

A Análise de Fourier e o Aquecimento Global

Marcelo Sampaio de Alencar
Instituto de Estudos Avançados em Comunicações (Iecom)
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Resumo

O artigo apresenta um resumo da história de Fourier, um dos maiores matemáticos de todos os tempos, que criou a teoria que leva seu nome. Além disso, Fourier, que também era físico, criou um modelo para explicar o clima na Terra, a partir de seu desenvolvimento matemático na área de transferência de calor.

1 A História de Jean-Baptiste Fourier

Jean-Baptiste Joseph Fourier (1768-1830) nasceu de uma família humilde, na cidade de Auxerre, França, em 21 de março de 1768. Seu pai era alfaiate e há pouca informação sobre sua mãe. Ambos morreram quando Fourier era ainda criança. Ele foi educado, graças à caridade, para ser padre (1).

A origem humilde impediu que Fourier entrasse para o exército e ele foi estudar na Escola Normal Superior da França, com os Professores Pierre Simon de Laplace e Adrien-Marie Legendre. Acabou se tornando Professor, criando a Física-Matemática e contribuindo para a Teoria de Equações Diferenciais (2).



Figura 1: Jean-Baptiste Joseph Fourier.

Mas ele não ficou apenas nisso. Fourier serviu com Napoleão no Egito, onde dirigiu um centro de pesquisas, o Instituto do Egito, e praticamente controlava toda a região do Baixo-Nilo. Escreveu um tratado sobre Egiptologia que o tornou famoso na área. Foi Prefeito de Isère e de Rhône, na França, nomeado pelo próprio Napoleão Bonaparte.

Seu nome ficou associado à série de senos e cossenos que ele propôs como solução para a equação diferencial relacionada com a condução de calor em sólidos. Essa solução era revolucionária para a época e recebeu críticas de Laplace, de Legendre e de Denis Poisson, semi-deuses da Matemática.

Porém, Fourier é venerado pela transformada que leva seu nome, a versão contínua da série, que é obtida quando se considera um número infinito de frequências com contribuições infinitesimalmente próximas.

A transformada de Fourier serve para analisar sinais e abrir o mundo a um outro domínio, além do tempo, o domínio da frequência. Essa transformada é ainda a principal ferramenta de trabalho de todo profissional de Física, Matemática, Engenharia Elétrica, Eletrônica e Telecomunicações.

Mais do que isso, a transformada de Fourier está intrinsecamente relacionada com a Teoria de Probabilidades, Processos Estocásticos, Codificação de Fonte, Codificação para Controle de Erros, Processamento de Sinais e Imagens, Análise Harmônica de Estruturas, Movimento das Ondas do Mar, Propagação Eletromagnética, Projeto de Filtros, Teoria da Modulação, Harmônicos em Sistemas de Potência, Poluição Eletromagnética, para citar apenas algumas aplicações. Aplicações que nem o grande Fourier poderia antecipar.

2 Fourier e a Transferência de Calor

Além dos estudos sobre a transferência do calor em sólidos, Fourier analisou os efeitos em líquidos e no ar. Antecipando as discussões sobre aquecimento global em quase dois séculos, ele escreveu, em 1824, com impressão em 1827, um longo artigo para a Academia de Ciências da França intitulado “As temperaturas do globo terrestre e dos espaços planetários” (3).

Nesse artigo, Fourier procurou estabelecer o conjunto de fenômenos e as relações matemáticas entre eles, para explicar de forma geral o aquecimento terrestre. De acordo com o artigo, o calor do globo terrestre deriva de três fontes distintas.

A Terra é aquecida pelos raios solares de forma não uniforme, o que provoca a diversidade de climas. O planeta está submetido à temperatura comum dos espaços planetários, estando exposto à irradiação dos incontáveis astros que existem em todas as partes do Sistema Solar. Por fim, a Terra conservou em seu interior uma parte do calor primitivo, que ela contém desde a época de formação dos planetas.

Em particular, os raios que o Sol envia incessantemente ao globo terrestre produzem dois efeitos muito distintos. Um é periódico e envolve basicamente a envoltória exterior da Terra. Esse efeito consiste nas variações diurnas ou anuais do clima. O outro é constante e se observa em lugares profundos, por exemplo bem abaixo da superfície.

A presença da atmosfera e das águas faz com que a distribuição do calor seja mais uniforme. De acordo com Fourier, os raios do Sol que chegam à Terra na forma de luz têm a propriedade de penetrar substâncias sólidas ou líquidas.

Entretanto, ao atingir os corpos terrestres, esses raios se transformam em calor radiante obscuro, como ele chamava a radiação infra-vermelha, que ainda não era conhecida por este nome na época.

A distinção entre o calor luminoso e o calor obscuro explicaria a elevação da temperatura causada pelos corpos transparentes, visto que os raios de luz atravessariam facilmente a atmosfera, enquanto os raios obscuros teriam dificuldade de realizar o caminho contrário. Esse efeito seria responsável pelo aquecimento da superfície terrestre. Fourier estava, mais uma vez, com a razão.

3 Modelo para o Clima da Terra

Segundo Fourier, o movimento do ar e das águas, o regime do mar, a elevação e a forma do solo, os efeitos da indústria humana e todas as alterações acidentais da superfície terrestre modificam as temperaturas em cada clima. A presença das nuvens, que interceptam os raios, tempera esse clima. A maior concentração de gases nas proximidades da superfície terrestre faria com que o calor ficasse contido nessa região (4).

A mobilidade das águas e do ar tendem a moderar os efeitos do calor e do frio e tornam a distribuição mais uniforme. Mas seria impossível, de acordo com Fourier, que a ação da atmosfera suplante a causa

que mantém a temperatura comum dos espaços planetários. Os outros planetas teriam efeitos climáticos semelhantes, em função dos gases que compusessem suas atmosferas.

O Químico sueco Svante Arrhenius, ganhador do prêmio Nobel de Química em 1903, partiu das idéias de Fourier e formulou a hipótese de que o ser humano, por conta da industrialização, poderia influenciar o clima pela emissão crescente de dióxido de carbono, um dos gases que provocam o conhecido efeito estufa.

Arrhenius investigou o que ocorreria com o clima global se a concentração de gás carbônico continuasse se elevando. Entretanto, apenas em 1957 os pesquisadores Roger Revelle e Hans Suess apresentaram, em um artigo, evidências convincentes do comportamento do dióxido de carbono produzido pela humanidade. Eles demonstraram que os oceanos não poderiam absorver, como se pensava à época, todo o gás carbônico produzido.

4 O Efeito Estufa

É interessante notar que uma explicação da absorção lenta do calor pelos oceanos já havia sido dada por Fourier, em 1824, relacionada com seu estudo sobre a transmissão de calor em líquidos.

Estima-se que a quantidade de gás carbônico armazenada pelos oceanos chega a 36 mil Gt (giga toneladas), que é 50 vezes o total de dióxido de carbono presente na atmosfera. Segundo Revelle e Suess, a camada superficial dos oceanos absorve lentamente esse gás, o que ocorre por difusão e posterior mistura de camadas de água. Esse último processo leva anos ou séculos.

Portanto, se os oceanos têm dificuldade em sequestrar o gás carbônico do ar, e as florestas têm um processo de emissão e absorção equilibrado, resulta um acúmulo gradativo do dióxido de carbono na atmosfera. Esse acúmulo implicaria o aumento da temperatura média na superfície da Terra, conhecido como aquecimento global. Isso está ocorrendo em um tempo geologicamente curto, de dezenas a centenas de anos.

O efeito estufa não é um efeito danoso em si. Esse aquecimento foi o fenômeno que, por possibilitar um clima mais adequado à estabilização das massas humanas, permitiu brotar o que se conhece hoje como civilização. Todas as grandes criações da humanidade, como a escrita, as ferramentas, as grandes construções, a agricultura, as cidades, a Matemática, a Física, a Biologia, a Filosofia, a Engenharia, foram forjadas nos últimos dez mil anos durante o último período de aquecimento global (5).

Exatamente o tempo em que a Terra tem se mantido aquecida a uma temperatura suficiente para propiciar a emergência e manutenção confortável da vida em boa parte de sua superfície. E esse tempo é pequeno, quando comparado com a idade da Terra, estimada em quatro bilhões de anos.

5 Epílogo

Dentro de poucas centenas ou milhares de anos, o planeta Terra entrará inexoravelmente em uma nova Era Glacial, porque essas eras são periódicas como as séries de Fourier, ou melhor, são cicloestacionárias, tendo em vista sua natureza aleatória.

Os ciclos de resfriamento global ocorrem a intervalos de aproximadamente onze mil anos e o próximo ciclo deve ocorrer muito em breve, pelo menos em termos de eras geológicas. Quando isso ocorrer, a temperatura global vai cair incrivelmente e boa parte do planeta terá um clima idêntico ao que se verifica nos polos Ártico e Antártico atualmente.

A população do mundo se deslocará, em grandes levadas, para as regiões próximas ao Equador, entre os trópicos de Câncer e Capricórnio, como ocorreu muitas vezes em passado remoto. A vida fora dessa região, dita tropical, será muito difícil.

Provavelmente haverá guerras pela ocupação dos espaços e parte da população terrestre será dizimada nesse processo. Uma nova civilização emergirá desses conflitos, ou sucumbirá levando consigo todo o conhecimento acumulado na última era de aquecimento global.

Dentro de alguns séculos é possível que dirigentes, antevendo esses fatos, comecem a desenvolver estratégias para preveni-los ou minimizá-los. Isso poderia, paradoxalmente, envolver estudos para maximizar o efeito estufa descoberto por Fourier. É provável que, dentro de alguns anos, os ambientalistas estejam unidos aos dirigentes em um movimento a favor do aquecimento global.

Referências

Marcelo S. Alencar. A Análise de Fourier sobre o Aquecimento Global I. Artigo para jornal eletrônico na Internet, *Jornal do Commercio On Line*, Recife, Brasil, Julho 2007.

Wikipédia. Jean-Baptiste Joseph Fourier. Internet site, pt.wikipedia.org/wiki/Jean-Baptiste_Joseph_Fourier, 2012.

Marcelo S. Alencar. A Análise de Fourier sobre o Aquecimento Global II. Artigo para jornal eletrônico na Internet, *Jornal do Commercio On Line*, Recife, Brasil, Julho 2007.

Marcelo S. Alencar. A Análise de Fourier sobre o Aquecimento Global III. Artigo para jornal eletrônico na Internet, *Jornal do Commercio On Line*, Recife, Brasil, Julho 2007.

Marcelo S. Alencar. A Análise de Fourier sobre o Aquecimento Global IV. Artigo para jornal eletrônico na Internet, *Jornal do Commercio On Line*, Recife, Brasil, Agosto 2007.