoas doentes, dando uma utilidade clínica ao termômetro.

O termômetro prossegue em sua evolução com Jean Rey, médico francês, em 1632 utilizando água como substância termométrica, o instrumento que Jean Rey utilizou era igual ao de Galileu, mas o médico inverteu o instrumento e o encheu parcialmente com água. Como a extremidade superior do tubo era deixada aberta e as medidas sofriam a influência da evaporação do líquido, essa deficiência foi sanada com Ferdinando II, duque de Toscana, quando confeccionou um instrumento semelhante ao de Jean Rey, mas fechou a extremidade superior e também inovou quando utilizou álcool como substância termométrica.

⁵⁷ Para uma noção mais detalhada sobre o desenvolvimento da termometria, consulte Castro (1993).

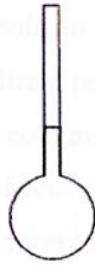


Figura 10: termômetro de Jean Rey.

As escalas termométricas seguiam critérios incertos, como, por exemplo, num dia de inverno rigoroso, colocava-se o termômetro a ser calibrado na neve, o líquido contraía-se e então se marcava um ponto no instrumento, registrando a altura atingida pelo líquido. Ao chegar o verão num dia especialmente quente, verificava-se a expansão do líquido e então registrava a altura atingida com um segundo ponto.

Essas marcações eram relativas à região em que eram tomadas e também muito indefinidas. Sem um padrão termométrico estabelecido, assistiu-se um desfile de sugestões, por exemplo, Robert Boyle propôs um método de calibração baseado em apenas um ponto fixo, que seria a temperatura de congelamento do óleo de anis.

Dalancé um construtor de termômetros sugeriu como parâmetros a temperatura em que gelo se funde e a temperatura de fusão da manteiga, com valores limites de -10° e $+10^{\circ}$, subdividindo o instrumento em 20 partes iguais.

No intuito de estabelecer pontos fixos que pudessem ser reproduzidos precisamente, surgiu uma alternativa: em 1694, Carlo Renaldini, professor da Universidade de Pádua, propôs que se colocasse o termômetro a ser calibrado no gelo em fusão, e marcasse a altura atingida pela substância termométrica, posteriormente colocaria o termômetro em água fervente, e novamente faria uma marca na altura atingida pelo líquido, determinando, dessa forma, o ponto de fusão e de ebulição da água como pontos fixos.

Em 1717, surgiu com Daniel Gabriel Fahrenheit um sistema que evoluiu para a atualmente conhecida escala Fahrenheit, que determina para zero grau (0°F) a temperatura de congelamento da água salgada, ou da mistura de gelo e sal, e cem graus (100°F)

determinava, na época⁵⁸, a temperatura do corpo humano saudável, esses parâmetros relegava os pontos de fusão do gelo e ebulição da água às temperaturas 32°F e 212°F, respectivamente. Fahrenheit inovou ao utilizar, pela primeira vez, o bulbo do termômetro em formato cilíndrico, enquanto o formato comumente utilizado era o esférico, também foi o primeiro a utilizar o mercúrio como substância termométrica.

As inovações implantadas por Fahrenheit foram resultados de seus esforços para satisfazer o desejo de observar o “grau fixo de calor” em que a água fervia e que fora anteriormente apontado pelo físico francês Guillaume Amontons, mas como Fahrenheit não tinha experiência na construção de termômetros precisou, portanto, se esforçar e estudar maneiras de confeccionar um instrumento que o fizesse perceber este belo fenômeno.

A curiosidade de Fahrenheit o levou a constatar que a mudança de fase (líquido para vapor) da água acontecia a uma temperatura fixa, e, ao testar outros líquidos, ele também percebeu que estes mudavam de fase em outras temperaturas que também eram fixas, ou seja, enquanto ocorria a ebulição sua temperatura não mudava, ou em termos da época ferviam em “graus fixos de calor”.

A escala termométrica amplamente aceita atualmente, surgiu com Anders Celsius em 1741, que estabelecia para a temperatura de congelamento da água, ou fusão do gelo, zero grau (0°C), e para a temperatura da água em ebulição cem graus (100°C) ao nível do mar, como Celsius dividiu o espaço entre as alturas que a coluna de mercúrio do termômetro atingia na água em congelamento e na água em ebulição em cem partes iguais, sua escala ficou subdividida em cem e os graus conhecidos como graus centígrados, a escala Fahrenheit era subdividida em 180 partes.

Com relação às questões inicialmente colocadas, vale ressaltar que a maior precisão dos termômetros não contribuiu para diferenciar os conceitos de Calor e Temperatura, ao contrário reforçou a idéia de que esses conceitos eram iguais, pois quanto mais calor fornecido, mais se aumentava a temperatura registrada no termômetro.

Com relação às teorias que explicavam o calor, o desenvolvimento da termometria permitiu maior lucidez a essas teorias, pois proveu-as de instrumentos para investigação empírica e dessa forma forneceu dados que corroboraram suas hipóteses sem contudo eleger uma em detrimento da outra.

⁵⁸ Hoje com maior precisão dos termômetros essas medidas foram ligeiramente alteradas.



4. Joseph Black inaugura a calorimetria, distinguindo calor de temperatura e aprimorando os conceitos de calor específico e calor latente⁵⁹.

Um verdadeiro refinamento conceitual foi propiciado pelo médico, químico e físico Joseph Black (1728-1799) ao elaborar os conceitos de calor específico, calor latente e distinguir calor de temperatura; conceitos que até então, salvo algumas divagações, eram considerados semelhantes. Propondo inclusive um método, utilizado até hoje em escolas de ensino médio, de quantificação do calor recebido ou cedido por uma substância por meio da famosa Equação Fundamental da Calorimetria ($\Delta Q = m.c. \Delta T$). Ouso dizer que J. Black foi um “divisor de águas” no estudo de fenômenos térmicos (termodinâmica), devido às suas contribuições e significativa influência que exerceu sobre as gerações de estudantes britânicos e americanos, inclusive Benjamim Rush, um discípulo seu que se tornou o primeiro professor de química na América do Norte.

Joseph Black, este notável cientista, nasceu em Bordeaux, França e era descendente de irlandeses e escoceses. Foi educado em Belfast, Glasgow e Edinburgh. Seu trabalho de doutorado em medicina se constituiu numa grande contribuição à Química com a redescoberta do dióxido de carbono, mas na realidade suas próprias pesquisas foram direcionadas à física.

Joseph Black não publicou suas obras, transmitia-as em suas “lectures” ou conferências dada na Universidade de Edinburgh entre 1766-1797, onde foi professor. Essas conferências chamadas de “lectures on the elements of chemistry” foram publicadas em 1803 pelo professor John Robinson que lecionava Filosofia Natural na mesma universidade. É irônico, até, mas Black acreditava no calor como substância, essa teoria tornou-se obsoleta no século XIX, o que obviamente não ofuscou suas contribuições.

⁵⁹ Trabalho aceito para apresentação em sessão de comunicação no 8º Seminário Nacional de História da Ciência e da Tecnologia, realizado de 1 a 3 outubro de 2001 no Rio de Janeiro, R.J. com o título “Joseph



4.1 Elaboração do calor específico

Joseph Black era partidário da teoria do calor como substância, o calórico; chegando até a usar suas experiências para defendê-la, aceitava a idéia de que um corpo aquecia-se quando recebia calórico e resfriava-se quando o perdia. No entanto não concordava que o termômetro demonstrava a quantidade de calor existente num corpo, e demonstrou claramente que o calor era uma grandeza física distinta da grandeza demonstrada pelo termômetro. Lançando as bases da calorimetria. Refinou o conceito de calor específico⁶⁰, mostrando em suas experiências que o Dr. Boerhaave e o Professor Musschenbroeck estavam errados ao considerar que se os objetos numa sala apresentassem a mesma temperatura então o calor estaria distribuído igualmente por todo o volume desta sala e dos objetos. Através de suas lectures, Black observava que o calor difundia-se numa interação mútua até que a temperatura dos objetos fosse a mesma, mesmo que tomássemos mais de mil objetos de diferentes materiais, podendo estes serem metais, pedras, sal, madeira, lã, água, fluidos, etc. colocando-os numa sala, sem aquecimento e sem influências externas, estando eles inicialmente a diferentes “calores”, deixando-os juntos, no decorrer de um dia, os objetos mais quentes comunicariam o calor para os mais frios. Ao final, o termômetro apresentaria mesmo grau de expansão, demonstrando que o equilíbrio é universal. Black chamava isto de “equilíbrio do calor” e afirmava que o Dr. Boerhaave e o Professor Musschenbroeck tinham uma visão precipitada ao considerar que um mesmo volume de ouro, ar ou pluma teria a mesma quantidade de calor pelo fato do termômetro indicar o mesmo grau.

Em sua hipótese Joseph Black considerava, que a mesma temperatura atingida pelos termômetros nos vários objetos apenas indicava que o fluxo de calor havia cessado e não que ele estava igualmente distribuído, e também não que a quantidade de calor era proporcional a quantidade de matéria.

Para tanto utilizou-se da experiência atribuída a Fahrenheit, em que se mistura iguais quantidades de água a diferentes temperaturas e o equilíbrio acontecia na média

Black inaugurando a calorimetria com o desvelamento do calor específico, calor latente e a distinção entre calor e temperatura”.

⁶⁰ Cf. CASTRO, R. S. História e Epistemologia da Ciência: Investigando suas contribuições num curso de Física de segundo grau. 173f. Dissertação (Mestrado em Educação), FEUSP, São Paulo, 1993.



aritmética dessas temperaturas. Em exemplos numéricos, suponhamos água a 100° misturada a igual quantidade de água a 150° (naturalmente 150°F), a temperatura de equilíbrio que se atinge é a mesma encontrada pela média, ou seja, 125° . E que essa média não era observada quando se misturava iguais quantidades de água a 100° e mercúrio a 150° sendo o equilíbrio atingido a 120° ; portanto, a água aumenta apenas vinte graus, enquanto o mercúrio reduzia trinta graus em sua temperatura. Embora o mercúrio a 150° fosse mais denso que a água, ele produzia menos aumento de temperatura na água a 100° do que igual quantidade de água a 150° .

Mesmo invertendo a experiência, ou seja, colocando o mercúrio a uma temperatura menor que a da água, o resfriamento desta também não era obtido pela média das temperaturas iniciais do mercúrio e da água. A relação entre as quantidades de água e mercúrio que produzia o mesmo efeito era de dois para três (duas partes de água produziam o mesmo efeito que três partes de mercúrio).

Joseph Black demonstrava que a mesma quantidade de calor tinha (e até hoje sabemos que tem) mais efeito ao aquecer o mercúrio, ou então que para se atingir um mesmo número de graus o mercúrio requeria menor quantidade de calor, concluía que o mercúrio tinha menor capacidade para o calor. Para reforçar esse entendimento, Black conectava-o com o experimento de George Martin (1702-1741), médico das forças armadas britânicas na América, em que ele colocava iguais volumes de água e mercúrio equidistante de uma boa chama, considerando o fornecimento constante de calor, sendo, portanto, o calor absorvido proporcional ao tempo de exposição; com o decorrer do tempo notava que o mercúrio aquecia-se muito mais rapidamente que a água. Em seguida, colocava-os em uma corrente de ar frio e de maneira inversamente análoga, o mercúrio resfriava-se mais rapidamente. Ele também considerava que o ar retirava calor do mercúrio e da água com a mesma rapidez, ou seja, a uma taxa constante.

Joseph Black generalizou, dizendo que se tivéssemos mil materiais diferentes, porém, com mesma forma e tamanho e se colocássemos uma massa de ferro incandescente, supondo que todos os materiais aqueceriam de 20° , isto não irá significar que as quantidades de calor absorvidas fosse proporcional às suas densidades, pois cada material tinha a sua capacidade peculiar para a substância do calor, algo como uma força particular de atração. Conclui-se, portanto, que apesar de mesmo formato e até mesma massa de



substâncias diferentes estando à mesma temperatura elas contêm quantidades diferentes de substância de calor.

Com isso podemos dizer que a quantidade de calor absorvida por uma substância era proporcional a massa dessa substância multiplicada pela variação de temperatura:

$$\Delta Q \propto m \cdot \Delta T$$

E como fator de proporcionalidade teríamos o que Black denominou de capacidade para o calor (c) que como vimos é diferente para diferentes substâncias, ficando agora em forma de equação, como:

$$\Delta Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Hoje conhecida como equação fundamental da calorimetria, vale ressaltar que o termo c foi finalmente denominado de calor específico, usado até hoje, pelo sueco John Carl Wilcke (1732-1796).

4.2 Diferenciação de Calor e Temperatura

Com a relação à diferenciação de calor e temperatura, como dissemos a equivalência desses conceitos foi reforçada pelos termômetros, devido ao fato de a temperatura aumentar quando o objeto recebia calor, apesar de ser universalmente conhecido que havia um patamar no ponto de fusão e no ponto de ebulição, no entanto, não obstante a esse ponto fixo em que a temperatura se mantinha durante todo o processo de mudança de fase os cientistas acreditavam que a mudança de fase acontecia com pequena adição de “calor” e por isso não era percebida pelos termômetros. Para os cientistas desta época, já que calor e temperatura eram a mesma coisa, não havia sentido em transmitir calor e não se alterar o termômetro, portanto, a fusão e a ebulição só poderiam se processar com mínima adição de “calor” a qual não era perceptível pelos instrumentos.

E uma das contribuições de Black foi justamente refutar esta crença, Black acreditava que quando uma substância estava se fundindo, grande quantidade de “calor penetrava na substância” sem que esta se apresentasse mais quente e, portanto, não era detectada pelo termômetro que marcava sempre a mesma temperatura. E aí se fundamentava a afirmação de que calor e temperatura não eram a mesma coisa, nem

temperatura podia ser a medida do calor, apesar de existir uma relação entre esses dois conceitos, eles não expressavam a mesma idéia.

Um argumento extremamente forte de Black se baseava na observação da natureza, pois dizia ele que se fosse necessário uma pequena adição de “calor” para transformar gelo em água, então toda neve e gelo formados durante o inverno, seriam transformados em água, através do processo de fusão, quando recebessem o calor transmitido pelo ar durante os primeiros instantes da primavera, o que resultaria em enchentes de grande escala. Dessa forma, ficava evidente a diferenciação de calor e temperatura, esse fato observado na natureza subsidiou também a elaboração do conceito de calor latente.

4.3 Outra contribuição de Joseph Black: O Calor Latente.

Passaremos agora a relatar a elaboração do conceito de calor latente⁶¹, conforme as “lectures” de Joseph Black sugerem.

Ao contrário do que muitos imaginavam em sua época, Black afirmou que todos líquidos congelariam quando expostas a temperaturas apropriadas para isto, e que apesar de alguns líquidos como vinho e alguns óleos não terem se congelado, isto se devia ao fato de não terem sido expostos a temperaturas suficientemente baixas para o seu congelamento, e não que a liquidez lhes fosse uma qualidade essencial, mesmo porque eram poucos líquidos que não congelavam e isto não podia ser considerado uma anomalia em sua hipótese, também ainda não se teria idéia de qual seria a temperatura mais baixa possível, e o mais intenso frio já vivenciado seria muito pouco perto da menor temperatura.

Black, portanto era contrário à idéia dos filósofos de que a liquidez da água era concenente à sua natureza e que o congelamento se devia a introdução de algo, uma matéria estranha e sutil em sua composição, o próprio Professor Musschenbroeck, acreditava nisto dizendo não ser necessário uma determinada temperatura para o congelamento da água. Black acusou-o de se basear em raciocínios vagos e exortou-o a utilizar um bom termômetro para verificar que o congelamento se dava a um ponto fixo

⁶¹ Cf. CASTRO, R. S. op. cit.



(32°F), dizendo ainda que essa idéia se devia ao simples fato de vermos a água habitualmente no estado líquido em nosso ambiente.

Portanto, toda substância teria seu ponto de congelamento ou fusão, congelamento considerando a substância inicialmente líquida, fusão considerando a substância inicialmente sólida e que algumas substâncias necessitam uma temperatura alta para fundir-se e outras necessitariam baixas temperaturas para solidificar-se, haja visto as experiências com o mercúrio na Rússia por volta de 1760 em que a temperaturas inferiores a -38°F se tornava sólido e maleável.

Com relação à mudança de estado, conforme já dissemos, Black foi contra o que se admitia universalmente, pois acreditava-se que os sólidos tornavam-se líquidos apenas com uma pequena adição de calor, Black afirmou o contrário, ou seja, para os sólidos fundirem-se é necessário maior quantidade de calor do que para variar-lhes a temperatura, de maneira inversa, também existe maior perda de calor durante o congelamento do que durante a diminuição de sua temperatura. No entanto, essa perda no congelamento ou adição na fusão não influenciava o termômetro, não havendo diferenças sensíveis na temperatura da água produzida pelo derretimento do gelo que está se fundindo.

Para demonstrar sua hipótese Black montou o seguinte experimento:

Tomou dois finos glóbulos de vidro com 4 polegadas de diâmetro e de aproximadamente mesma massa. Num deles colocou 5 onças de água e resfriou até que formasse uma pequena massa de gelo, no outro glóbulo também colocou 5 onças de água e resfriou-a até atingir o ponto de congelamento, sem contudo congelar.

Deixou os glóbulos num local onde não havia influências externas e observou como se dava o aumento de suas temperaturas, considerando que os glóbulos recebiam calor a uma taxa constante, apresso-me a dizer que a temperatura a que finalmente chegou os glóbulos foi de 40°F, porém o que continha água a 32°F precisou de uma metade de hora para atingir essa temperatura, e o que continha gelo 32°F levou 21 metades de hora. Conclui, então, que a quantidade de calor recebida pelo gelo era 21 vezes maior que a recebida pela água para atingir a mesma temperatura final de 40°F.

Com isso Black sugere o Calor Latente de fusão, e com experimentos nos quais os líquidos vaporizavam a uma temperatura constante também propôs o termo Calor Latente só que agora Calor Latente de vaporização.



Justifica o nome de Calor Latente pelo fato dessa substância (lembremo-nos que Black era partidário do calórico) não ser percebida pelo termômetro, ficando oculta ou **latente** na composição das substâncias.

5. A Fricção como fonte de calor, colocando em cheque a Teoria Substancialista⁶².

Apesar de existir no início do século XVIII uma problemática de definição em relação ao conceito de calor, conforme já mencionamos, com a existência de duas teorias concorrentes, é inegável a supremacia adquirida no decorrer desse mesmo século da corrente teórica que concebia calor como substância, o fluido calórico (Teoria Substancialista do calor), fruto dos esforços de seus partidários em aumentar-lhe o poder de explicação, geralmente baseado em observações macroscópicas.

Também, conforme já citamos, o conhecimento do fato de que o atrito produzia calor, formando a outra corrente teórica, que concebia o calor como movimento; no entanto, essa Teoria Dinâmica tinha um poder de explicação mais restrito, porém, não obstante a essa restrição, ela seduziu um brilhante cientista, o americano Benjamin Thompson, a realizar novos experimentos.

Benjamin Thompson nasceu em Woburn, Massachusetts, em 1753 e mais tarde em 1793, recebeu o título de Conde de Rumford.

Rumford, cuja genialidade incomum o permitiu contribuir para vários aperfeiçoamentos tecnológicos. No entanto, o que nos interessa relatar são os experimentos realizados por ele no Arsenal Munique, após supervisionar o trabalho de calibração de canhões em que depois de moldados em ferro, os canhões deviam ser perfurados por uma broca, o que aquecia a ambos. O questionamento de Rumford era justamente esse ponto: de onde viria esse aquecimento excessivo? Segundo os caloristas o canhão se aquecia porque as lascas metálicas que eram arrancadas do cilindro de ferro expeliam seu fluido calórico que era transferido para o canhão aquecendo-o. Considerando verdadeira essa afirmação, era plausível supor que as propriedades físico-químicas das lascas deviam ser alteradas, o que não ocorreu, pois ao verificar o calor específico das lascas e o calor específico do

⁶² Trabalho aceito para comunicação em sessão de comunicação do III Encontro de Filosofia e História da Ciência do Cone Sul, realizado de 27 a 30 de maio em Águas de Lindóia, S.P., com o título: "Calórico, o princípio do fim: a fricção como fonte de calor iniciando a derrocada da teoria substancialista".

mesmo bloco metálico de onde essas lascas foram arrancadas pelo perfurador, encontrou o mesmo valor para ambos.

Dando asas ao seu ceticismo, Rumford numa segunda fase de seus experimentos utilizou-se de uma broca cega e com euforia confirmou suas expectativas, pois ao contrário do que dizia os caloristas a broca cega gerava mais aquecimento mesmo desgastando menos o bloco metálico.

Imergindo o equipamento em água para evitar a influência do ar notou que o calor gerado pela fricção entre o perfurador e o bloco metálico foi suficiente para fazer atingir o ponto de ebulição da água em algumas horas.

O Conde não conseguia descobrir a fonte de tanto calórico, quanto mais girava a broca, mais aquecimento produzia, algo incompreensível, pois o calórico não podia ser criado do nada, Lavoisier já havia dito que a quantidade de matéria que entra numa reação é a mesma que sai, nada se cria tudo se transforma, e Rumford escreve à Royal Society um texto questionando a natureza do calor amplamente aceito como fluido ígneo.

Mais abaixo, apresentaremos uma descrição desses experimentos com valores numéricos expressos pelo próprio Conde de Rumford num texto de 1798 apresentado a Royal Society.

Para demonstrar sua descrença na teoria do calórico, Rumford, lançando mão das melhores balanças da Europa, executou uma série de medições com o intuito de demonstrar que o calórico não tinha peso, o que não deveria ocorrer na teoria substancialista do calor (calórico), mas essa experiência específica não obteve sucesso, pois a comunidade científica da época já considerava uma série de fluidos imponderáveis, essa experiência apenas fez parte de inúmeras outras efetuadas por Rumford ao ataque à teoria do calórico.

5.1 A Verificação do calor específico das lascas metálicas

Realmente a mais significativa e intrigante questão era a origem do calor produzido pela fricção, fenômeno térmico inexplicável sob o ponto de vista do calórico. Em trechos de seu trabalho, apresentado a Royal Society, Rumford relata que estando encarregado da superintendência de perfuração de canhões numa oficina do Arsenal Militar

em Munique, impressionou-se com o considerável grau de calor que a peça metálica adquiria rapidamente enquanto era perfurada; e, com a temperatura que as lascas atingiam, comprovadas por ele como maior até a que a da água fervente. Esse fato incitou-o a investigar mais profundamente a natureza do calor, o que o levou a conjecturas razoáveis sobre a inexistência de um fluido ígneo, cuja existência, como vimos, dividia a opinião dos filósofos.

Segundo os Caloristas da época, o calor produzido viria das lascas metálicas que eram separadas do canhão pelo perfurador, ou seja, durante esse processo o calórico das lascas era transferido para o canhão fazendo-o se aquecer, se isso realmente acontecesse - de acordo com o conceito de calor Latente que se tinha na época - a capacidade para o calor (calor específico) das lascas deveria ser mudada devido a esse “gasto”, e essa mudança deveria ser suficientemente grande para justificar o calor gerado. No entanto, essa mudança não havia sido observada em suas verificações. O Conde de Rumford com o objetivo de verificar o calor específico das lascas e compará-lo com o calor específico do mesmo bloco metálico que as originou, procedeu da seguinte forma: separou por meio de uma serra muito boa, camadas (placas) do mesmo bloco metálico do qual as lascas haviam sido retiradas pela perfuração, tomando as placas cuidadosamente separadas numa quantidade de 1016,125 grains⁶³ (65,84 gramas) aquecendo-as até uma temperatura de 210°F (98,88°C) e colocando-as em 4590 grains (297,43 gramas) de água, cuja temperatura era de 59,5°F (15,27°C) incluindo nela uma compensação pela capacidade térmica do recipiente cilíndrico que continha a mistura. Deixada essa mistura por um minuto, a temperatura de equilíbrio térmico encontrada foi de 63°F (17,22°C). Para essa experiência o calor específico encontrado na placa metálica, por meio de cálculos, foi de 0,11 considerando o da água, 1,00.

Admitindo que as placas foram retiradas com uma serra fina e que esse processo não gerou aquecimento considerável, não havendo, portanto transferência (perda) de calórico das placas os resultados obtidos foram plausíveis. O intrigante, no entanto, foi que tomando 1016,12 grains de lascas, retiradas pela broca (num processo que gerou grande aquecimento) aquecendo-as até 210°F (98,88°C) e colocando-as em 4590 grains (297,43 gramas) de água a 59,5°F (15,27°C); um minuto após o equilíbrio estabeleceu-se em 63°F

⁶³ Unidade de medida determinada pela massa de um grão de trigo (1 grain = 0,0648 gramas).



(17,22°C), exatamente como na experiência com as placas e conseqüentemente o calor específico calculado foi o mesmo 0,11.

Cada uma das experiências, acima mencionadas, foi repetida três vezes e sempre os resultados obtidos foram aproximadamente iguais, não se podendo determinar qualquer alteração no calor específico das lascas, colocando em cheque a hipótese dos caloristas, que o grande aquecimento produzido no canhão - que estava sendo perfurado - provinha do calórico latente das lascas desprendidas do canhão e essa perda, conseqüentemente, devia alterar suas propriedades, o que definitivamente não foi observado, portanto o calor produzido pela fricção não poderia estar vindo das lascas.

5.2 Uma pequena quantidade de partículas metálicas gerando um grande aquecimento, mais uma incoerência da Teoria do Calórico.

Impulsionado pelo vislumbre de uma nova teoria (sobre os fenômenos térmicos) advinda dos dados surpreendentes de seus experimentos, Rumford prosseguiu, com o objetivo de demonstrar que o calor produzido pela fricção parecia inesgotável o que seria impossível na teoria substancialista do calor (Calórico), pois “um corpo não pode comunicar, continuamente, uma substância para outros corpos sem acabar inteiramente com essa substância. Uma esponja embebida em água e suspensa por um fio numa sala comunicaria sua umidade ao ar até ficar seca e isto não seria indefinidamente.”(BROWN in CASTRO, 1993, p. 49) utilizando uma broca cega (segundo os caloristas, as brocas afiadas aqueciam mais o metal porque o desgastava com maior eficiência) notou que esta produzia até mais aquecimento do que as brocas afiadas; desse modo, refutando a hipótese dos adeptos do Calórico.

No início do experimento, com a broca cega a temperatura do ar e do cilindro era de 60° F (15,55°C), pressionando a broca contra a extremidade do cilindro, com uma frequência de 32 rotações por minuto, ao final de 30 minutos (960 revoluções), usou um termômetro de mercúrio de 0,33 polegadas de diâmetro e 3,25 polegadas de comprimento, colocado num buraco feito, especialmente, para ele no cilindro e, após o experimento, o que se viu foi o mercúrio subindo quase instantaneamente a 130° F (54,44° C).

Ao término desse experimento, Rumford tirou o perfurador e, cuidadosamente, removeu e pesou as pequenas partículas de metal, encontrando, 837 grains (54,23 g). Desse modo, comprovando - mais uma vez - a incoerência da teoria do Calórico na explicação



desse fenômeno; pois, com uma pequena parte, apenas 837 grains, quase um milésimo (1/948) da massa do cilindro, ele pôde levá-lo a uma variação de 70° F quantidade de calor que também seria capaz de derreter 6,5 Lb. de gelo ou capaz de levar 5 Lb. de água gelada a ferver.

Vale ressaltar que o cilindro foi coberto com um pedaço grosso de flanela para evitar a transferência do calor nele gerado para o ambiente e também para evitar a interferência do ar no experimento.

5.3 Evitando a interferência do ar

Com o objetivo de evitar qualquer interferência do ar, Rumford realizou seus experimentos, com o equipamento imerso na água. Para isso usou uma caixa de madeira com as extremidades furadas para permitir o encaixe do eixo do perfurador (isso numa extremidade da caixa) e, na outra extremidade foi encaixada a parte do cilindro que estava em contato com a broca. A caixa foi preenchida com água, evitando-se qualquer vazamento. Para isso foram utilizadas tiras de couro, entre as extremidades furadas da caixa e o equipamento.

Mesmo com todo o equipamento imerso em 18,77 Lb. de água a 60° F e sendo colocado em movimento na mesma frequência do experimento anterior (32 rotações por minuto), o resultado induziu a mesma conclusão; pois, em 1 hora de funcionamento, um termômetro colocado na água acusou 107° F. Mais 30 minutos ou uma hora e meia depois de o maquinário ter sido posto em movimento, a temperatura era 142° F; em 2h e 20 minutos, atingiu-se 200° F e finalmente, em 2h e 30 minutos a água ferveu! Causando espanto, em todos os observadores, ao verem tanta água ser fervida sem fogo. Para Rumford, no entanto, não havia nada de espantoso, pois havia constatado esse fato, o que não o impediu de sentir um imenso prazer ao final de mais esse experimento, pois não só as 18,77 Lb. de água como também a caixa que continha o equipamento e a água e cujo peso (apenas da caixa) era de 15,125 Lb. sofreram variação de 150° F, indo de 60° F a 210° F (o ponto de ebulição da água em Munique é de 210°F). Não restou dúvidas a Rumford que terminou por concluir que o calor deveria ser um tipo de movimento, em suas próprias



palavra: “O que é calor? Existe alguma coisa como um ‘fluido ígneo’? Existe alguma coisa que pode propriamente ser chamada de Calórico?”.

E Rumford acrescenta:

Temos visto que uma considerável quantidade de calor pode ser produzida na fricção de duas superfícies metálicas, fornecidas num constante fluxo em todas as direções sem interrupções ou interdições e sem sinais de diminuição ou exaustão. De onde viria o calor que era continuamente liberado desta maneira, nos experimentos realizados? Foi ele fornecido pelas pequenas partículas de metal, tiradas dos corpos metálicos que foram postos a atritar? Isto, como vimos, não poderia ser o caso.

Foi ele fornecido pelo ar? Isto também não poderia ser; pois, em três, dos experimentos, o maquinário foi mantido imerso em água, o acesso do ar atmosférico foi completamente evitado.

Foi ele fornecido pela água que envolvia o maquinário? Que isto não poderia ter sido o caso é evidente: primeiro, porque a água estava continuamente recebendo calor do maquinário, não podendo, ao mesmo tempo, estar dando e recebendo calor de um mesmo corpo; e, segundo, porque não houve decomposição química de nenhuma parte da água. Tivesse alguma decomposição acontecido (o que não seria razoável de se esperar), um de seus componentes elásticos (provavelmente o ar inflamável) deveria ao mesmo tempo ter sido liberado; e, fazendo-os escapar para a atmosfera, teriam sido detectados; embora frequentemente examinando a água para ver se alguma bolha de ar subia através dela; e, feito preparativos para pegá-las e examiná-las, se algumas aparecessem, não se pôde perceber nenhuma; não houve sinal de decomposição de nenhum tipo, ou outros tipos de processos químicos ocorreram na água.

Seria possível que o calor tivesse vindo por meio da barra de ferro em cuja extremidade estava fixada a broca cega? Ou do encaixe por onde o cilindro perfurador se unia ao canhão? Essas suposições pareciam ainda mais improváveis do que as mencionadas anteriormente, pois o calor fluía para fora continuamente por essas duas passagens durante todo o tempo que durou a experiência.

Em razão deste trabalho e não devendo esquecer de considerar o fato mais marcante: a fonte de calor gerada por esses experimentos, parecia evidentemente ser inexaurível. Faz-se necessário admitir que qualquer coisa que um corpo isolado ou um sistema de corpos pode fornecer continuamente, sem limite, não poderia ser uma substância material, e me parece extremamente difícil, senão impossível conceber uma idéia de algo capaz de ser produzido e comunicado da maneira como o calor era produzido e comunicado, nestes experimentos, se ele não fosse Movimento(...)

Mas, embora os mecanismos do calor poderiam, de fato, ser um dos mistérios da natureza que estão além do alcance da inteligência humana, isto não nos deveria desencorajar ou mesmo diminuir nosso entusiasmo em tentativas de investigar as leis de sua operação. Quão longe podemos avançar nos caminhos que a ciência nos abre antes de nos encontrarmos envolvidos na densa névoa que, por todos os lados, permeia os horizontes

do intelecto humano? Mas quão amplo e quão interessante é este campo que nos foi dado para explorar!

Ninguém, em seu juízo perfeito, tem fingido entender os mecanismos da gravitação; e ainda que sublimes descobertas, nosso imortal Newton foi incapaz de fazer, apenas por investigar, as leis de sua ação!(...)

Antes de terminar este artigo, faço questão de observar, que, embora tratando esse assunto que tenho investigado, eu não mencionei os nomes daqueles que trilharam o mesmo caminho antes de mim, nem o sucesso de seus trabalhos, esta omissão não foi resultado de não querer respeito para com meus predecessores, mas foi somente para evitar ser prolixo e ter mais liberdade de perseguir, sem interrupção, o percurso natural de minhas próprias idéias.(RUMFORD In LINDSAY, p. 223-225).

Humphry Davy (1778-1829), também realizou uma experiência, na qual atritava dois pedaços de gelo num recipiente mantido a uma temperatura abaixo do ponto de fusão do gelo. O que observou foi a fusão de parte do gelo, devido ao aquecimento provocado pelo atrito, mas a dúvida era: se os pedaços de gelo estavam na mesma temperatura, segundo a teoria do calórico, deveriam ter quantidades iguais de calórico, de onde teria surgido o calor que provocou a fusão?

Não obstante a relevância de suas experiências e conclusões, muitos cientistas continuaram acreditando na Teoria do Calórico e também não se pode dizer que Rumford após seus experimentos aceitasse a Teoria Dinâmica na íntegra, o que fez foi elaborar um modelo em que o calor se transferia de um corpo a outro mediante a vibração de um meio etéreo, analogamente à propagação do som.

Rumford também admita existência do frio como algo contrário ao calor, da mesma forma que era possível transmitir “raios caloríficos”, também era possível transmitir “raios frigoríficos”, concepção totalmente inaceitável atualmente, inclusive Joseph Black em suas “lectures” já se mostrara contrário a essa idéia.

A Teoria Ondulatória proposta por Rumford e Davy, na qual o calor era transmitido através das vibrações de um meio imponderável e elástico, pode ser considerada como uma transição entre a teoria substancialista e a moderna concepção de calor como uma forma de energia.



6. Calor como uma forma de energia

Apesar dessas experiências colocarem a teoria substancialista em perigo, pois não havia explicação convincente para esses fatos, Rumford e Davy não tiveram muito êxito em estabelecer esta teoria alternativa, que por sua vez, também estava distante da atualmente aceita, e mesmo após as experiências Rumford e Davy, muitas publicações demonstraram que o calórico estava mais difundido que nunca. Foram necessários quase 50 anos para que uma nova teoria emergisse, resultado de esforços de vários cientistas entre os quais destacamos Carnot, Mayer e Joule, culminando com a publicação de um artigo sobre a conservação da energia, de Helmholtz em 1847.

Esta passagem evidencia o apego dos cientistas aos modelos que estudaram ou que ajudaram a elaborar, mesmo diante de contra-evidências consideráveis. Revela também, que o saber científico é produzido coletivamente e precisa ser aceito socialmente, algo que depende de muitos esforços para a formação de um consenso.

Em 1824, o jovem engenheiro francês Nicolas Leonard Sadi Carnot (1796-1832), filho de Lazare Carnot, ministro de Napoleão, publicou um pequeno livro de reflexões sobre a potência motriz do fogo e sobre os meios adequados de desenvolvê-la, vale ressaltar que seus trabalhos se constituíram em contribuições significativas à termodinâmica.

É interessante notar que Carnot acreditava, inicialmente, na teoria substancialista do calor, mais especificamente na teoria da conservação do calórico, pois seu trabalho se baseia em uma analogia que fez entre o fluxo do calórico e uma queda de água que impulsiona um moinho, ou seja, quanto mais água em queda, maior a potência motriz, portanto, analogamente quanto maior a quantidade de calórico em trânsito, maior a potência motriz da máquina térmica.

Com essa analogia e a convicção no princípio de conservação do calórico, Carnot chegou a uma conclusão equivocada, acreditava que a quantidade de calórico que era fornecida pela caldeira a altas temperaturas, era igual à quantidade de calórico que era recebida pelo condensador, sendo a potência motriz determinada pela diferença de

temperatura entre a caldeira e o condensador, quanto maior a diferença de temperatura, maior a quantidade de calórico transferido, maior a potência motriz da máquina.

Como adepto da teoria do calórico, sugeriu que o fluxo de calórico da fonte quente à fonte fria transforma sua “potência motriz” em trabalho mecânico, da mesma forma que uma queda d’água impulsiona as pás de um moinho. A água no alto possui mais potência motriz do que embaixo, e a diferença é transformada em trabalho mecânico nas pás. O calórico tem mais potência motriz na fonte quente do que na fria, e ao “cair” transforma essa diferença em trabalho mecânico. Argumentou ainda que no caso da roda de moinho importam o volume de água e a altura da queda, e portanto na máquina térmica o volume de calórico e a diferença de temperatura entre as fontes quente e fria são os elementos relevantes. (QUADROS, 1996, p. 59-60).

Carnot concluía que a potência motriz não dependia dos elementos da máquina, mas sim das temperaturas das fontes entre as quais se fazia o transporte de calórico.

Mesmo fundamentado em conceitos obsoletos, chegou a conclusões corretas que revolucionaram o pensamento da época, pois empiricamente constata-se que as diferenças de temperatura entre as fontes é determinante, desacreditando aqueles que buscavam maior eficiência na substituição do vapor de água por outra substância.

Carnot demonstrou que a máquina mais eficiente deveria operar entre as fontes quente e fria num ciclo reversível, que ficou conhecido como “Ciclo de Carnot”. Neste ciclo, um cilindro contendo um gás confinado e um êmbolo, era colocado em contato com uma fonte quente, Carnot advertia que o gás deveria estar na mesma temperatura que a fonte para, dessa forma, não ter perda de potência motriz.

O ciclo compreende quatro fases:

- 1) Ao receber calor de uma fonte quente, o gás não se aquece, mas se expande isotermicamente realizando trabalho mecânico.
- 2) Distancia-se a fonte quente e, sem receber nem ceder calor ao meio externo, se expande adiabaticamente, resfriando-se⁶⁴ e chegando até a temperatura da fonte fria, realizando trabalho durante toda a expansão.
- 3) Colocado em contato com a fonte fria, o gás é comprimido isotermicamente sendo realizado trabalho sobre o gás.

- 4) Distancia-se a fonte fria com gás sofrendo a compressão, mas agora adiabaticamente, o que faz aumentar sua temperatura até pretensamente se igualar à temperatura da fonte quente, e, assim, novo ciclo tem início.

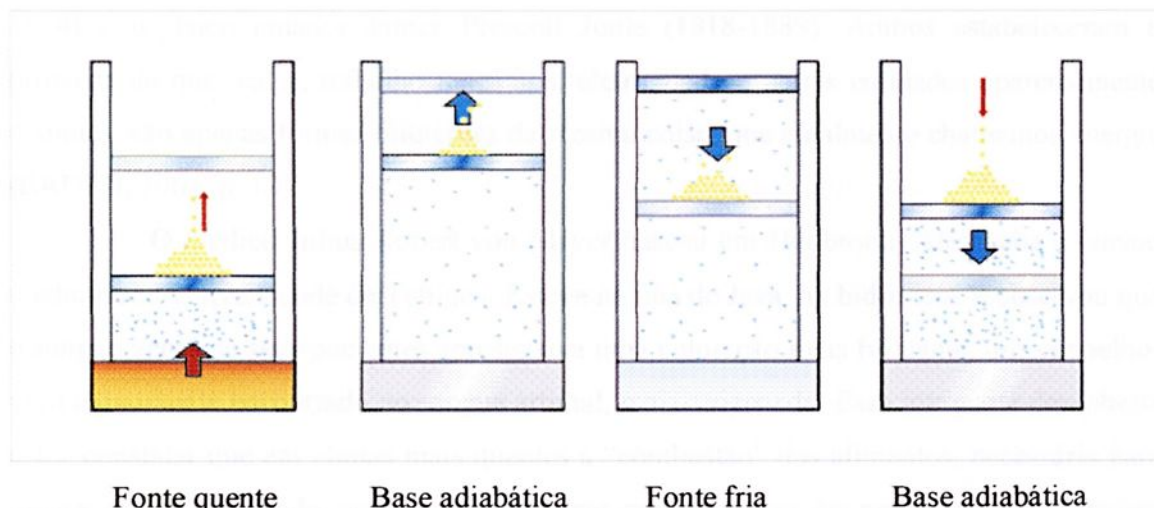


Figura 11: As fases do ciclo de Carnot.

Posteriormente, Carnot rejeitou suas convicções, inclusive sua crença no princípio de conservação do calórico que fundamentava seu livro de reflexões sobre o poder motriz do calor (fogo).

Tornou-se partidário da teoria dinâmica do calor, admitindo-o como resultante do movimento interno das partículas de um corpo. Em sua relação com as máquinas térmicas, chegou a conceber calor como movimento que mudou de forma, ou seja, admitia que o calor poderia ser destruído, em seu lugar, surgia o movimento e vice-versa, o movimento poderia ser convertido em calor iniciando, dessa forma, um raciocínio que traçava uma equivalência entre calor e movimento, ou ainda, o “equivalente mecânico do calor”. Como outro exemplo, desse raciocínio, podemos citar Dulong que, em 1819, demonstrou a proporcionalidade entre o trabalho realizado sobre um gás e o calor

⁶⁴ Atualmente numa expansão adiabática ocorre a diminuição de temperatura, devido à diminuição da energia interna das partículas do gás, a energia cinética das partículas do gás diminui, pois é convertida em trabalho.

resultante, ou seja, ao se comprimir rapidamente um gás, produzia-se um aquecimento proporcional ao trabalho mecânico realizado.

Energia o princípio de conservação de energia, chamada de força naquela época, esse princípio foi proposto independentemente por diversos cientistas entre 1842 e 1847, ficando a maior parte dos créditos com o médico alemão Julius Robert Mayer (1814-1878) e o físico amador James Prescott Joule (1818-1889). Ambos estabeleceram a proposta de que: calor, trabalho mecânico, eletricidade e outras entidades aparentemente distintas, são apenas formas diferentes da mesma coisa, que atualmente chamamos energia (BRUSH, 1965, p. 19).

O médico Julius Robert von Mayer nasceu em Heilbronn, Alemanha e cursou medicina na Universidade de Tubigen. Esteve na ilha de Java, na Indonésia, e observou que o sangue venal de seus pacientes apresentava uma coloração mais brilhante, um vermelho-vivo comumente encontrado no sangue arterial, mais oxigenado. Essa intrigante descoberta o fez constatar que em climas mais quentes a “combustão” dos alimentos, necessária para manter o corpo aquecido, ou seja, para fornecer calor ao corpo, era menor do que em países de clima frio, por isso o corpo necessita de menos oxidação, o que resulta em mais oxigênio no sangue de habitantes de países quentes.

Mayer publicou suas constatações em 1840, imaginando que o corpo retirava “força”, ainda não era usado o termo energia, dos alimentos e a transformava em energia mecânica nos músculos ou em calor pelas reações de oxidação do sangue, dessa forma, Mayer chegou à idéia de transformação. Essa idéia o empolgava e ele chegou a levantar a hipótese de que essa “força” seria constante no universo, sendo transformada nos processos físicos e químicos.

A questão era agora buscar o fator de conversão, já que trabalho mecânico podia ser transformado em calor, quanto trabalho mecânico deveria ser suficiente para produzir um determinado aquecimento em uma amostra de água?

Mayer chegou a fornecer um equivalente mecânico para o calor, sendo $1 \text{ cal} = 3,65 \text{ Joules}$ (em valores atuais), mas suas experiências foram recusadas, seus trabalhos foram consideradas especulativos com pouca evidência experimental, apesar de ter sido o primeiro a estabelecer o Princípio de Conservação de Energia, talvez por ter enfatizado a generalidade filosófica do princípio, não conseguiu convencer a comunidade acadêmica da

época e a idéia da conservação de energia, ganhou força com outro cientista, James Prescott Joule, que providenciou inúmeras verificações experimentais, em casos particulares envolvendo transformações de energia.

Joule é um cientista bastante conhecido, nascido em Salford, na Inglaterra, devido a uma infância debilitada que o impedia de levar uma vida ativa, encontrou nos livros um refúgio, seu pai, um rico cervejeiro, oferecia-lhe os melhores tutores.

Essa condição o fez interessar-se por Ciência mesmo herdando a cervejaria não colocou os negócios em primeiro lugar.

Como consequência de sua dedicação, a comunidade científica por ocasião da criação do Sistema Internacional de Unidades (S.I.)⁶⁵, determinou que a medida padrão de energia deveria ser o Joule, numa homenagem a seus trabalhos para determinar o equivalente mecânico do calor.

Joule baseando-se na primeira lei da mecânica, também conhecida como Lei da Inércia, a qual diz que um objeto deve manter sua velocidade constante e retilínea, desde que nenhuma força externa atue sobre ele. Assim a energia cinética do objeto permanece constante, desde que este esteja livre da ação de forças externas.

Em situações reais, porém, existe a impossibilidade de isolar um objeto de forças externas e, por exemplo, quando um objeto desliza sobre um plano é desacelerado até parar, devido à atuação de uma força, o atrito. A questão é justamente o que teria acontecido à energia cinética? Teria sumido.

Joule acreditava que a energia não havia sumido, mas tinha sido convertida em calor, como adepto do atomismo, ele concebia que o movimento da bola no chão seria gradativamente transferido às partículas que constituíam a bola e o chão. Assim, não havia perda de energia cinética, mas transformação, resultando em movimento desordenado dos átomos e moléculas da bola e do solo, aquecendo a ambos.

Joule prosseguiu realizando experimentos, nos quais verificava que a passagem de corrente elétrica por um fio condutor também podia ser convertido em calor ($P = R.i^2$, fenômeno conhecido como efeito Joule), segundo Quadros (1996), Joule considerou que o carvão em brasa produzia calor através de uma reação química com o oxigênio, assim,

⁶⁵ Até 1960, não havia medidas padrão, existindo diversos sistemas de medidas, com o intuito de padronizar as medidas a 11ª Conferência Geral de Pesos e Medidas criou o Sistema Internacional de Medidas (S. I.), em 1971 na 14ª Conferência Geral de Pesos e Medidas foram selecionadas as unidades básicas do S. I.



imaginou que uma quantidade de energia de qualquer natureza pode ser convertida em mesma quantidade de calor.

Uma de suas experiências mais famosas consistia num recipiente fechado, contendo um eixo giratório com algumas placas ou pás que também giravam, imersas no líquido, a queda de dois pesinhos fazia girar o eixo giratório, pois estava conectado a ele através de fios. Com isso, Joule demonstrou que a atração gravitacional exercida em 817 lb. por uma distância de um pé, em uma libra de água, provoca um aquecimento de 1° F nessa quantidade de água.

Joule determinou que $1 \text{ cal} = 4,2 \text{ J}$, apesar de sua genialidade, também encontrou alguma dificuldade para implantar suas idéias no meio científico, encontrando respaldo e admiração apenas de um jovem, William Thomson (1824 – 1907) que mais tarde se tornaria o Lorde Kelvin.

Inicialmente Kelvin não concordara com as conclusões de Joule, mas ao continuar ouvindo suas explicações percebeu que seu trabalho trazia uma descoberta digna de nota. Apesar da desconfiança de outros cientistas que alegavam que Joule tirava conclusões muito abrangentes, de efeitos pequenos, ou seja, os resultados eram baseados em frações de grau de temperatura, mas Kelvin achava notável a habilidade de Joule conseguir essas frações com exatidão e trabalhou no desenvolvimento formal dos trabalhos de joule.

Kelvin nasceu em Belfast, Irlanda, estudou nas universidades de Glasgow e Cambridge, sua notória contribuição foi o estabelecimento, em 1848, de uma escala absoluta⁶⁶ de temperatura, o zero dessa escala é considerado absoluto, pois, teoricamente é o estado em que cessa toda agitação atômica, ficando o ponto de fusão da água com a temperatura de 273,15 K (aproximado para 273 K e que corresponde a 0°C e a 32°F)⁶⁷ e o ponto de ebulição 373,15 K (aproximado para 373 K e que corresponde a 100°C e a 212°F), portanto, a escala Kelvin também é uma escala centígrada. Outra característica notória é que a escala Kelvin, não apresenta o símbolo de grau (°).

⁶⁶ Uma escala é considerada absoluta quando o zero é um estado teórico determinado pela ausência total de energia térmica, ou seja, de energia cinética, no zero desta escala supõe-se que cessa toda a vibração atômico-molecular e este zero fica, então conhecido como **Zero Absoluto**.

⁶⁷ Atualmente o ponto de fusão da água é 0,01°C ou 273,16K e ebulição 373,16K, determinados por um termômetro de gás a volume constante.



Talvez por essas características e por ter sido concebida num contexto termodinamicamente mais avançado, a escala Kelvin foi adotada pelo Sistema Internacional de Unidades (S.I.).

Conforme citamos acima, um importante marco na história da Termodinâmica se configurou com a publicação, em 1847, do artigo: “A conservação da força”, que na verdade deveria ser “A conservação da energia”, mas o termo energia ainda não era utilizado, este artigo foi considerado o mais famoso de Hermann Ludwig von Helmholtz (1821 – 1894).

Os princípios básicos em que Helmholtz se baseia são: 1) não é possível produzir uma quantidade ilimitada de energia mecânica (no original está força mecânica). 2) Todas as ações da natureza podem ser explicadas em termos de forças atrativas e repulsivas entre pontos, dependendo da distância entre estes pontos. (HELMHOLTZ, 1965, p. 89).

Neste artigo, Helmholtz considera que o objetivo da Física Teórica é explicar todos os fenômenos naturais em termos de movimento das partículas materiais exercendo forças umas sobre as outras. O primeiro princípio seria a conservação da *vis viva* (força viva), ou seja, o trabalho realizado contra a força da gravidade, para suspender um objeto de massa m a uma determinada altura h , é $m.g.h$, esse objeto caindo dessa mesma altura h adquire uma velocidade $v = \sqrt{2gh}$ (desconsiderando a resistência do ar), portanto, sua “força viva” é: $\frac{1}{2} mv^2 = m.g.h$, conclui-se que a soma da energia potencial e a energia cinética, em qualquer sistema de partículas permanece constante, e a isto Helmholtz chamava de “Princípio de conservação da força” (energia, atualmente).

Ao se questionar se calor seria equivalente a força (energia), responde citando os experimentos de Rumford, Joule e outros em que o movimento produzia calor, conclui que calor é realmente uma forma de movimento molecular, sendo suscetível aos princípios de conservação apresentados acima.

A implicação dessa conclusão resultou na 1ª Lei da Termodinâmica: cujo enunciado é simplesmente: Em um sistema isolado, a energia total permanece constante, e a expressão matemática fica:

$$Q = \tau + \Delta U$$



Em que: Q = quantidade de calor.

τ = trabalho.

ΔU = energia interna do sistema.

Portanto, o Princípio da Conservação da Energia na Termodinâmica é conhecido como Primeira Lei da Termodinâmica.



CAPÍTULO V

ATIVIDADES PROPOSTAS



Propostas de Atividades para o Ensino e Aprendizagem de alguns tópicos de Termodinâmica.

Tornar significativo o aprendizado da Física, enquanto área de conhecimento, é necessário à formação científica das pessoas, independentemente do futuro profissional delas depender ou não diretamente da Física, tendo também como meta a acessibilidade de novos conceitos para a compreensão formal e consistente dos mesmos. Desse modo, qualquer cidadão terá condições de utilizá-los para elaborar interpretações relativas às situações de relevância social, assim como ter condições de aplicar o conhecimento científico em sua vivência e, também, em outras situações.

De acordo com o GREF⁶⁸ o caráter prático-transformador e o caráter teórico-universalista da Física não são traços antagônicos, mas, dinamicamente complementares. A compreensão dessa complementaridade pode evitar a abordagem “tecnicista” e também o tratamento “formalista”.

Dessa forma, podemos avaliar, com maior profundidade, as críticas aos cursos de Física, considerados distantes demais ou até desligados dos fenômenos e das situações que constituem o universo das pessoas, e em particular dos alunos, portanto, se houver um

⁶⁸ Grupo de Reelaboração do Ensino de Física (GREF). São Paulo: Edusp, 1999.



esforço de se vincular os conteúdos ao universo das pessoas, se houver uma aproximação entre as abstrações do conhecimento científico e sua possibilidade de aplicação em situações reais e concretas, a formulação dos princípios gerais da Física terá a consistência garantida pela percepção de sua utilidade e de sua universalidade.

A aproximação do Conhecimento Científico com o cotidiano das pessoas pode confrontar os conhecimentos prévios (senso comum) e os conteúdos apresentados pelo professor. Essas situações, se forem ignoradas, resultarão muito provavelmente em duas estruturas de conhecimentos paralelas, que fornecerão duas interpretações para um mesmo fenômeno. Uma dessas interpretações, utilizando as Leis da Física, será usada apenas em situações de prova, ou de exercícios, e a outra interpretação - utilizando o senso comum - será utilizada em situações cotidianas. No entanto, conforme observação feita pelo GREF (1999, p.15-16), a Física como instrumento, para a compreensão do mundo, possui uma beleza conceitual ou teórica, que, por si só pode tornar seu aprendizado agradável. Devemos nos esforçar para não comprometer esse instrumento de compreensão com a confusão comum que se faz entre a Física e o instrumental matemático que ela utiliza, pois, geralmente os alunos são expostos ao aparato matemático-formal antes de compreenderem significativamente os conceitos, sendo que, em nosso entender, apenas após essa compreensão é que se deveria recorrer à matemática para quantificação e dimensionamento dos fenômenos. E, dessa forma, fechar o ciclo, em que o aluno partindo da linguagem coloquial, de senso comum, na qual não se faz diferenciação dos conceitos de calor, temperatura, calor sensível, calor latente, etc., passe para uma linguagem científica⁶⁹, em que cada um desses conceitos tem um significado específico e também são relacionados com uma linguagem matemática que os dimensiona. Portanto, o domínio das linguagens, científica e matemática, deve ser o objetivo de um curso de Física em nível médio. Infelizmente não observamos esse domínio nos alunos egressos do ensino médio.

Uma possível maneira de se evitar essa deficiência seria a problematização, ou seja, apresentar questões e situações para discussão com os alunos, utilizando uma linguagem comum ao professor e ao aluno. Essa situação deverá estar contida no universo de vivência de ambos, conforme está devidamente explícito no Capítulo I deste trabalho. Devemos partir da prática social, como pressupõe a Pedagogia Histórico-Crítica, ainda

⁶⁹ Cf. CARVALHO, A. M. P. et al, **Termodinâmica**: um ensino por investigação. São Paulo, Edusp, 1999.



conforme Carvalho: "... é importante que uma atividade de investigação faça sentido para o aluno, de modo que ele saiba o porquê de estar investigando o fenômeno que a ele é apresentado" (CARVALHO et al., 1999, p.43).

De acordo com Edgar Morin, cujas idéias consta no Capítulo II, procuraremos deixar claro que um fenômeno natural deve ser entendido em sua complexidade, em que cada área do conhecimento humano deve distinguir os aspectos que lhe são concementes, jamais os isolando e os separando entre si. Este é o cerne do pensamento complexo: "distinguir, mas não separar".

As idéias de Morin estão de acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), cujo terceiro volume que trata das Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias, propõe: no ensino médio, os educadores devem ter como objetivo, desenvolver e seguir duas grandes vertentes, uma relativa aos saberes específicos da disciplina, no nosso caso da Física, com seu objeto de pesquisa seus procedimentos científicos e com sua didática específica, aprofundando os saberes desta área particular. A outra vertente, relativa à articulação dos conhecimentos da Física com o conhecimento de outras áreas do saber humano como, por exemplo, Biologia, Química, etc., formando o "complexus" apresentado no Capítulo II e que nos permite uma visão global, sistêmica, dos processos e fenômenos naturais.

Ocupando-nos com esses pressupostos, lançamos a proposta de trabalhar a Física Térmica ou Termodinâmica, utilizando como tema gerador o fenômeno extremamente importante para a manutenção da vida no planeta: o Efeito Estufa e a problemática do aquecimento global para que, dessa forma, possamos desvelar os conceitos de calor (seus efeitos sensível e latente) e de temperatura. Com isso pretendemos ajudar a esclarecer a confusão feita pelo senso comum entre esses dois conceitos.

Para as atividades que pretendemos propor, julgamos necessárias algumas orientações e comentários, inclusive sobre a teoria, para o professor.

Quadro de orientações fundamentais ao professor (página seguinte):



Competência do (a) professor (a)	Objetivos	Atividades
- Estar embasado na proposta metodológica da Pedagogia Histórico-Crítica (Capítulo I). - Entender o fenômeno Efeito Estufa, compreendendo sua importância e reconhecer os riscos de sua intensificação (Capítulo III). - Buscar nos meios de comunicação reportagens e informações sobre o aquecimento global. - Compreender a história da evolução do termômetro e reconhecer a importância do desenvolvimento da termometria (Capítulo IV). - Compreender alguns aspectos da evolução dos conceitos de calor e temperatura (Capítulo IV).	-Demonstrar que os conteúdos escolares podem estar vinculados às práticas sociais, dando contexto aos conteúdos. -Estar ciente de um fenômeno natural, o efeito estufa, de sua importância, como ele se processa e quais suas implicações; -Constar a ineficiência do corpo como um medidor de temperaturas; -Compreender a tendência universal ao equilíbrio térmico; -Conhecer aspectos importantes da evolução do termômetro, propiciada pela propriedade termométrica da dilatação das substâncias, com destaque para a arbitrariedade na escolha das escalas termométricas;	-Leitura da reportagem de jornal; -Esclarecimentos e discussões sobre o fenômeno; -Questionário sobre concepções prévias proposto na aula 1; -Experimento sobre sensações térmicas; -Leituras de textos históricos sobre importantes passagens da história da termodinâmica; -Construir um termoscópio; -Primeira experiência de Joseph Black para estabelecer o calor específico das substâncias; -Experimento para diferenciar Calor e Temperatura; -O experimento proposto no item anterior também será aproveitado como atividade para introduzir o conceito de calor latente;

Competência do (o) professor (a)	Objetivos	Atividades
- Compreender o estágio atual do conceito físico de calor e temperatura (teoria cinético-molecular) e suas explicações para os fenômenos: aquecimento (conceito de calor sensível), dilatação térmica, mudança de estado (conceito de calor latente), etc. - Conhecer as concepções prévias dos alunos quanto aos conceitos de calor e temperatura; - Observar que, no tópico Transmissão de Calor, apesar de muitos materiais didáticos colocar a irradiação de calor como um processo marginal de transmissão, ou de interesse secundário, ocorre justamente o contrário: isto é, ela (irradiação) é primordial.	- Como consequência do item anterior, compreender o que é temperatura; -Compreender a relação entre quente e frio; -Conhecer as teorias existentes nos séc. XVII e XVIII sobre a natureza do calor; -Compreender a concepção atual sobre calor; deixando em aberto a possibilidade de futuras modificações, apresentando, dessa forma, o caráter evolutivo da Ciência. Rompendo com a idéia mitificada da Ciência como “redentora da humanidade”; - Entender o significado de calor específico de uma substância; - Estar ciente dos processos internos que ocorrem quando uma substância muda de estado;	- 1º Experimento sobre o comportamento anômalo da água: volume do gelo antes e após a fusão; - 2º Experimento sobre o comportamento anômalo da água: o regelo; - Discussão sobre o derretimento de geleiras e icebergs e o aumento do nível do mar. Apresentação do quadro 02 (Cap.III), sobre as alterações observadas no planeta Terra no séc. XX e do gráfico 02 (Cap. III), sobre a estimativa do tempo de normalização do nível do mar. -Experiências sobre transmissão de calor: condução, convecção e irradiação; -Contextualização das formas de transmissão de calor no ambiente planetário (ex: formação de brisas e furações, “frentes frias”, etc.)

--	--	--

Competência do (a) professor (a)	Objetivos	Atividades
- Contextualizar os conceitos físicos no fenômeno Efeito Estufa e no cotidiano, considerando a Complexidade dos fenômenos e a coexistência de aspectos de outras áreas do conhecimento científico (Capítulo II).	-Identificar a existência das formas de transferir energia de um sistema para outro; -Identificar no Efeito Estufa, todos os fenômenos térmicos abordados: transmissão de calor, aquecimento global, derretimento de geleiras, expansão volumétrica dos oceanos, etc. voltando para a problematização inicial devidamente “instrumentalizado”, numa visão do fenômeno como “síntese de múltiplas determinações”, fechando o ciclo metodológico.	-Experimento complementar sobre irradiação: o coletor solar; -Durante o decorrer das atividades serão propostos exercícios e leituras complementares, Preferencialmente extraídas do livro “Física”, vol.2 (GASPAR, 2000) e GREF, (1999).

Atividades:

Nas leituras dos textos que tratam do fenômeno conhecido como Efeito Estufa, uma das informações onipresente são as temperaturas médias do planeta atualmente, o quanto elas aumentaram e as projeções para as próximas décadas, aproveitando este assunto, propomos iniciar com a termometria.

O desenvolvimento da termometria no século XVI foi necessário, pois até então o homem dependia do tato para aferir a temperatura dos objetos, porém o corpo humano não é um bom medidor de temperaturas. Francis Bacon, em 1620, publica uma obra⁷⁰ em que ele adverte os cientistas da época a não se deixarem levar pelas sensações físicas. Existe uma experiência simples que pode evidenciar esse fato, iremos observá-la no momento adequado. Portanto, passaremos a fazer nossas proposições para as aulas:

1ª aula:

Para a primeira aula, devemos apresentar o tema e distribuir uma cópia do texto extraído do jornal “O Estado de S. Paulo” (1º dez. 1997), um item, cujo subtítulo é “O que é o fenômeno efeito estufa? Ele pode causar danos ao homem?”. Este item compõe uma reportagem geral intitulada “Tudo o que você precisa saber para entender o efeito estufa”. Após a leitura do artigo, uma explicação adicional resumida e com esquemas, por parte do professor se faz necessária (ver Capítulo III).

Na página seguinte um recorte de jornal demonstra um esquema das parcelas da radiação solar que atinge a Terra, a parcela absorvida e refletida.

⁷⁰ Cf. Capítulo V.



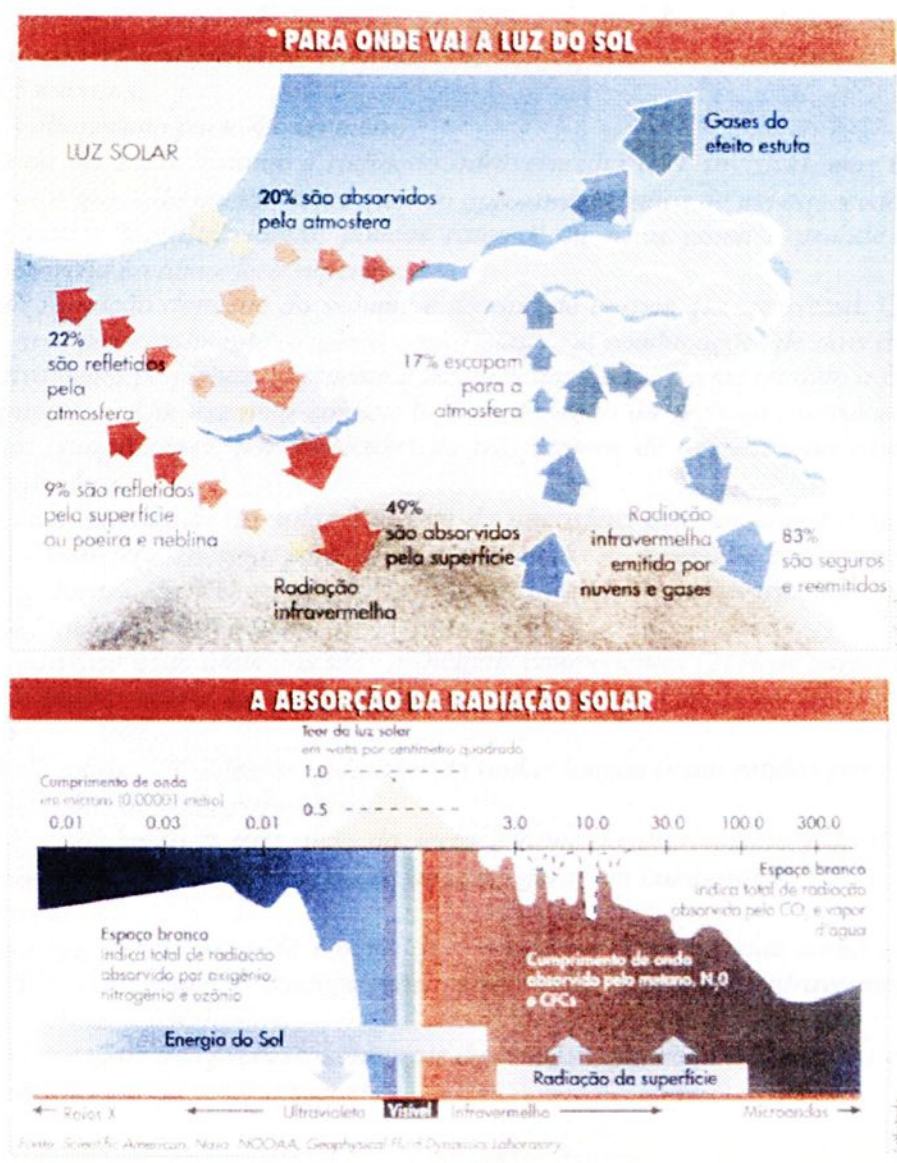


Figura 12: esquema da radiação solar incidente e refletida que acompanha a reportagem (transcrita abaixo), “O que é o fenômeno efeito estufa? Ele pode causar danos ao homem?”

O termo refere-se ao modo como certos gases retêm calor na atmosfera, mais ou menos como vidro impede que o ar quente escape de uma estufa. O aumento desse efeito pela atividade humana – não o efeito em si, que é perfeitamente natural – preocupa os especialistas. A Terra, a 148 milhões de quilômetros de sua fonte de energia, o Sol, seria cerca de 33 graus mais fria se certos gases da atmosfera não retivessem calor. Em vez de uma temperatura anual média de 15,5 graus centígrados, teríamos 18 graus negativos. Provavelmente, a existência de vida no planeta deve-se ao efeito estufa.

É assim que funciona: metade da luz solar que atinge a atmosfera do planeta vem sob a forma de radiação eletromagnética chamada luz visível, com um comprimento de onda máximo de 0,5 microns.

Um micron é milionésima parte de um metro.

Grande parte da luz solar restante é radiação infravermelha (IV), invisível, mas indutora de ondas de calor que todo mundo sente quando aproxima as mãos de um aquecedor. A luz solar contém pouca luz ultravioleta, poucos raios X ou raios gama e grande parte é filtrada por absorção na atmosfera superior.

A absorção da radiação depende do volume e do tipo de corpos que atravessa. Como as moléculas de ar – principalmente oxigênio e nitrogênio em combinações de dois átomos – são comparativamente pequenas, capturam a maioria das ondas curtas quando a luz solar atravessa a atmosfera. Um exemplo conhecido é a absorção da radiação ultravioleta, de 0,3 microns de comprimento, por moléculas de três átomos de oxigênio, na camada de ozônio da estratosfera.

Aproximadamente metade da luz solar que vem da atmosfera exterior chega à superfície terrestre, onde transfere energia para o solo e a água. A superfície então emite essa energia sob a forma de calor, em grande parte radiação infravermelha, com um comprimento de onda na faixa dos 3 a 30 microns.

Se o ar não contivesse nada além dos seus principais componentes (21% de oxigênio, 78% de nitrogênio), quase toda a energia emitida da superfície se irradiaria sem obstáculos para o espaço.

Mas, na verdade, quase 90% dessas radiações de ondas longas ficam retidas por nuvens e gases e são remetidas de volta para baixo.

O resultado é assombroso a superfície da terra é atingida diariamente pelo dobro da energia em raios infravermelhos irradiados da atmosfera, em comparação com a energia da luz solar direta.

Isso ocorre porque alguns tipos de moléculas, conhecidas coletivamente como gases do efeito estufa, têm o tamanho e configuração certos para reter raios infravermelhos de ondas longas e tornar a irradiá-los.

Tais moléculas escapam aos processos naturais de limpeza química na atmosfera e muitas permanecem no alto por décadas ou séculos.

Após observarmos esse fenômeno e discuti-lo, passaremos a aplicar um breve questionário com intuito de levantar algumas concepções prévias dos alunos, com as seguintes questões:

- 1) O que você entende por calor? E o frio, o que é?
- 2) O que você entende por temperatura?
- 3) Quando um corpo está se aquecendo, o que está acontecendo com ele?
- 4) Em que situações um corpo se aquece?

Em seguida, podemos recolher os questionários e fechar a primeira aula.

2ª Aula:

Iniciamos com uma revisão do tema da anterior, relendo rapidamente o artigo de jornal ou revisando a explicação sobre o Efeito Estufa. Em seguida, visando dar suporte a experiências posteriores. Observaremos que todas as coisas recebem e cedem calor o tempo todo e quando as trocas são equilibradas (não cessam ou param, conforme está escrito em livros didáticos, apostilas e/ou no discurso de muitos professores). Em outras palavras: quando esta troca é equilibrada, os objetos se apresentam com a mesma temperatura, o que caracteriza o equilíbrio térmico. Para ilustrar, é pertinente citarmos a situação em que um bolo, retirado de um forno aquecido, e um refrigerante tirado congelado do refrigerador, sendo ambos colocados sobre uma mesa (de uma cozinha normal), após algumas horas, certamente não encontraremos o bolo aquecido, e o refrigerante ainda congelado. Ambos ou já estarão a uma mesma temperatura, ou tendendo a mesma temperatura que será também a mesma do ambiente. Em outra situação, é bastante comum colocarmos uma caneca de leite ou chá quente numa pequena bacia contendo água fria, para assim, resfriarmos o leite e obviamente aquecermos a água da bacia. Esse exemplo será retomado mais tarde, quando conceituarmos calor como energia que se transfere espontaneamente de um objeto para outro, devido à diferença de temperatura entre eles.

Esses exemplos empíricos demonstram a universalidade do equilíbrio térmico, ou seja, quando os objetos cedem calor é porque estão mais quentes do que o ambiente, quando recebem calor estão mais frios do que o ambiente; se os objetos estão na mesma temperatura recebem e cedem em média a mesma quantidade de calor (para facilitar dizemos sempre que os objetos estão num ambiente isolado).

Esta exposição inicial sobre o equilíbrio térmico serve de subsídio para colocarmos a seguinte situação, que pode ser uma atividade prática:

Se estivermos andando descalço por um piso de cerâmica, no interior de salão, certamente teremos a sensação de frio. No centro deste existe um tapete bem felpudo sobre o piso, e a pessoa passa a caminhar sobre o carpete, não tendo mais a sensação de frio. Podemos questionar quais sensações teríamos quando nossos pés descalços tocam o piso e



quando tocam o tapete. Certamente as respostas apontam para uma sensação de “frio” no piso, já o tapete não se apresenta frio, estando a uma temperatura agradável.

Diante desta situação podemos confrontá-la com a tendência universal do equilíbrio térmico, se o tapete está sobre a cerâmica, portanto em contato, e dois objetos em contato tendem ao equilíbrio térmico (dissemos acima que retirando um refrigerante da geladeira e um bolo quente do forno, colocando-os sobre a mesa, após algum tempo ambos se encontrarão em equilíbrio térmico, à temperatura ambiente), o mesmo ocorre ao tocarmos o metal e a madeira, eles podem estar a mesma temperatura, mas sentiremos o metal frio e a madeira não.

A seguir demonstraremos que a percepção de que um objeto “está frio” depende deste objeto estar recebendo calor da mão que o toca, por sua vez a percepção de que um objeto “está quente” depende deste objeto estar cedendo calor à mão que o toca, dessa forma, ficará evidente que o tato não é um bom medidor de temperaturas e que nossa percepção de quente/frio não está relacionada ao real estado térmico dos objetos ou coisas.

A atividade é a seguinte: coloca-se água quente (mas que seja suportável para a mão) num recipiente, num outro recipiente coloca-se água fria e num terceiro, água a temperatura ambiente. Procede-se da seguinte forma: coloca-se uma das mãos no recipiente com água quente e a outra no recipiente com água fria. Aguardam-se alguns instantes, retira as duas mãos e coloca-se simultaneamente no recipiente com água a temperatura ambiente, percebe-se que apesar de termos as duas mãos no mesmo recipiente, teremos a mão que, anteriormente estava na vasilha com água quente transmitindo sensação de que a água a temperatura ambiente está fria e, a mão que estava em contato com água gelada, transmitindo sensação de que a água a temperatura ambiente está quente. Em qual acreditar? Em nenhuma, pois a nossa sensação térmica não está relacionada com o real estado térmico dos objetos. Isto ocorre porque a cerâmica ou o metal tem maior condutibilidade térmica (bons condutores), portanto, transferimos mais calor por unidade de tempo do que transferimos ao carpete ou à madeira (considerados isolantes), ou seja, é mais fácil a transferência de calor de nosso corpo para o metal do que para a madeira ou tapete. Como calor é energia perdemos mais energia se estivermos em contato com materiais que sejam bons condutores, portanto nossa sensação térmica está ligada à condutibilidade do material que tocamos.



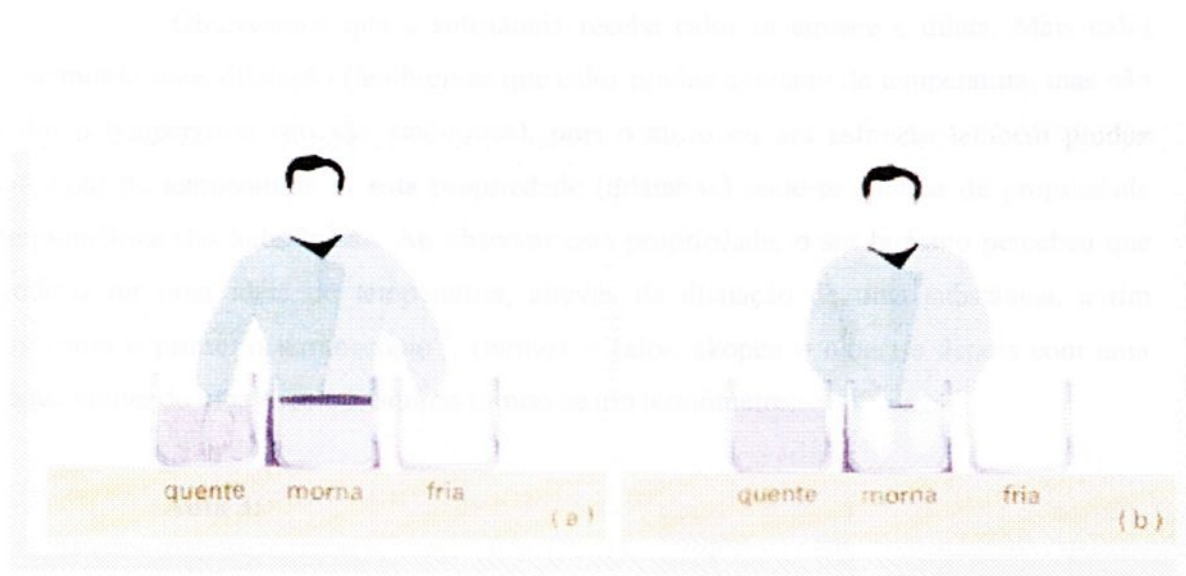


Figura 13: experimento que demonstra as sensações obtidas através do tato. (CHIQUETTO, 1996).

Comentários

A reserva energética é algo vital para qualquer organismo. Sabemos que um predador, quando demarca seu território, está garantindo entre outras coisas sua reserva energética. No inverno, transferimos mais calor para o meio ambiente e por isso sentimos frio, conseqüentemente sentimos mais vontade de comer e geralmente alimentos mais calóricos, “quentes”.

Para manter a nossa temperatura em $36,5^{\circ}\text{C}$, precisamos extrair a energia contida nos alimentos e transformá-la em calor, lembremos que energia não se cria nem se destrói, uma se transforma na outra.

Portanto, se não podemos confiar em nosso corpo para medir temperaturas, já que nossos sentidos “mentem”, precisamos, então, medir temperaturas através de outro método. No entanto, podemos observar que algumas propriedades macroscópicas de um determinado objeto sofrem alterações quando este recebe calor, por exemplo, a dilatação de um material quando aquecido; fato que decorre de um maior grau de agitação médio de suas partículas microscópicas. Essa substância pode ser líquida, sólida ou gasosa.

Observamos que a substância recebe calor se aquece e dilata. Mais calor transmitido mais dilatação (lembramos que calor produz aumento de temperatura; mas não calor e temperatura não são sinônimos), pois o atrito ou um esfregão também produz aumento de temperatura. A esta propriedade (dilatar-se) pode-se chamar de propriedade termométrica das substâncias. Ao observar esta propriedade, o ser humano percebeu que poderia ter uma idéia de temperatura, através da dilatação de uma substância, assim construiu o primeiro termoscópio⁷¹, (termos = calor; skopeo = olhar) e depois com uma régua contendo uma escala arbitrária tornou-se um termômetro.

Aula 3:

Do que foi exposto na aula 2, ficou claro nosso objetivo de demonstrar que nosso corpo não é bom medidor de temperaturas, pois além dos motivos biológicos citados, existe também a diferença de sensibilidade de pessoa para pessoa. Por exemplo, um lavrador ou um pedreiro toca um objeto e tem uma sensação; uma moça de mãos delicadas toca o mesmo objeto e certamente não terá, exatamente, a mesma sensação. Em quem confiar? Portanto, não há dúvida, precisamos de um instrumento para medir temperaturas.

Isto posto, propomos, para a terceira aula, a leitura de um texto histórico otimizado sobre a evolução dos termômetros procurando ressaltar a arbitrariedade na escolha das escalas termométricas, ou seja, na graduação do termômetro e, como 2ª atividade é pertinente essa atividade, vamos construir um termoscópio.

Com um vidro vazio (de gatorade, por exemplo), um canudo transparente, um pouco de líquido colorido e durepoxi, podemos construir um termoscópio. Posteriormente, com o simples ato de segurar o experimento com as mãos, transferimos calor ao vidro e ao líquido conseqüentemente. Verificamos, então, a dilatação sofrida pelo líquido que sobe pelo canudo. Isto é exatamente o que ocorre com os termômetros clínicos, que precisam ficar em contato com nosso corpo, sofrendo expansão até entrar em equilíbrio térmico conosco. Cessa, então, a dilatação, significando que o estado de agitação médio das partículas do mercúrio se igualou ao estado de agitação médio das partículas que

⁷¹ Cf. Capítulo V, o termoscópio de Galileu e algumas evoluções surgidas posteriormente.



constituem nosso corpo e, conseqüentemente, podemos ver na escala o valor atingido, que significa a “nossa” temperatura.

O objetivo desta aula é demonstrar que quanto mais aquecido um corpo está, maior o estado de agitação, ou seja: maior a amplitude de oscilação de seus átomos tendo, estes, que se afastar uns dos outros devido a essa maior amplitude. Em outras palavras, quando o termômetro com sua substância termométrica (mercúrio, álcool, etc.), entra em contato com esse objeto ou corpo, recebe parte da energia irradiada (calor) e também tem aumentado a amplitude de oscilação de suas partículas; conseqüentemente, o mercúrio (ou outra substância termométrica) se expande ou se dilata, subindo pelo tubo capilar, junto a uma escala termométrica (régua graduada). Ao igualar o estado médio de suas partículas, com o estado de agitação médio das partículas do objeto ou corpo (que está em contato), o mercúrio cessa sua dilatação e podemos, então, verificar na escala o valor atingido. A esse fenômeno chamamos de temperatura de equilíbrio.

Do que foi exposto podemos concluir que a temperatura é uma medida indireta do estado de agitação médio das partículas de um corpo. Dizemos indiretamente, pois não conseguimos “ver” essa agitação, apenas temos uma idéia através da altura atingida pelo mercúrio. Portanto:

Temperatura é uma medida do estado de agitação médio ou da energia cinética média das partículas de um corpo.

Vale ressaltar que a propriedade da dilatação se deve a maior agitação interna das partículas, e esse fenômeno pode ser observado no cotidiano, em diversas situações: (1) numa panela de pressão, o gás confinado em seu interior, recebe calor do fogo se expande e força a sua saída pela válvula na parte superior da panela; (2) o trilho de uma linha férrea tem espaçamentos para permitir a dilatação do trilho; (3) a Torre Eiffel, feita de metal, tem sua altura aumentada em aproximadamente 6 cm num dia de Sol.

A formação de brisas, ventos ou até de um furacão, também ocorre devido à expansão (dilatação volumétrica) de massas de ar que, ao ocupar um volume maior, tornam-se menos densas e sobem por convecção, conseqüentemente massas de ar frio movimentam-se para ocupar o lugar do ar quente. Os termostatos e os reles (fáceis de se representar e explicar o princípio de funcionamento), também têm seu funcionamento



baseado na propriedade termométrica da dilatação. A dilatação térmica e suas fórmulas serão tema de uma aula posterior.

4º Aula

Retomando ao texto histórico e apontando as escalas termométricas principais, Celsius ($^{\circ}\text{C}$), Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$) e Kelvin (T), precisaremos estabelecer uma relação entre elas, pois, para a temperatura de congelamento da água, teremos um termômetro marcando 0°C , outro marcando 32°F e outro ainda marcando 273 K, três medidas para o mesmo estado térmico.

Vamos supor que se informe que a temperatura no Rio de Janeiro está próxima dos 40° (quarenta graus) para um norte-americano que estiver vindo ao Brasil. Se ele entender na escala que é utilizada nos Estados Unidos, certamente virá com roupas de frio, pois 40° em sua escala é uma temperatura próxima do congelamento da água, já para nós é um calor quase insuportável. Nos Estados Unidos a escala utilizada é a escala Fahrenheit, enquanto no Brasil utilizamos a escala Celsius, mais comum.

Para sabermos quanto 40° Celsius corresponde na escala Fahrenheit, ou na escala Kelvin, precisamos recorrer ao Teorema de Tales, o qual prevê que retas paralelas, quando cortadas por transversais, tem seus segmentos proporcionais.

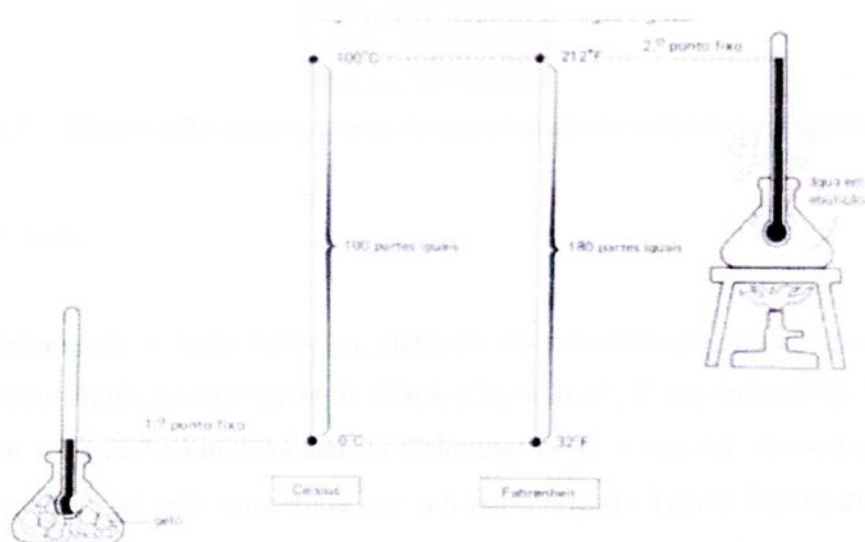


Figura 14: relação entre as escalas Celsius e Fahrenheit. (BONJORNO, 1985).

5ª Aula

Na quinta aula propomos retomar o questionário da primeira aula, no qual solicitamos respostas sobre calor, temperatura e aquecimento. Em seguida, distribuiremos um texto histórico resumido sobre o percurso da concepção de calor, demonstrando a coexistência de duas teorias concorrentes e a hegemonia da Teoria do Calórico sobre a Teoria Dinâmica ou mecanicista (Capítulo IV, item 2).

Num primeiro momento, devemos ler o texto histórico, em que prevalece a idéia de calor como substância, ressaltando Joseph Black e a determinação do calor específico (Capítulo IV, item 3) com a experiência que Black executou para demonstrar a validade de sua afirmação.

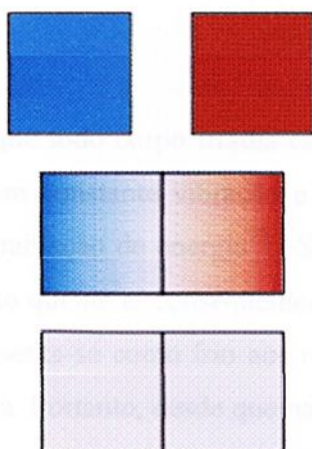


Figura 15: Observação macroscópica da transmissão de calor de um objeto a outro.

6ª Aula

Retomando o texto histórico, partindo da determinação do calor específico passaremos a reconstituir a experiência de Black (Capítulo IV, 2ª experiência de J. Black) que determinou a Equação Fundamental da Calorimetria: $Q = m.c.\Delta T$. Ressaltando que, apesar desta equação ter sido concebida por um partidário da Teoria Substancialista do Calor (Calórico), tem sua validade garantida até hoje por ter sido baseada em dados experimentais e empíricos, sobretudo para alunos do Ensino médio.

A seguir pode-se retomar a leitura do texto histórico contendo os primeiros ataques à Teoria do Calórico, na forma da experiência do Conde de Rumford e de Humphry Davy, culminando com James Prescott Joule, em que calor emerge como uma forma de energia. É conveniente citar e fazer um esquema da experiência de Joule, em que dois objetos ligados por um fio a um eixo giratório, ao descenderem com uma velocidade considerada constante, fazem girar o eixo com pás imersas num calorímetro com água e o atrito entre as pás e a água produz um aumento de temperatura no líquido.

Como calor atualmente é concebido como: **energia térmica em trânsito, ou energia que se transfere de um corpo a outro devido exclusivamente à diferença de temperatura entre eles**. Para um pequeno aprofundamento sobre essa concepção, é aconselhada a leitura dos Comentários, logo abaixo. Sugerimos, também, exercícios que podem ser encontrados em Gaspar (2000) e GREF (1999)⁷².

Comentários:

Precisamos entender que todo corpo irradia calor, até mesmo o gelo, pois os átomos de todas as coisas estão em constante vibração e o resultado desta vibração ou movimento atômico-molecular é irradiação de energia⁷³. Se tiver mais vibração, o objeto se apresenta a nossos sentidos como quente e, conseqüentemente, a uma temperatura mais alta; se tiver menos vibração, apresenta-se como frio aos nossos sentidos e o termômetro registra uma temperatura mais baixa. Portanto, desde que haja vibração atômico-molecular, haverá irradiação de calor. Algo que não acontecerá no Zero Absoluto ou Zero Kelvin, estado teórico em que cessa toda a vibração movimento atômico-molecular e, conseqüentemente, cessa também a irradiação de calor.

Esse estado é apenas teórico e nunca foi atingido nem observado em lugar nenhum do Universo conhecido. Corresponde na escala Celsius a $-273,16^{\circ}\text{C}$. Com isso, podemos concluir que um cubo de gelo a -10°C ainda apresenta bastante movimento interno microscópico de suas partículas.

⁷² Cf. Referências bibliográficas.

⁷³ Lembre-se que um movimento que perturbe um meio material ou eletromagnético, propaga-se na forma de onda, que pode ser mecânica ou eletromagnética e conforme o postulado da ondulatória, ondas não carregam matéria, mas sim energia.



Conforme Gaspar (2000), a Física Moderna considera que calor é transmitido por radiação através de fótons e, conforme vimos, todos os corpos emite fótons de calor, em qualquer temperatura, menos no estado teórico conhecido como Zero Absoluto. Contudo fica fácil perceber que corpos mais aquecidos emitem mais fótons, devido ao maior movimento atômico-molecular. Fótons, de maior energia, quando comparados com os emitidos pelos corpos mais frios, apresentarão menor movimento atômico-molecular.

Para ilustrar podemos recorrer à seguinte situação⁷⁴: imagine dois blocos, bloco A com temperatura de 200°C e outro B com temperatura de 20°C, comumente dizemos que A transfere calor para B até que ambos atingem a mesma temperatura, chamada de temperatura de equilíbrio, então “cessam” as trocas.

Na verdade, ninguém “avisa” ao bloco A que ele está mais quente e deve orientar o fluxo de calor para B, mas a irradiação de calor é um processo de mão dupla, ou seja, A transmite calor para B e B transmite calor para A. Óbvio que, como já mencionamos, A estando a 200°C, emite fótons mais “energizados” e em maior quantidade do que B a 20°C; portanto, fica claro que o “saldo” de calor é mais favorável a B, que recebe mais do que emite aumentando, dessa forma, sua temperatura; e A emite mais do que recebe, diminuindo sua temperatura.

Mesmo quando A e B atinge a mesma temperatura (equilíbrio térmico), o processo de troca continua, porém sem “saldo” a favor de nenhum dos corpos em questão, ou seja, estando na mesma temperatura os blocos tem suas partículas com energia cinética média, ou uma agitação atômico-molecular média igual. Então, os blocos A e B trocam fótons de calor, em média, iguais em quantidade e energia.

7ª e 8ª Aula

A esta altura - após ter se falado primeiro em temperatura e depois em calor - é conveniente passarmos para a diferenciação dos dois conceitos fundamentais da Termodinâmica. A atividade que será proposta também servirá para introduzirmos o conceito de Calor Latente.

⁷⁴ Cf. Gaspar, A. **Física**, vol. 2, p.309 e 317, São Paulo: Ática, 2000.



O professor poderá citar a experiência que levou a determinação do calor específico, em que fica claro que diferentes substâncias aquecem-se diferentemente quando recebem a mesma quantidade de calor. Por exemplo, se colocarmos um quilograma de um metal, sob o sol, e também um quilograma de água (lembre-se que a densidade da água é 1 Kg/L), sob o sol, no mesmo momento, podemos pressupor que iguais quantidades de calor serão irradiadas tanto para a água quanto para o metal.

Empiricamente as pessoas já sabem que o metal se aquece mais rápido do que a água e também já foram discutidos o conceito de calor específico, mas pretendemos ressaltar que, para se chegar a uma mesma temperatura um material pode requerer menos calor do que outro material. Ainda podemos considerar que se tivermos três líquidos diferentes, mas com a mesma massa, por exemplo, água, óleo e mercúrio, recebendo a mesma quantidade de calor, os resultados obtidos com o termômetro não serão o mesmo: a água com maior calor específico terá a menor variação de temperatura, o metal, com menor calor específico terá a maior variação de temperatura e isso com a mesma quantidade de calor fornecida.

A conclusão a que Joseph Black, inevitavelmente, chegou foi que calor é uma grandeza física distinta daquela que o termômetro marca, ou seja, calor e temperatura não expressam a mesma idéia. Isto atinge diretamente a idéia de senso comum que não diferencia estes dois conceitos.

A experiência relatada acima poderá ser exposta pelo professor, pois os alunos certamente já constataram, em seu cotidiano, a rapidez com que o metal se aquece e o maior tempo que a água leva. Por exemplo, numa praia percebe-se facilmente a diferença de temperatura entre a areia e a superfície do mar. Portanto, decidimos levar a cabo a atividade em que aquecemos uma determinada quantidade de água até o ponto de ebulição, pois esta atividade nos permite entrar no conceito de calor latente.

A atividade é a seguinte: colocamos uma porção de água num recipiente que possa ir ao fogo e medimos sua temperatura. Posteriormente, aquecemos o recipiente e registramos o tempo. Com o termômetro, anotamos as temperaturas, prestando atenção ao aquecimento da água. Ao começar a entrar em ebulição (mudança de fase) verificaremos que o termômetro não registrará mais aumento significativo de temperatura, a esta altura uma intervenção pertinente seria aumentar a intensidade da chama fornecendo, dessa



forma, mais calor. Neste momento, se faz necessário chamarmos a atenção dos alunos para o seguinte fato: apesar de uma quantidade maior de calor estar sendo transmitido, o termômetro não acusa maior temperatura, ficando praticamente estagnado, enquanto houver água no recipiente, durante o processo de mudança de fase.

Com o que foi demonstrado acima fica evidente a diferença entre calor e temperatura. Temperatura tem relação com calor, mas não são a mesma coisa.

Podemos colocar os dados obtidos num gráfico: temperatura x tempo. Apesar do gráfico não ter a linearidade que os gráficos dos livros didáticos apresentam, é possível verificar o patamar de temperaturas, quando a água entra em ebulição.

Esta atividade também pode ser utilizada para introduzir o conceito de calor latente. Após utilizarmos o texto histórico de Joseph Black, devemos ressaltar que ele era partidário da teoria substancialista do calor (calórico) e acreditava que o calor entrava na composição do líquido que fervia ou do gelo que se fundia e que a única função desse calor era transformar o estado físico da substância, por isso não era percebido pelos termômetros.

Comentários

Precisamos, nesse momento, apresentar o modelo cinético-molecular para explicar o fenômeno. Sugerir a observação: os sólidos possuem estruturas cristalinas como se fossem células de formato geométrico, cujos vértices são ocupados por átomos ou moléculas, que possuem um movimento vibratório, movendo em torno de posições fixas, muito próximas e tridimensionalmente bem definidas. Essas formas geométricas se repetem e por isso os sólidos têm forma bem definida.

O movimento vibratório de todos os átomos citados configura a energia cinética média do corpo ou objeto. A essa energia (e mais outras energias) denominamos de energia interna do corpo. Em Física, calculamos a variação dessa energia interna como sendo a variação apenas da energia cinética, considerando as outras constantes.



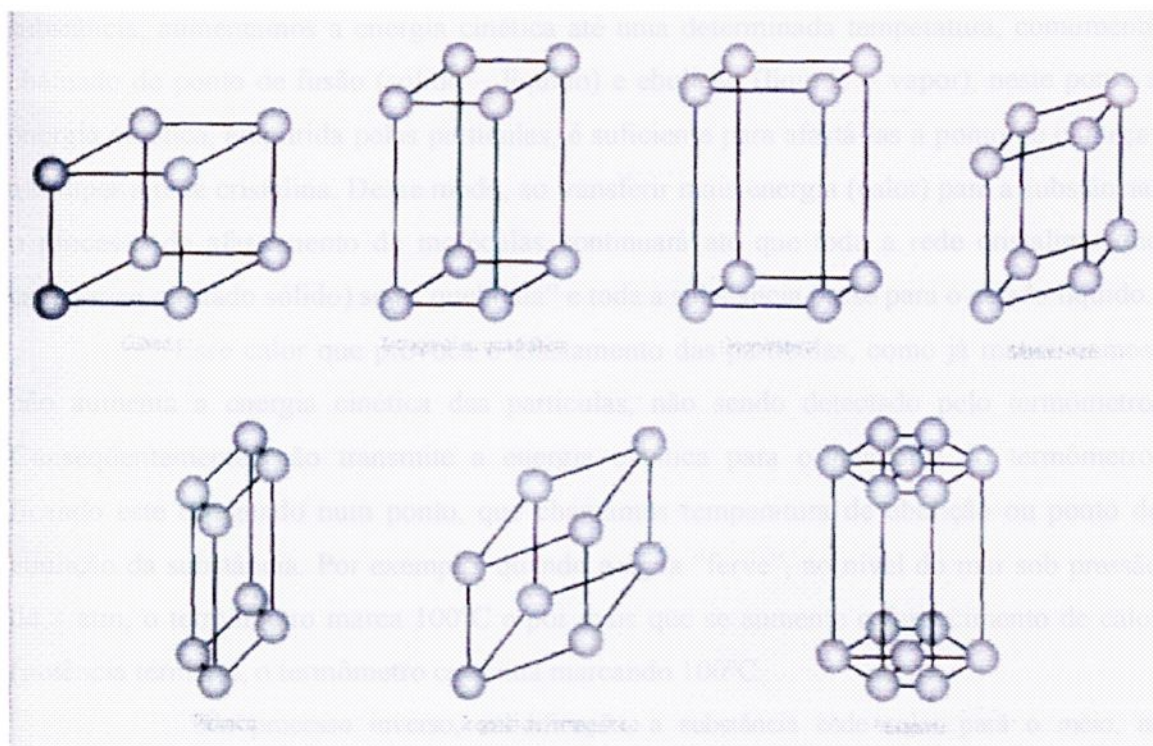


Figura 16 (página anterior): estruturas cristalinas. (GASPAR, 2000).

Quando fornecemos calor a um corpo, aumentamos a energia cinética média das partículas que constituem o corpo, pois as partículas passam a vibrar mais intensamente, ficando mais afastadas umas das outras. Dessa forma, passam a vibrar em torno de uma nova posição de equilíbrio apresentando maior temperatura (que é uma medida da energia cinética média dessas partículas do corpo). Nesta fase, denominamos o calor de sensível. Calor, como uma forma de energia, transforma-se em energia de movimento (cinética); nas partículas a energia não se cria nem se destrói, uma se transforma na outra.

Se calor como energia, transforma-se em energia cinética; nas partículas do corpo, sendo detectada pelo termômetro, o que ocorre quando a substância muda de estado físico? Nesta situação, por mais que se forneça calor, não se observa maior temperatura, significando que não está aumentando mais a energia cinética média das partículas da substância, apenas percebe-se esta mudança de estado físico mais rapidamente.

Então calor como energia, transforma-se em que outro tipo de energia? Como sabemos que energia não se perde, a resposta é a seguinte: quando aquecemos uma

substância, aumentamos a energia cinética até uma determinada temperatura, comumente chamado de ponto de fusão (sólido – líquido) e ebulição (líquido – vapor), neste ponto a energia cinética, adquirida pelas partículas, é suficiente para afastá-las a ponto de começar a romper a rede cristalina. Desse modo, ao transferir mais energia (calor) para a substância, o processo de afastamento de moléculas continuará até que toda a rede cristalina (que caracteriza o estado sólido) seja “quebrada” e toda a substância passe para o estado líquido.

Esse calor que provoca o afastamento das partículas, como já mencionamos, não aumenta a energia cinética das partículas, não sendo detectado pelo termômetro. Conseqüentemente, não transmite a energia cinética para o mercúrio do termômetro, ficando este estagnado num ponto, que chamamos temperatura de ebulição ou ponto de ebulição da substância. Por exemplo, quando a água “ferve”, ao nível do mar sob pressão de 1 atm, o termômetro marca 100°C e por mais que se aumente o fornecimento de calor (potência térmica), o termômetro continua marcando 100°C.

No processo inverso, solidificação, a substância cede calor para o meio, as moléculas vão se aproximando e vai aumentando a interação entre elas e a rede cristalina vai se formando novamente. Também neste caso, a energia cinética não se altera e o termômetro marca 0°C durante esse processo.

No século XVIII, como a Ciência não havia ainda entrado efetivamente no micromundo, cientistas como Joseph Black imaginava que o calor combinava-se quimicamente com a substância, não sendo detectado pelo termômetro. Black imaginava que o calor ficava “confinado” ou latente, daí vem o nome que até hoje utilizamos para o calor quando este é fornecido a uma substância e não provoca aumento de temperatura, ou seja, **Calor Latente**.

A ferramenta matemática que utilizamos em Ensino Médio para quantificar o Calor Latente, surgiu da verificação de uma constante relacionada a cada substância e que é obtida pela razão entre o calor transferido (Q) e a massa (m) da substância:

$L = Q/m$, em que L é chamado de calor latente de fusão ou ebulição e significa a quantidade de calor que um grama dessa determinada substância necessita para mudar de fase comumente encontramos a unidade de L em cal/g. Vale ressaltar que calor (Q), como uma forma de energia, é medido no Sistema Internacional de Unidades (S.I.) em Joules (J) e massa (m) em quilogramas (kg).

A razão $L = Q/m$, nos leva a fórmula:



$$Q = m.L$$

Outro ponto importante a ser destacado é a influência da pressão atmosférica no ponto de ebulição da substância. É preciso observar que o calor latente, ao afastar as partículas, realiza trabalho contra as forças externas de pressão. Se essas forças forem mais intensas, é preciso mais energia para afastar as partículas. Por exemplo, na panela de pressão cria-se uma situação de pressão maior que 1 atmosfera (por volta de 4 atm) e a consequência disto é que as moléculas de água necessitam de maior energia cinética para vencer essa pressão externa e romper a rede cristalina, entrando em ebulição por volta de 140°C. Dessa forma, os alimentos ficam melhor cozidos.

Na situação contrária, quando diminuimos a pressão - as forças externas, as moléculas de água têm mais facilidade para “escapar” do estado líquido para o gasoso. Mesmo moléculas com menor energia cinética conseguem “escapar” da superfície, conseqüentemente, ferve a temperaturas mais baixas. Por exemplo, numa montanha a 6000 metros a água entraria em ebulição a 80°C. Numa pressão de $6,05 \times 10^{-3}$ atm ou 4,6 mmHg, a água entra em ebulição a 0°C, ou seja, conforme diminuimos a pressão a água ferve a temperaturas mais baixas, podendo ferver, à temperatura ambiente, ou a 0°C.

Uma experiência que demonstra essa propriedade é a seguinte: coloca-se um pouco de água numa seringa, de preferência larga. Em seguida, puxa-se o êmbolo rapidamente. Poderemos perceber que se forma bolhas na superfície do líquido, evidenciando a ebulição do mesmo. Diante desta constatação, podemos refletir sobre a utilização industrial deste processo.



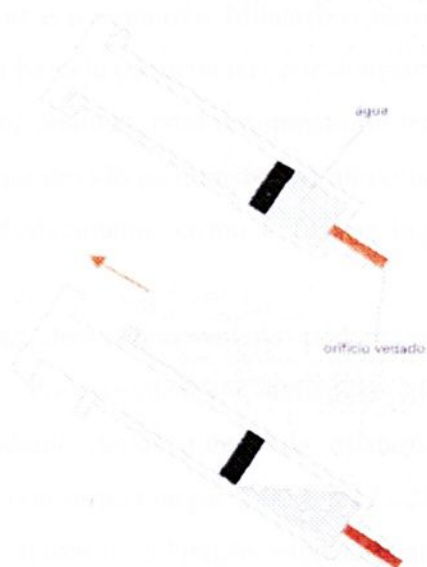


Figura 17: Utilização de uma seringa para verificar que a água entra em ebulição somente com a diminuição da pressão sobre o líquido.

Para fazer leite em pó, por exemplo, fervem-se tachos e mais tachos de leite até sobrar a parte sólida diluída no leite? Talvez não se deveria diminuir a pressão e o líquido evaporaria? E na Lua, onde não há atmosfera e conseqüentemente não existe pressão atmosférica? O que aconteceria, se tirássemos um copo com água no estado líquido do interior de uma cápsula espacial pressurizada? E se a roupa espacial pressurizada do astronauta se rompesse, o que aconteceria? Essas e outras questões podem ser discutidas. Outras questões, relativas ao calor latente e ciclo da água e sua influência sobre o clima, achamos pertinentes abordar mais adiante.

Aula 9 e 10:

A proposta para a oitava aula é retomarmos o assunto dilatação térmica e concluirmos com o comportamento anômalo da água, particularmente interessante para o tema escolhido, Efeito estufa – Aquecimento Global (ver Capítulo III). Haja vista que uma interpretação errada é justamente acreditar que a elevação dos níveis dos oceanos ocorrerá, principalmente, devido ao derretimento das calotas polares, de imensas geleiras e icebergs,

quando a principal responsável é a expansão (dilatação) térmica dos oceanos, ficando o derretimento do gelo com uma parcela pequena na contribuição desse fenômeno.

Conforme já mencionamos, com o aumento de temperatura, as dimensões de um corpo aumentam. Isso ocorre devido ao aumento na amplitude de oscilação dos átomos, que se ligam uns aos outros elasticamente, como se fossem ligados por molas para formar os sistemas cristalinos.

As consequências dessa propriedade podem ser vistas quando não são tomados os devidos cuidados. Pode-se observar rachaduras no concreto em estruturas de pontes, etc., por isso é prudente deixar juntas de dilatação, espaços deixados entre estruturas na construção civil, conforme Gaspar (2000, p.272-275). Nos trilhos de estradas de ferro, é comum observar as juntas de dilatação, especialmente nas mais antigas, em que os dormentes são de madeira e estão apenas apoiados sobre o solo.

Atualmente, em linhas atuais de utilização mais intensa, os dormentes são de concreto e fixados de maneira bem rígida no solo, de modo que não há mais necessidade das juntas de dilatação, pois as estruturas resistem, conforme se pode observar em trilhos do metrô de São Paulo.

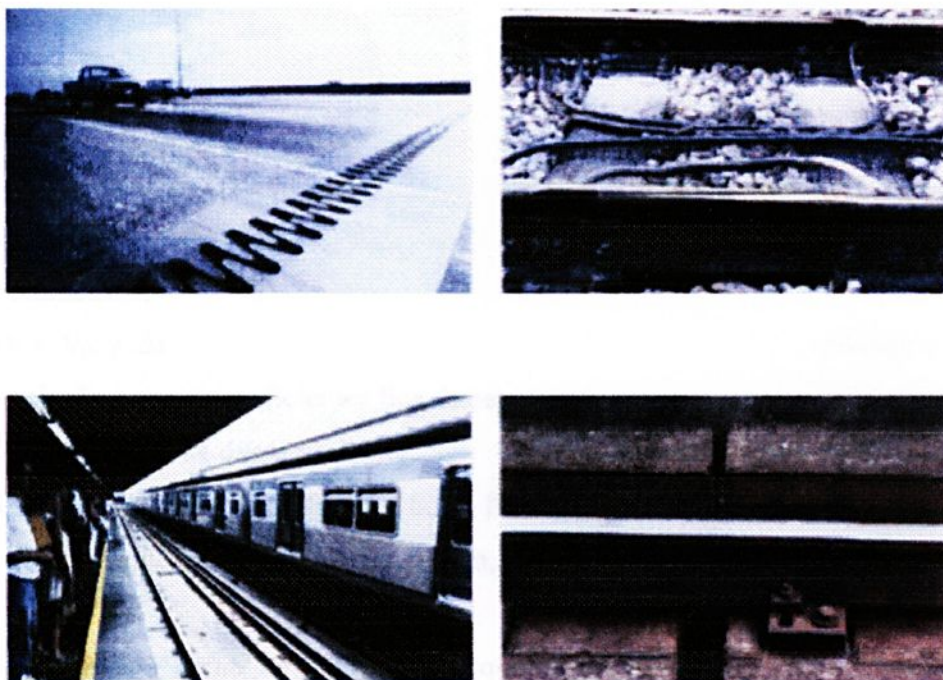


Figura 18: Juntas de dilatação, trilhos antigos e modernos. (GASPAR, 2000)

Não apenas os sólidos dilatam, mas os líquidos dilatam-se ainda mais que os sólidos e os gases dilatam-se mais que os líquidos, sendo este o motivo de serem utilizados nos termômetros. A dilatação é sempre volumétrica, as substâncias dilatam-se nas três dimensões: comprimento, largura e altura, mas se quisermos considerar apenas uma dimensão por exemplo: numa barra metálica fina e longa, tendo como propósito calcular apenas seu comprimento, então a constante de proporcionalidade - chamada coeficiente de dilatação linear α - valerá 1/3 do coeficiente de dilatação volumétrico γ .

A expansão de um material Δl depende de seu comprimento inicial, l_0 , da variação de temperatura Δt e de uma constante de proporcionalidade α (é considerado constante dentro de um determinado intervalo de temperaturas). Devido a essa constante α ser diferente para diferentes materiais, ou seja, os materiais dilatam-se de maneira típica e isso permite a construção de pares bimetalicos e termostatos em que dois materiais diferentes são unidos. O fato de um material dilatar-se mais que o outro, provoca a curvatura do par.

A fórmula da dilatação é baseada na experimentação. Podemos representar as dilatações volumétricas, superficiais e lineares, como:

Linear:

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta t$$

Superficial:

$$\Delta A = A_0 \cdot \beta \cdot \Delta t$$

Volumétrica;

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta t$$

A relação entre os coeficientes fica da seguinte forma:

α = coeficiente de dilatação linear.

β = coeficiente de dilatação superficial, $\beta = 2 \cdot \alpha$

γ = coeficiente de dilatação volumétrico, $\gamma = 3 \cdot \alpha$

Normalmente como os sólidos, os líquidos aumentam de volume quando aquecidos, mesmo não tendo estrutura cristalina como os sólidos. As partículas dos líquidos podem ser comparadas analogamente a uma porção de bolinhas de gude amontoadas dentro

de um recipiente. Cada uma tem uma amplitude de oscilação. Aumentando a temperatura aumenta também a amplitude de oscilação e, conseqüentemente, o líquido como um todo se expande. E, inversamente, contrai-se quando resfria, aumentando a densidade inclusive quando se solidifica, isto é observável.

A esta altura podemos perguntar, seguindo essa lógica: O gelo sendo sólido é mais denso que a água líquida e, portanto afunda quando colocado na água, certo? Errado. Nossa experiência cotidiana mostra-nos o contrário com relação à água no estado sólido e isto se constitui uma anomalia, que é conhecida como comportamento anômalo da água; que ocorre também com o ferro, bismuto, antimônio e a prata.

Isto ocorre porque, por exemplo, as moléculas de água - ao se solidificarem - formam uma rede cristalina cheia de "cavidades" ou lacunas, devido ao fato de suas moléculas possuírem uma forma angular que impede uma configuração em que elas fiquem muito próximas quando formam sua rede cristalina. O resultado dessa característica é que quando a água é resfriada e atinge o intervalo de 4°C a 0°C , seu volume aumenta e conseqüentemente a água a 0°C possui densidade menor do que a 4°C . Isto pode ser observado nos icebergs, ou seja, como o próprio nome sugere, montanhas de gelo que flutuam no oceano. Também percebemos que garrafas, de alguns tipos de bebidas, quebram-se quando esquecidas nos congeladores das geladeiras.

Vale ressaltar a extrema importância ecológica deste fenômeno, pois quando a temperatura de uma região abaixa muito, se existir um lago nessa região, suas águas diminuirão de temperatura até atingir 4°C . Até esse momento ocorrerão correntes de convecção, ou seja, as porções de água - em contato com o ar - resfriam-se, ficam mais densas e descem; porções de água mais quentes sobem. Mas a partir de 4°C , conforme se resfriam as porções de água, inverte-se o processo e ficam menos densas. Portanto, se resfriam, mas continuam por cima, em contato com o ambiente, até se solidificarem, formando uma capa de gelo flutuante acima da água a aproximadamente 4°C .

Nesse ponto, outro questionamento pode surgir: Porque o lago não vai gradualmente se congelando de cima para baixo?

O gelo possui ainda outra propriedade interessante: é mal condutor de calor, ou seja, funciona como isolante térmico. Não é por acaso - ou falta de material - que os iglus são feitos de gelo. No Alaska já se construiu um hotel de gelo, o icehotel, devido a



essa característica. A água, abaixo do gelo, manterá sua temperatura e seu estado líquido e os resultados são a constituição de lagos ou lagoas, congelados superficialmente.

O resultado desses dois processos, o comportamento anômalo e a má condutividade térmica do gelo, é que toda espécie de vida aquática pode continuar existindo em regiões onde a temperatura cai abaixo de zero. Caso contrário, haveria vida apenas nas regiões tropicais do planeta.

Essa anomalia também tem implicações no processo inverso, ou seja, na fusão do gelo. Contrariamente ao observado com a maioria dos materiais, o aumento de pressão sobre o gelo reduz sua temperatura de fusão. Isto ocorre devido às “cavidades” em sua rede cristalina; e, quando se aumenta a pressão sobre o gelo, suas moléculas tendem a ocupar estes espaços vazios, desorganizando sua rede cristalina, o que facilita a passagem da água do estado sólido para o líquido. Este processo continua, mesmo depois da mudança de estado, pois a água continua a diminuir seu volume até atingir 4°C ⁷⁵. Seu volume diminui por suas moléculas estarem se aproximando enquanto “migram” para essas lacunas. A partir de 4°C , a vibração ou grau de agitação das moléculas é suficientemente alto para que a água possa começar a se expandir, até atingir 100°C e começar o processo de ebulição.

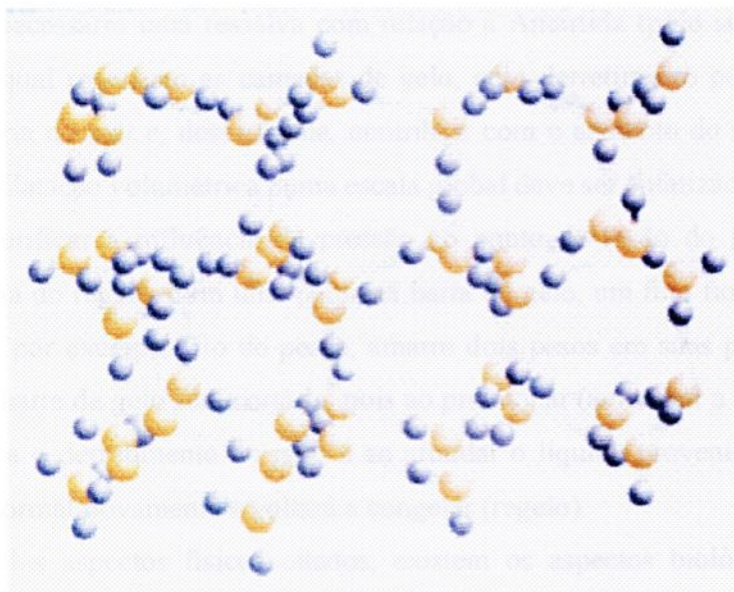


Figura 19: rede cristalina do gelo. (GASPAR, 2000).

⁷⁵ Lembre-se que quando a água passa de 4°C para 0°C seu volume aumenta o que pode fazer uma garrafa rachar no congelador, conseqüentemente sua densidade diminui e o gelo flutua na água líquida.

Esse comportamento anômalo da água é responsável por alguns fatos observáveis no dia-a-dia. Por exemplo, os patinadores de gelo utilizam patins com lâminas, com o peso da pessoa sobre as lâminas aumenta a pressão sobre o gelo, fazendo-o fundir-se, formando água e abrindo sulcos no gelo, mesmo à temperaturas abaixo de zero nas pistas de patinação. Após a passagem do patinador, a água volta a estar sob pressão normal e recongela (fenômeno do regelo).

Com base no comportamento anômalo da água, podemos esclarecer que: com o aquecimento global, o derretimento das geleiras e da calota polar (particularmente o pólo norte) não é o grande responsável pelo aumento do nível do mar, mas a expansão térmica (dilatação volumétrica) das águas dos oceanos é que ameaçam as regiões litorâneas de alguns continentes e pequenos países insulares do Oceano Pacífico.

Como atividade, para investigar esse fato, podemos pegar um recipiente graduado de vidro ou plástico transparente. Coloca-se água até um certo nível e também um cubo de gelo, anotando o nível, aguarda-se o derretimento do cubo e, após o derretimento, verifica-se novamente o nível. A comparação demonstrará que o derretimento da calota polar e de icebergs não contribui de maneira significativa para o aumento do nível do mar. No entanto, faz-se necessário uma ressalva com relação à Antártida (pólo sul), que é um continente sobre o qual repousam as camadas de gelo, cujo derretimento poderia formar rios que desembocaria no mar e, dessa forma, contribuir com o aumento do nível do mar. Mas ainda assim a dilatação volumétrica numa escala global deve ser enfatizada.

Para verificar a influência da pressão no ponto de fusão do gelo, pode-se realizar a experiência do regelo: com uma pequena barra de gelo, um fino fio de arame ou outro fio resistente, por exemplo, fio de pesca, amarre dois pesos em suas pontas e o fio poderá atravessar a barra de gelo sem cortá-la, pois ao pressionar (aumentar a pressão sobre a barra), ele provoca o derretimento do gelo e ao afundar o líquido proveniente da fusão estará sob pressão normal novamente e voltará a congelar (regelo).

Além dos aspectos físicos citados, existem os aspectos biológicos, pois a biodiversidade pode ser seriamente afetada, conforme consta no Summary for Policymakers (resumo para os políticos) do terceiro relatório do Painel Internacional de Mudanças Climáticas elaborado em 2001 (Capítulo III, item 3.1).





Porção da plataforma de gelo antártica em desintegração, estudada por cientistas britânicos

AMBIENTE

Aquecimento global quebra geleira gigante

Uma plataforma de gelo antártica sete vezes maior que Cingapura se desintegrou pelo efeito do aquecimento global, dizem cientistas britânicos.

O grupo, pertencente ao Serviço Antártico Britânico (BAS), previu a desintegração da plataforma gigante Larsen B (com 3.250 km²) quatro anos atrás, mas ficou surpreso com a velocidade da quebra. Ela é uma das cinco que está se quebrando por conta dos efeitos do aquecimento da Terra.

"Sabíamos que o que sobrou iria acabar colapsando, mas a velocidade foi assustadora", disse o glaciologista David Vaughan, do BAS.

A península Antártica aqueceu 2,5 °C nos últimos 50 anos, mais rápido do que qualquer outra parte do globo.

(DA REUTERS)

PROTOCOLO DE KYOTO Holanda ratifica tratado para reduzir emissão de gases do efeito estufa

O Senado holandês aprovou ontem, com unanimidade, a ratificação do Protocolo de Kyoto, documento que objetiva a redução das emissões de gases causadores do efeito estufa. A informação foi divulgada pelo Ministério do Ambiente da Holanda, em nota à imprensa.

Com isso, o país passa a ser o primeiro da União Europeia a transformar em lei o documento. No começo de março, os ministros do Ambiente europeus haviam concordado em aderir ao protocolo, abrindo caminho para uma ratificação oficial dos 15 membros da União Europeia (UE), mas nenhum dos países havia aprovado o documento em seus parlamentos.

Com o tratado, a UE se comprometeu a reduzir 8% das emissões de gás carbônico (CO₂) e de outros gases-estufa até

2008-2012, levando em conta os níveis de 1990. A Holanda deverá reduzir cerca de 6%.

A autorização dos senadores holandeses, dada uma semana depois da dos deputados, era um passo necessário para a ratificação oficial conjunta da UE, que está prevista para acontecer no dia 1º de junho.

Mas não basta que os europeus apoiem o protocolo. "Uma ratificação de outros países industrializados não-membros da UE é essencial para que ele possa entrar em vigor", disse o ministério holandês, em nota.

O protocolo deve passar a valer três meses depois que 55 países tenham ratificado seu conteúdo. E esses países precisam responder por 55% das emissões de gases-estufa ligadas às nações industrializadas.

(DA REDACÇÃO)

Figura 20: reportagem sobre a fusão de uma geleira. (Folha de S. Paulo, 20 de mar. 2002)

Aulas 11 e 12

Após a definição dos conceitos de temperatura, calor, calor específico e latente, comportamento anômalo da água e dilatação térmica, vamos abordar a transmissão de calor, em suas formas características.

Conforme já mencionamos, todos os sistemas ou objetos recebem e cedem calor o tempo todo e quando essa troca de calor é equilibrada, dizemos que esses sistemas ou objetos entraram em equilíbrio térmico. No entanto, quando existe diferença de temperatura, o fluxo é mais intenso no sentido do objeto mais quente para o objeto mais frio. Esse fluxo ou essa transferência acontece de três maneiras: por condução, convecção ou radiação.

A condução é uma forma de transmissão de calor que ocorre em meios materiais sólidos e é devidamente explicada pelo modelo cinético-molecular que relaciona a temperatura com a energia cinética das partículas. Por exemplo, quando colocamos uma barra metálica em contato com uma chama, os átomos ou moléculas da estrutura cristalina da barra adquirem energia cinética extra e, na interação entre as partículas. Essa vibração é transmitida de partícula para partícula, através do objeto todo e também do objeto para outras coisas que estejam ao seu redor.

Isto ocorre porque, ao vibrar mais intensamente, um átomo ou molécula afasta-se mais de sua posição de equilíbrio, alterando a energia potencial em relação com outras moléculas. A transmissão de energia cinética, nessas interações, é interpretada como “choques” entre as partículas.

Esse modelo, que explica a condução, é conveniente para entendermos a classificação dos materiais em condutores e isolantes, ou seja, quando mais denso o material. Isso significa mais partículas portadoras de energia cinética e maior proximidade entre elas, considera-se o material condutor.

O isopor, a borracha, etc., por terem espaços maiores entre suas partículas, conduzem com mais dificuldade e configuram a categoria dos isolantes. Os líquidos e os gases - devido ao distanciamento de suas partículas - também costumam ser incluídos nessa categoria. Com isso fica clara a necessidade das panelas serem de metal, porque esse



conduz melhor o calor internamente. Cabos de plásticos resistentes ou madeira dificultam o fluxo de calor em seu interior, permitindo-nos tocá-los.

A expressão matemática, obtida experimentalmente, relaciona a condução de calor ou fluxo (Φ) entre dois ambientes ou objetos numa proporção direta à diferença de temperatura (ΔT), área (S) e coeficiente de condutividade térmica (k), que depende do material e numa proporção inversa a distância (d) entre esses dois ambientes ou objetos:

$$\Phi = k \cdot S \cdot \Delta T / d$$

A convecção é um caso particular de transmissão de calor que ocorre em fluidos. Os átomos ou moléculas que constituem o fluido adquirem energia cinética ao entrar em contato com uma fonte térmica, conseqüentemente dilatam-se e essa camada do fluido que está em contato com a fonte térmica, por exemplo, uma chama, torna-se menos densa e - devido a atração gravitacional - as camadas superiores do fluido mais frias (mais densas) descem, deslocando o fluido aquecido para cima.

As implicações no clima são fantásticas, conforme citamos no Capítulo III, a camada em que vivemos chama-se Troposfera (tropos = movimento), devido ao movimento das massas de ar. No caso do clima, os movimentos não são apenas verticais. Ao subir uma camada de ar, que se aqueceu pelo contato com o solo, essa cria uma região de baixa pressão e provoca um movimento lateral de massas de ar que vem ocupar o lugar da camada de ar que ascendeu por convecção. Além da formação de brisas e até furacões, existem os ventos periódicos. Esses ocorrem, quando a região equatorial terrestre - ao receber mais radiação solar (do que qualquer outra parte do planeta) tem a sua superfície aquecida. Esse fenômeno aquece as massas de ar - que sobem por convecção - conseqüentemente, massas de ar frias (mais densas) deslocam-se em direção aos continentes.

Esse fato pode ser convenientemente trabalhado com reportagens sobre o buraco na camada de ozônio, porque essa se localiza predominantemente no pólo sul (local que detém o recorde de temperatura mais baixa do planeta, -90°C).

Também pode ser estudada, por exemplo, uma reportagem da revista FAPESP cujo título é "A estufa que exporta poluição". Essa reportagem revela que a poluição



produzida na grande São Paulo pode ser encontrada em Bauru - distante aproximadamente 400 km da capital - e, em condições favoráveis, a discussão pode ir muito mais longe. Portanto, conforme Edgar Morin, devemos ter um pensamento sistêmico, local e global. Ele se desenvolverá ao considerarmos as diversas variáveis, que se interagem na análise de um fenômeno. Em outras palavras, é necessária a reflexão sobre como diversos fios se interagem formando um “complexus”. Esse é o principal pressuposto da “epistemologia do saber complexo”, proposto por Morin.

O terceiro e mais importante processo de transmissão de calor não é explicado pelo modelo cinético-molecular, pois se trata da propagação de energia térmica por regiões onde a matéria está ausente; ou seja, através do vácuo. Nos dois processos anteriores é imprescindível a existência da matéria; pois, na condução e convecção, o calor é transmitido molécula por molécula.

Esse processo é denominado Radiação ou Irradiação, e segundo Gaspar (2000, p. 118):

Convêm também que se destaque a radiação como principal processo de transmissão de calor. As abordagens tradicionais da transmissão de calor deixam quase sempre implícita a idéia errônea de que a radiação de calor é um processo marginal, de interesse secundário, quando o que ocorre é exatamente o oposto.

Qualquer dúvida sobre esta afirmação pode ser dirimida com a simples lembrança de que toda a vida no planeta Terra foi - e ainda é possível -, entre outras coisas, devido à energia solar. Ainda, conforme Gaspar (2000, p.118): *“Acreditamos que só essa razão seja suficiente para convencer o professor da importância do processo de transmissão de calor”*.

Nesse modo, de transmissão de calor, a energia é transmitida na forma de energia eletromagnética⁷⁶, e as ondas eletromagnéticas não precisam de um meio material para se propagarem.

A atividade que demonstrará a condução é simples e pode ser realizada com uma barra metálica, parafina de vela, alguns percevejos e uma vela.

Prendem-se os percevejos espaçadamente com parafina na barra e aquece-se uma das extremidades da barra, ao se propagar o calor vai derretendo a parafina e

⁷⁶ Cf. breve explicação no Capítulo III, p. 86-87.



sucessivamente os pregos vão caindo numa ordem que vai da extremidade que está recebendo a chama para a outra extremidade.

A convecção pode ser convincentemente demonstrada de diversas formas, uma forma particularmente simples e muito bem bolada (CARVALHO et al, 1999, p. 55-56) consiste em pegar um espeto de madeira (desses usados para churrasco e salgados) como suporte, uma vela e com uma espiral feita com os lares de alumínio de achocolatados, por exemplo.

Com uma extremidade colocada no espeto, sem se fixar, pois deverá girar livremente, acende-se a vela colocada embaixo da espiral e em poucos instantes a espiral começará a girar.



Figura 21: correntes de convecção. (CARVALHO, 1999)

A convecção pode ser identificada em outras experiências simples do nosso cotidiano. Podemos aquecer serragem em água contida num recipiente transparente e visualizar que as camadas inferiores do líquido se aquecem primeiro e assim se expandem, diminuindo sua densidade, então sobem, fazendo com que as camadas superiores, ainda mais frias e, portanto mais densas, baixem para serem aquecidas, diminuïrem a densidade e então subirem, num ciclo de contínua movimentação facilmente observável.

A radiação ou irradiação, forma de transmissão ou transferência de calor por meio de ondas eletromagnéticas (que são da mesma natureza que as ondas de rádio ou luz),

cuja importância já ressaltamos. Sabe-se, no entanto, que a capacidade dos corpos de captarem mais ou menos ondas eletromagnéticas está relacionada à cor que apresentam, O corpo capaz de absorver toda energia radiante que nele incide é denominado corpo negro ou radiador ideal. A partir desse conhecimento podemos imaginar importantes aplicações práticas, por exemplo, a grade de cor preta que se coloca atrás da geladeira tem a função de trocar calor com o ambiente evitando que o aparelho estrague, pois todo corpo negro, é bom absorvedor e bom emissor de calor. Os aquecedores de água a energia solar também são pintados de preto para absorver a maior quantidade possível de calor.

Para percebermos a irradiação basta colocar a mão ao lado de uma lâmpada acesa, como as correntes de convecção se direcionam para cima, perceberemos que o calor é irradiado pela lâmpada.

Pretendemos verificar a propagação de calor por radiação com alguns experimentos, o primeiro deles consiste em tomarmos dois termômetros, uma lâmpada de 40 w, um pedaço de pano branco, um pedaço de pano preto e um barbante. Procede-se da seguinte forma: fazer um capuz com o pano branco e com o pano preto envolve-se o bulbo de um termômetro com o capuz preto e o outro com o capuz branco, amarra-se cada capuz com barbante, acende-se a lâmpada e colocam-se os dois termômetros com os bulbos envolvidos a uma mesma distância da lâmpada acesa, por fim observam-se as temperaturas registradas pelos termômetros.

O resultado certamente explica o motivo de se recomendar o uso de roupas claras no verão.

Outro experimento particularmente interessante, pois, através dele, podemos perceber o sistema de aquecimento solar (coletor e reservatório térmico) e como ocorre a captação da energia solar e sua transferência para o líquido, até obter água aquecida no reservatório térmico.

Como material utilizaremos: bandeja metálica retangular de alumínio, pedaço de vidro de dimensões compatíveis com as da bandeja, lata vazia de leite em pó, 70 cm de mangueira plástica (1/4"), Quatro pedaços (3 cm de comprimento cada) de tubinho de alumínio, tinta preto-fosco e durepoxi.



Para montar o coletor deve-se fazer dois furos nas extremidades da bandeja conforme esquema 1, instala-se dois tubinhos de alumínio, fixando-os dentro e fora com durepoxi. Em seguida, o interior da bandeja deve ser pintado com tinta preto-fosco.

Após a pintura, instala-se o vidro que deve encaixar-se corretamente na bandeja. A distância entre o fundo da bandeja e o vidro deve ser pequena. O vidro deve ser colocado na borda da bandeja usando durepoxi, tomando-se o cuidado de evitar frestas, por onde possam ocorrer vazamentos.

1

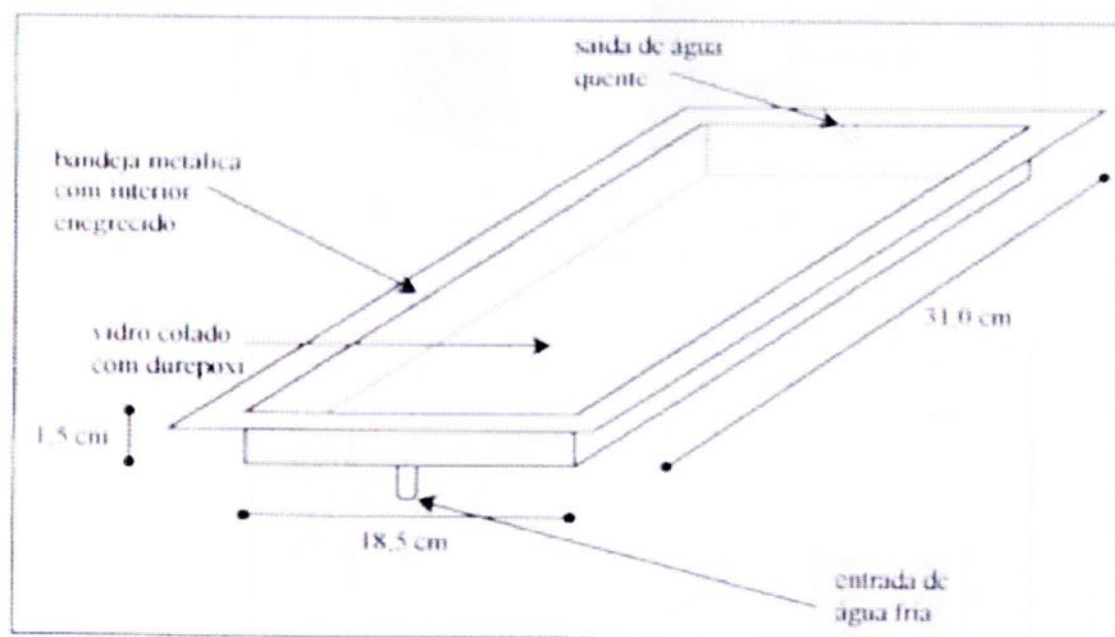


Figura 1 - bandeja

Esquema 1: painel solar.

Para montagem do reservatório térmico devem ser feitos dois furos na lateral da lata, onde serão fixadas com durepoxi as mangueiras, dois tubinhos de alumínio. Um deles (o que servirá de entrada de água quente) deve ser fixado pouco acima da metade da lata, enquanto que o outro (saída de água fria) bem próximo ao fundo da lata e também da bandeja, conforme mostra, na página seguinte, esquema 2 do reservatório e a figura 22 do sistema completo

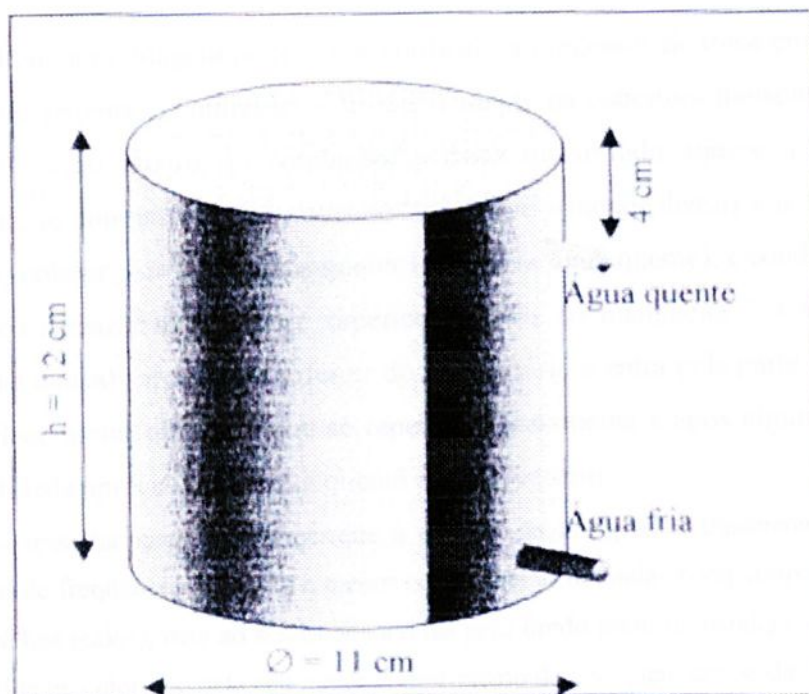
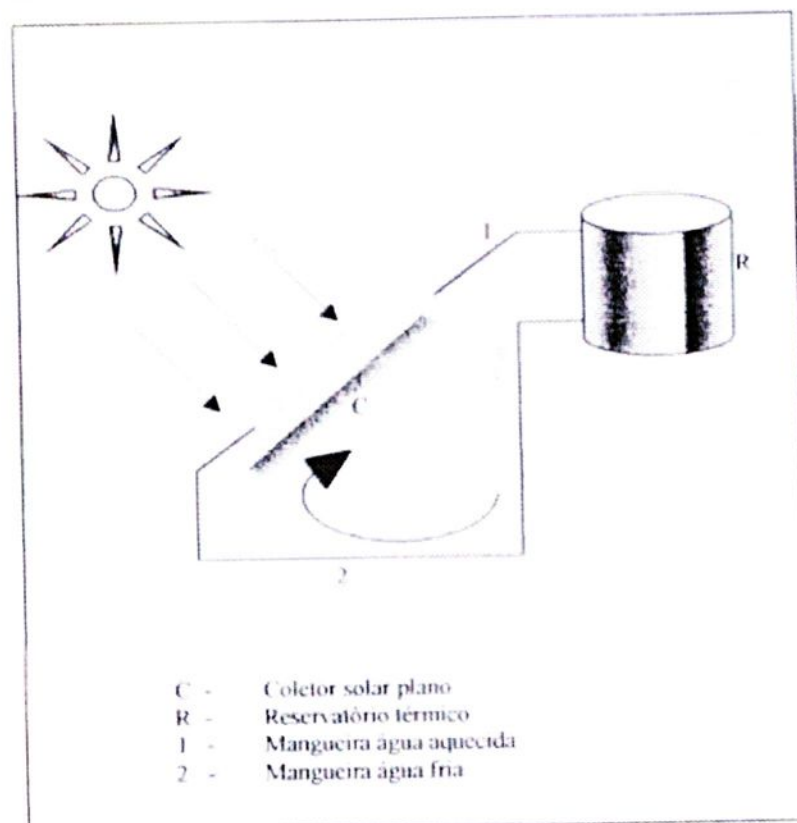


Figura 3



Concluída a montagem poderemos verificar os processos de troca envolvidos no funcionamento do sistema: a) radiação, a luz solar incide na cobertura transparente do coletor atingindo o fundo escuro; b) condução, o calor transmitido aquece a água aí existente; c) convecção, com isso, a água torna-se “mais leve” (menos densa) e se acumula na parte superior do coletor. Através da mangueira 1 (saída de água quente), é conduzida ao reservatório, ficando armazenada na parte superior. Através da mangueira 2 a água fria “mais pesada” (mais densa) sai da parte inferior do reservatório e entra pela parte de baixo do coletor. Estabelece assim um ciclo que se repete continuamente e após algum tempo, teremos uma quantidade apreciável de água quente no reservatório.

Vale ressaltar que o vidro permite a entrada da luz, pois é transparente a ela, considerada radiação de frequência mais alta e menor comprimento de ondas comparativamente às radiações infravermelhas (calor), mas ao serem absorvidas pelo fundo preto da bandeja, este emite radiação infravermelha ou calor que pelo seu maior comprimento de onda, tem sua saída dificultada pelo vidro, que é considerado opaco a essa faixa de radiação, sendo retido acaba aumentando a energia interna e, conseqüentemente, a temperatura do líquido.



CONSIDERAÇÕES FINAIS E DISCUSSÕES

Com o intuito de tornar significativo o ensino da Termodinâmica, buscamos a proposta metodológica da Pedagogia Histórico-Crítica, partindo de um tema encontrado no âmbito da prática social, trazendo para sala de aula os problemas sociais, mais especificamente a problemática do aquecimento global esclarecendo a importância do fenômeno “efeito estufa” desmistificando-o, desvelando seus mecanismos e focalizando o que realmente é prejudicial.

Nas atividades propostas no Capítulo V, apresentamos primeiro a discussão dos conceitos termodinâmicos utilizando, em alguns momentos, textos históricos revelando a evolução do conceito; posteriormente os experimentos eram realizados para enriquecer o processo de ensino e aprendizagem, pois acreditamos que essa configuração se encaixa melhor na proposta metodológica da Pedagogia Histórico-Crítica. No entanto, a evolução das aulas e atividades apresentadas no referido capítulo é apenas um exemplo, pois existem iniciativas bem sucedidas que propõem uma atividade investigativa⁷⁷ em que o experimento

⁷⁷ Cf. CARVALHO et. al., 1999.



suscita discussões e revisões dos conceitos espontâneos, evoluindo-os com a intervenção do professor.

As notícias sobre aquecimento global continuam figurando em revistas e jornais, recentemente o governo inglês informou, numa reportagem do Jornal "Folha de S. Paulo" que os esforços para redução de "gases estufa" deixariam o mundo 1% menos rico, mas apesar desse "empobrecimento", a Inglaterra estava disposta a iniciar um programa que visaria reduzir a emissão de "gases estufa", no entanto o entrave maior continua sendo os Estados Unidos, pois nessa mesma reportagem o governo inglês, tradicional aliado dos norte-americanos, criticava a intransigência da administração de George W. Bush com relação ao tema.

Existe, portanto, a possibilidade de discussões no campo da ética, revelando governos engajados na luta pela preservação e governos em que o interesse maior é o crescimento econômico a qualquer custo. Na Internet, no endereço eletrônico disponibilizado pelo governo federal (www.mct.gov.br/clima) encontram-se links que nos fornece uma lista atualizada, com o posicionamento de todos os países em relação ao Protocolo de Kyoto.

O tema também permite a abordagem de outras disciplinas científicas, conforme podemos observar nos recortes de jornais (página seguinte), demonstrando que a necessidade de se implementar uma abordagem sistêmica, complexa é um desafio imposto pelo real sendo esse um dos objetivos de uma abordagem temática, contextualizada, fortalecendo uma forma de pensamento que privilegie o local e o global, uma determinada área específica, mas não isolada das demais áreas, um pensamento sistêmico, apontado no Capítulo II, com isso os conteúdos científicos passam a ser analisados sob o prisma da contextualização e da interdisciplinaridade, propiciando ao aluno, futuro cidadão, num sentido coletivo contribuir para a escolha de caminhos que a sociedade deve seguir, sem isso, ficamos com o que Edgar Morin classificou de "déficit democrático", pois somos destituídos do direito de pensar, falar, ficando qualquer decisão que contenha elementos técnicos, mesmo que simples, para os técnico e "experts" um grupo restrito que toma decisões por todos, numa democracia isso é uma clara deficiência. Os problemas fundamentais de uma sociedade podem ser relacionados à idéias e precisam ser discutidos neste plano, mesmo que se desconheçam detalhes técnicos.



FOLHA CIÊNCIA

Downloaded from <http://ajphaphysocpharm.sagepub.com/>

ISSN 1047-4545 ★ 5407-4545/95/0000-0000\$05.00/0

BOTÂNICA Simulação do aquecimento global indica que seleção natural não seria rápida o bastante para espécies sobreviverem

Planta perde corrida para o efeito estufa

RESULTS

O crescimento global está ameaçando um corifeu contra algumas das maiores ameaças a um bom futuro de ganhar. Um estudo das universidades de Virgínia e Minnesota, em 2010, mostrou que espécies nativas do país correm risco de extinção porque não conseguem se adaptar rápido

surface, plus la répartition de
mélange, etc.

A proposta da bióloga Irina Elisei, na última edição "Science" (www.sciencemag.org), como comunidade científica, os cientistas devem dar a "Comunidade" um feedback, material das pesquisas da UVA. A planta é encontrada em vários pontos do país, mas sua área de distribuição está em declínio, em grande parte devido à

que a economia foi a causa de
uma das maiores crises econô-
micas para 30 anos, trouxe
nada menos do que a extin-
ção do país para o resto do
mundo, de uma parte por
que a situação financeira era
complicada e a situação não se
remediava, e a outra de que a
"maquinação" de Hitler

Trabalhamos selecionando, entre 100 e 150 pontos, o melhor sistema. Na esteira disso, um pequeno grupo de mais de 200, no meio de outubro e novembro, fizeram testes com o sistema, verificando que as planilhas eram boas para se adaptar aos dados de vendas.

produzindo de verdade. Co-cria-se o novo de Minas e a Criação quando se plantam os frutos da criação e a criação se cria.

Para ser gerido, as organizações, a planta corporativa, os recursos humanos e as estruturas gerenciais passaram a ser modelados em indivíduos industriais. O problema que é hoje frequente, é a resistência que a planta pode encontrar, a plantar, antes.

Atualmente, a maioria dos "desarmados" e "consciência quadrada" que plantam sementes correspondem ao grupo de neofascistas, a ideologia, a perspectiva religiosa e o conjunto prático de atividades que o grupo de desarmados e "consciência quadrada" mantém.

Atualmente, a maioria dos "desarmados" e "consciência quadrada" que plantam sementes correspondem ao grupo de neofascistas, a ideologia, a perspectiva religiosa e o conjunto prático de atividades que o grupo de desarmados e "consciência quadrada" mantém.

...e a grande diferença entre o tipo de trabalho desenvolvido nos dois países pode resultar da diferença de organização da produção, da estrutura da indústria e da distribuição da renda. Nos Estados Unidos, a indústria é organizada em grandes empresas, com uma alta produtividade e uma distribuição da renda que favorece a classe média. No Brasil, a indústria é organizada em pequenas empresas, com uma baixa produtividade e uma distribuição da renda que favorece a classe baixa.

Ganhe dinheiro. Invista em

Figuras 23 e 24 reportagens jornalísticas relacionando o fenômeno físico do aumento de temperaturas, propiciado pela reemissão de irradiação infravermelha com implicações no ecossistema terrestre.

AMBIENTE Elevação nas temperaturas médias tem provocado mudanças na distribuição de espécies há pelo menos 30 anos

Aquecimento global já afeta ecossistemas

CIÊNCIAS AMBIENTAIS
2008, ano 11, nº 10

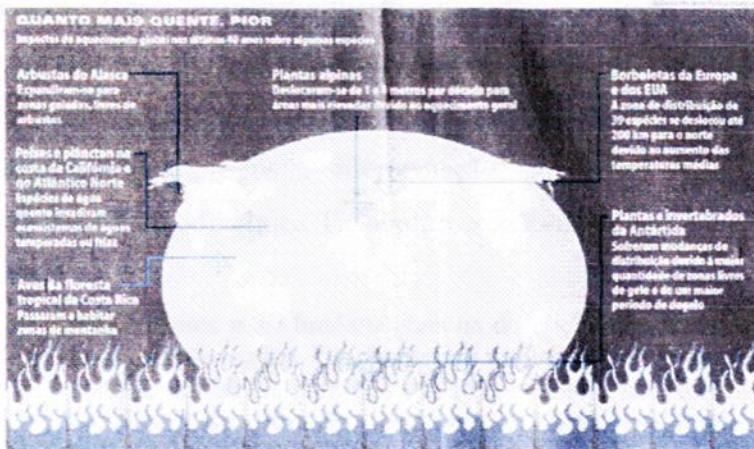
Desde 1970, a temperatura média global aumentou 0,5°C. A elevação das temperaturas médias tem provocado mudanças na distribuição de espécies há pelo menos 30 anos.

Desde 1970, a temperatura média global aumentou 0,5°C. A elevação das temperaturas médias tem provocado mudanças na distribuição de espécies há pelo menos 30 anos.

A elevação da temperatura média global tem provocado mudanças na distribuição de espécies há pelo menos 30 anos.

A elevação da temperatura média global tem provocado mudanças na distribuição de espécies há pelo menos 30 anos.

A elevação da temperatura média global tem provocado mudanças na distribuição de espécies há pelo menos 30 anos.



Plantas e invertebrados da Antártida. A zona de distribuição de 39 espécies se deslocou até 200 km para o norte devido ao aumento das temperaturas médias.

Economia
A elevação da temperatura média global tem provocado mudanças na distribuição de espécies há pelo menos 30 anos.

A elevação da temperatura média global tem provocado mudanças na distribuição de espécies há pelo menos 30 anos.

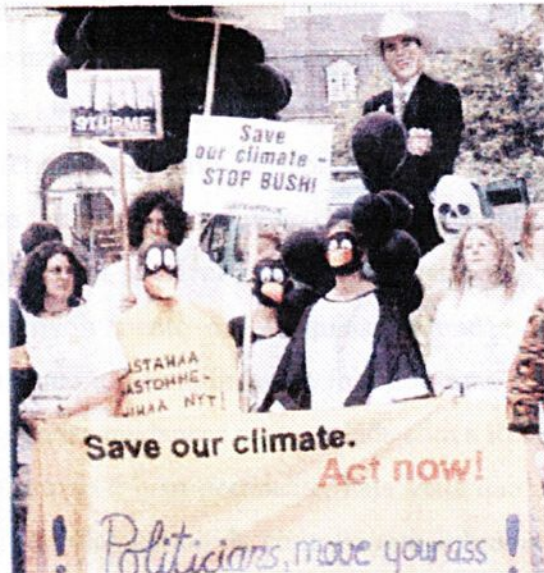
A elevação da temperatura média global tem provocado mudanças na distribuição de espécies há pelo menos 30 anos.

Opep impede aprovação de acordo pró-Kyoto

Posição dos produtores de petróleo aumenta inerteza no combate ao efeito estufa

BONN – A Organização dos Países Exportadores de Petróleo (Opep), quebrou o entendimento dentro do grupo dos países em desenvolvimento (G-77 e a China) para a aprovação do texto do acordo, produzido na véspera, com vistas à ratificação do Protocolo de Kyoto, que quer reduzir a emissão de gases para evitar o aquecimento global. A decisão da Opep, que derrubou o otimismo da véspera entre os participantes da conferência sobre mudanças climáticas, em Bonn, na Alemanha, foi confirmada pelo vice-presidente do encontro, Raul Estrada.

O resultado, feito pelo presidente da conferência, Jan Piesch,



Athletas do Greenpeace: novo protesto contra a posição dos EUA

com base nos relatos dos representantes dos 178 países participantes, recebeu a aprovação de quase todos os presentes. Mas, a

Opep, excluindo a Indonésia, votou contra o acordo, levando Estrada a declarar que "aquela organização não interessa obvia-

mente propiciar a adoção de políticas para a redução de poluentes". Os produtores de petróleo argumentam que o acordo é insuficiente e querem novas negociações. Para eles, não há urgência para se chegar a um consenso, embora o acordo estabeleça ajuda aos países em desenvolvimento dependentes do petróleo. Também a Venezuela se pronunciou contra o acordo, sendo o único do grupo de países latino-americanos e do Caribe a fazê-lo.

A conferência do clima, que termina dia 27, chega à fase final com muitas dúvidas, diante da crescente oposição à assinatura do protocolo. As incertezas quanto ao sucesso do encontro cresceram ainda mais com a informação, vinda de Genebra, de que o grupo dos sete países mais industrializados do mundo e a Rússia (G-8) encerraram a reunião sem acordo contra o aquecimento global. Dos ambientalistas presentes à reunião de Bonn, foram protestados contra a posição do G-8 e deram o prêmio Fossil da Bã a Opep. (AP, UTE e AFP)

■ Mais informações sobre a reunião do G-8 na página A-09

Figura 25: Manifestações de revolta, exortando os políticos a agirem a favor do clima.

Com relação especificamente à Física, optamos por enfocar os conceitos básicos da Termodinâmica, calor e temperatura, distinguindo-os, revelando que no passado havia a concepção errônea de que esses dois conceitos expressavam a mesma idéia. Apresentamos a forma como Joseph Black propôs a diferenciação, por volta de 1760. Um marco importante na história da Termodinâmica. De acordo com Einstein e Infeld:

Os conceitos mais fundamentais na descrição dos fenômenos térmicos são temperatura e calor. Foi necessário um tempo inacreditavelmente longo da história da ciência para que esses conceitos fossem distinguidos, mas uma vez feita essa distinção, resultou num rápido progresso. (EINSTEIN, A. INFELD, L., 1980, p. 39).

Joseph Black deixou suas descobertas na forma de “lectures” ou conferências, com relação a essas “lectures” identifica-se um aspecto importante, por elas terem sido ministradas na Universidade de Edinburgh, por volta de 1760, aos alunos elas são didáticas e simples, possíveis de serem realizadas em laboratórios escolares nos dias atuais.

São relativamente de fácil entendimento, inclusive utilizando-se de termos e expressões que nossos estudantes usam intuitivamente.

Prosseguimos até apresentar a teoria do calor como uma forma de energia, conforme se pode conferir no Capítulo IV, apresentando a teoria cinético-molecular na explicação de fenômenos térmicos e concluindo com a Primeira Lei da Termodinâmica.

Infelizmente não foi possível ir além, pois seria interessante um estudo, mais específico, sobre o desenvolvimento das máquinas térmicas (as máquinas de Savery, Newcomen, Watt, etc.) como a Termodinâmica foi ao mesmo tempo causa e efeito desse desenvolvimento, as profundas mudanças na sociedade com a Revolução Industrial.

Esse tipo de estudo é bem pertinente, haja vista que as máquinas térmicas e a intensa industrialização por elas permitida contribuíram sobremaneira para o aumento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera, considerado o principal gás estufa, não pela sua capacidade em reter a radiação infravermelha, mas pela sua quantidade na atmosfera.

Pretendemos contemplar esses tópicos num estudo posterior, bem como relacionado com o tema é conveniente abordar a 2ª Lei da Termodinâmica, pois se na 1ª Lei



está generalizado o princípio de conservação de energia, “a energia não se cria e também não se perde, sempre se conserva”, portanto, segundo Gaspar (2000) o aluno pode questionar: então porque devemos poupar energia, já que ela nunca se perde? A resposta depende, não apenas do enunciado da 2ª Lei, mas do entendimento do que ela significa, ou seja, o calor é uma energia que nunca pode ser totalmente aproveitada.

Assim a energia aproveitável de um sistema sempre diminui, como exemplo podemos citar o automóvel, cujo motor é uma máquina térmica, em que a energia química do combustível se transforma em energia cinética (movimento), mas inevitavelmente uma grande parte de energia se perde sob forma de calor, essa energia não se aproveita, pois não é função do motor do automóvel se aquecer. Portanto, torna-se impossível uma máquina 100% eficiente, que transforme energia química em mecânica integralmente, ou energia elétrica em mecânica, etc. sem que um parcela se converta em calor, sendo inaproveitável, e, conseqüentemente para repor a parcela que não se pode aproveitar necessitamos de mais energia química ou elétrica, por exemplo.

A própria equação dos geradores reais da eletrodinâmica pressupõe uma diferença entre a “força eletromotriz” e a tensão elétrica entregue no circuito, esta queda de tensão, ocorre devido ao aquecimento (perda de energia elétrica, sob forma de calor) no interior da própria bateria.

A segunda Lei da Termodinâmica originou também o conceito de entropia, que é positivo quando se fornece calor para o sistema. Como não se pode reverter os processos da natureza, a entropia do universo sempre aumenta. Assim, Boltzmann estabeleceu o enunciado mais moderno da 2ª lei: “Em qualquer sistema físico, a tendência natural é o aumento da desordem; o restabelecimento da ordem só é possível mediante o dispêndio de energia”. (GASPAR, 2000, p. 377).

Vemos no estudo da Termodinâmica uma aproximação com a realidade caótica da natureza, se em Mecânica (em nível de Ensino Médio), o universo é perfeito cheio de certezas, as partículas são estudadas individualmente como pontos materiais, em Termodinâmica se estuda sistemas compostos por números quase incomensuráveis de partículas, em movimento aleatório, desordenado, cujas posições não se pode prever com exatidão, dessa forma, temos que encarar a natureza em sua complexidade, pois, conforme Morin, a complexidade é um desafio imposto pelo real.



Referências Bibliográficas:

AZENHA, M. G. **Construtivismo: De Piaget a Emília Ferreiro**. 4. ed. São Paulo: Ática, 1995.

BONJORNO, R. F. S. et. al. **Física**: vol 2. São Paulo: FTD, 1985.

BRASIL, Secretaria de Educação Fundamental. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Introdução**. Brasília: MEC/SEF, 1998.

BRUSH, S. G. **Kinetic Theory**. Londres: Pergamon, 1965.

CAPRA, F. A **Teia da Vida: Uma Nova Compreensão Científica dos Sistemas Vivos**. São Paulo: Cultrix, 1996.

CARVALHO, A. M. P. et al. **Termodinâmica: um ensino por investigação**. São Paulo: FEUSP, 1999.

CASTRO, R. S. **História e Epistemologia da Ciência: Investigando suas contribuições num curso de Física de segundo grau**. 1993. 173f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Faculdade de Educação e Instituto de Física da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

CHIQUELTO, M. VALENTIM, B. PAGLIARI E. **Aprendendo Física: vol. 2**. São Paulo: Scipione, 1996.

CORSON, W. H. **Manual de Ecologia: o que você pode fazer a respeito da crise do meio ambiente**. Trad. A. G. Camaru. São Paulo: Augustus, 1993. Tradução de: The Global Ecology Handbook. By the Global Tomorrow Coalition.

DELIZOICOV, D. ANGOTTI, J. A. **Física**. 2. ed. São Paulo: Cortez, 1992.



DEMO, P. **Metodologia do Conhecimento Científico**. São Paulo: Atlas, 1999.

EINSTEIN, A. INFELD, L. **A evolução da Física**. 4. ed. Rio de Janeiro: Zahar editores, 1980.

GASPAR, A. **Física** : vol 2. Ondas, Óptica, Termodinâmica. São Paulo: Ática, 2000.

_____. **A Teoria de Vigotsky e o ensino de Física**. In: IV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (EPEF), mai. 1994, Florianópolis.

GRECO, M. **Interdisciplinaridade e Revolução do Cérebro**. São Paulo: Pancast, 1994.

GRUPO DE REELABORAÇÃO DO ENSINO DE FÍSICA (GREF). São Paulo: Edusp, 1999.

HELMHOLTZ, H. L. F. **The Conservation of Force**. In: BRUSH, S. G. **Kinetic Theory**. Londres: Pergamon, 1965. p. 89.

HOROWICZ, R. J. **Luz, Cores... Ação: A ótica e suas aplicações tecnológicas**. São Paulo: Modema, 1999.

KUHN, T. S. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. São Paulo: Perspectiva, 2000.

LINDSAY, R. B. **Energy: Historical Development of the concept**. Stroudsburg: Dowden, Hutchinson & Ross, Inc., 1975.

MARX, K. ENGELS, F. **A Ideologia Alemã**, 2ª ed. São Paulo: Martins Fontes, 1998.

MORIN, E. **Ciência com Consciência**. Portugal: Publicações Europa-América, 1994.

_____, KERN, A. B. **Terra – Pátria**. 3. ed. Porto Alegre: Sulinas, 2002.



_____. **Os sete saberes necessários à educação do futuro.** São Paulo: Cortez, 2001.

_____. Notas para um 'Emílio' Contemporâneo. In: PENA-VEGA, A.; ALMEIDA, C. R.S.; PETRAGLIA, I. (Org.). **Edgar Morin: Ética, Cultura e Educação.** São Paulo: Cortez, 2003. p. 149-156.

PENA-VEGA, A.; ALMEIDA, C. R.S.; PETRAGLIA, I. (Org.). **Edgar Morin: Ética, Cultura e Educação.** 2. ed. São Paulo: Cortez, 2003.

PESSIS-PASTERNAK, G. **Do Caos à Inteligência Artificial.** 3. ed. São Paulo: Unesp, 1993.

PETRAGLIA, I. C. **Edgar Morin: A Educação e a Complexidade do Ser e do Saber.** Petrópolis: Vozes, 2000.

QUADROS, S. **A termodinâmica e a invenção das máquinas térmicas.** São Paulo: Scipione, 1996.

RABELLO, A. L. Efeito Estufa: Uma ameaça no ar. **Revista Ciência Hoje.** São Paulo, n.29, p.51 – 56, março/abril, 1987.

SANTER, B. D. et al. Contributions of Anthropogenic and Natural Forcing to Recent Tropopause Height Changes. **Science**, n. 301, p.479-483, 25 jul. 2003.

SANTOS, B. de S. **Um Discurso Sobre as Ciências.** 9. ed. Porto: Afrontamentos, 1987.

SAVIANI, D. **Escola e Democracia.** São Paulo: Cortez/Autores Associados, 1983.

_____. **Pedagogia Histórico-Crítica: Primeiras Aproximações.** 6.ed. São Paulo: Editora Autores Associados, 1992.

_____. A Filosofia da Educação e o Problema da Inovação em Educação. In: GARCIA, W. **Inovação educacional no Brasil: problemas e perspectivas.** São Paulo: Cortez/Autores Associados, 1980. p.15-29.



SERRÃO, M. A. Interdisciplinaridade: O desafio da Pesquisa Ambiental. **Revista Ciência Hoje**, São Paulo, v. 22, n. 128, p.24-27. maio/junho, 1997.

SILVA, D.; NETO, V. F.; CARVALHO, A. M. P. Ensino da distinção entre calor e temperatura: uma visão construtivista. **Pesquisa em ensino de ciências e matemática**. (Série Ciência & Educação), Bauru, n.4, p.22-40, 1997.

TEIXEIRA, O. P. B. **Desenvolvimento do Conceito de calor e temperatura**: A mudança conceitual e o Ensino Construtivista. 1992, 183f. Tese (Doutorado na área de Didática) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 1992.

SCHENBERG, M. **Pensando a Física**. São Paulo: Brasiliense, 1984.

VALE, J. M. F. Diálogo Aberto com Demerval Saviani. In: SAVIANI, D. **Demerval Saviani e a Educação Brasileira**: O Simpósio de Marília. São Paulo: Cortez, 1994.

_____. Educação Popular. **Revista Ciência Geográfica**, nº 6, abril, 1997, p. 43-49.

VYGOTSKY, L. S. **Pensamento e Linguagem**. São Paulo: Martins Fontes, 2000.

Artigos e reportagens em jornais

TUDO o que você precisa saber para entender o efeito estufa. **O Estado de S. Paulo**, São Paulo, 1º de dez. 1997. Suplemento Extra.

ENTENDA o aquecimento global. **Folha de S. Paulo**, São Paulo, 1º nov. 1998. Suplemento Mais!, p.5.

A CIÊNCIA e os limites do consenso. **Folha de S. Paulo**, São Paulo, 1º nov. 1998. Suplemento Mais!, p.6.

LEITE, R. C. C. A queda das controvérsias. **Folha de S. Paulo**, São Paulo, 1º nov. 1998. Suplemento Mais!, p.6.

COMEÇA em Haia reunião sobre efeito estufa. **O Estado de S. Paulo**, São Paulo, p.A14 13 nov. 2001.



ASSUNÇÃO, M. Meta brasileira é regulamentar acordo de Kyoto. **O Estado de S. Paulo**, São Paulo, p.A10, 18 jul. 2001.

FRANCO, C. Redução de poluentes ganha apoio empresarial. **O Estado de S. Paulo**, São Paulo, p.A12, 22 jul. 2001.

OPEP impede aprovação de acordo pró-Kyoto. **O Estado de S. Paulo**, São Paulo, p.A7, 23 jul. 2001.

GOLDEMBERG, J. Os EUA e o aquecimento da Terra. **O Estado de S. Paulo**, São Paulo, p.A2, 24 jul. 2001.

CANADÁ quer mudar, de novo, acordo de Kyoto. **O Estado de S. Paulo**, São Paulo, p.A7, 25 jul. 2001.

KISHINAMI, R. Congresso dos EUA discute o efeito estufa. **O Estado de S. Paulo**, São Paulo, p.A16, 29 jul. 2001.

MARRAKECH tenta novo acordo sobre clima. **Folha de S. Paulo**, São Paulo, 30 out. 2001, Folha Ciência, p.A10.

MODELOS climáticos prevêem mais inundações para os próximos cem anos. **Folha de S. Paulo**, São Paulo, 31 jan. 2002, Folha Ciência, p.A12.

EM TÓQUIO, americano diz 'não' a Kyoto. **Folha de S. Paulo**, São Paulo, 2 mar 2002, Folha Ciência, p.A15.

EUROPA quer Kyoto ratificado até junho. **Folha de S. Paulo**, São Paulo, 5 mar. 2002, Folha Ciência, p.A15.

HOLANDA ratifica tratado para reduzir emissão de gases do efeito estufa. **Folha de S. Paulo**, São Paulo, 20 mar. 2002, Folha Ciência, p.A15.

ANGELO, C. Brasil elabora plano para salvar Rio + 10. **Folha de S. Paulo**, São Paulo, 22 mar. 2002, Folha Ciência, p.A16.

ANGELO, C. OMC traria Bush a Kyoto, diz economista. **Folha de S. Paulo**, São Paulo, 2 jul. 2002, Folha Ciência, p.A14.

LIMA, S. Brasil ratifica acordo contra efeito estufa. **Folha de S. Paulo**, São Paulo, 24 jul. 2002, Folha Ciência, p.A16.

RIO + 10 A década perdida do ambiente Terra -10. **Folha de S. Paulo**, São Paulo, 24 ago. 2002, Especial 1.



ARNT, R. A cúpula da crise. **Folha de S. Paulo**, São Paulo, 24 ago. 2002, Especial 3.

RÚSSIA e China dizem que ratificarão Kyoto. **Folha de S. Paulo**, São Paulo, 4 set. 2002, Folha Ciência, p.A9.

Endereços eletrônicos

ANGELO, C. Atmosfera perde capacidade autolimpante. **Folha online – Ciência**, São Paulo, 03 mai. 2001. Disponível em: < <http://www.folha.uol.com.br> >. Acesso em: 10 jun. 2003.

CAMADA de Ozônio deve voltar ao normal ainda neste século. **Folha online – Ciência**, São Paulo, 5 jun. 2003. Disponível em: < <http://www.folha.uol.com.br> >. Acesso em: 10 jun. 2003.

EFEITO ESTUFA, informações sobre gases estufa, radiação solar incidente, conseqüências etc. Disponível em: < www.geocities.com/Augusta/7135/estufaestufa.htm >. Acesso em: 20 abr. 2002.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Faculdade de Educação. Textos sobre mudanças globais. 11 módulos sobre ciclo do carbono e o Efeito Estufa. Disponível em: < <http://pauling.fe.usp.br/global/ca4/clima.htm> >. Acesso em: 20 jun. 2003.

FORUM BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. Veicula notícias sobre os tratados de redução de gases e iniciativas e novidades na área ambiental. Disponível em: < <http://www.forumclimabr.org.br> >. Acesso em: 08 ago. 2003.

CONVENÇÃO SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. Apresenta informações e endereços para acomodações em Milão, visando a nona edição da Conferência das Partes. Disponível em: < <http://www.minambiente.it/cop9/> >. Acesso em: 08 ago. 2003.

PADIS, Programa de Apoio ao Desenvolvimento Institucional e Sustentável, programa do Instituto internacional de Educação do Brasil – IIEB. Disponível em: < <http://www.padis.org.br/basepol.htm> >. Acesso em: 14 mar. 2003.

PAINEL INTERNACIONAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (Internacional Panel on Climatic Change – IPCC), Divulga informações científicas, sociais e políticas sobre as mudanças climáticas. Disponível em: < <http://www.ipcc.ch> >. Acesso em: 9 set. 2003.



0810001296

