

# Simulações computacionais da radiação cósmica de fundo pelo CMBFAST



**Gibran Henrique de Souza** (gibransouza@gmail.com)  
**Orientador: Samuel Rocha de Oliveira** (samuel@ime.unicamp.br)  
Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica  
Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)  
Serviço de Apoio ao Estudante (SAE/UNICAMP)  
Palavras-Chave: Cosmologia - Radiação Cósmica de fundo - Computação Científica



## Resumo

O objetivo desse trabalho foi entender o programa de simulação computacional, o CMBFAST, na sua versão on-line, disponibilizada livremente no site da NASA. Esta interface permite o cálculo da distribuição angular e de energia da radiação cósmica de fundo. A interface permite ainda a comparação de grandezas simuladas e valores observados, tais como a polarização e o desvio espectral. Dessa forma compreendemos, com base em simulações especiais, como as modificações em alguns parâmetros cosmológicos teóricos ou de cálculo numérico afetam as grandezas relevantes da cosmologia observacional moderna.

## Introdução

A Radiação Cósmica de Fundo é um fundo em microondas que permeia o universo de forma quase isotrópica e apresenta uma temperatura de corpo negro na média de 2,7K. Acreditasse que esta radiação é um remanescente do período do desacoplamento, quando matéria e radiação se separaram e o universo ficou transparente à radiação. Devido à expansão do universo esta radiação dissipou-se e foi resfriando até atingir o valor atual. Acidentalmente descoberta por Arno Penzias e Robert Wilson em 1965, é o principal objeto de estudo da Cosmologia Moderna.

## 1 - As anisotropias

Com a evolução dos equipamentos de detecção descobriu-se que a radiação de fundo apresenta pequenas variações na sua temperatura média, tais variações são detectadas através do seu "Redshift", um deslocamento para o vermelho do comprimento de onda da radiação medida. Este deslocamento é interpretado como sendo o resultado da atração gravitacional durante o desacoplamento, uma atração maior causou um deslocamento maior. Essas regiões de maior atração possuíam maior massa, e conforme o universo evoluía essas regiões deram origem às grandes estruturas (galáxia e aglomerados de galáxias) que vemos hoje.

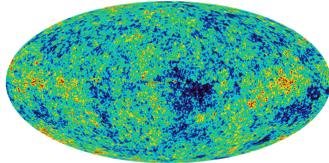


Figura 1: As anisotropias como detectadas pelo WMAP

## 2 - A interface CMBFAST

Esta interface on-line disponível no LAMBDA, um site da NASA especializado na apresentação dos resultados da radiação cósmica de fundo, permite simulações simples de como seria um universo com a idade atual do nosso mas cujo os parâmetros iniciais foram modificados. O programa exibe o resultado como um mapa da radiação cósmica de fundo e gráficos sobre a polarização e os desvios sofridos por esta radiação ao longo da evolução do universo. Isto é feito através da integração numérica dos cones de luz dos fótons que chegam ao observador desde o passado remoto até o presente, levando em conta a expansão do universo e possíveis interações gravitacionais e eletromagnéticas com a matéria em aglomerados ao longo do caminho dos fótons. Sua linguagem de programação é a C++, uma linguagem simples mas mais lenta das que as suas sucessoras.

## 3- As simulações

No site da interface já estão configurados os valores padrão que se simulados dão origem a um universo semelhante ao nosso, esta é a simulação de controle que serve para comparação com as outras simulações. Há uma variedade de parâmetros que podem ser ajustados, mas os principais são aqueles que definem a densidade inicial de matéria comum e matéria negra, a densidade de energia escura, a constante de Hubble e a temperatura final da radiação cósmica de fundo. Além destes há ainda as definições matemáticas, mas estas não foram alteradas devido à sua complexidade e pelo nosso desconhecimento das funções utilizadas.

### 3-1- Simulação Padrão

Aqui a simulação utiliza os parâmetros conhecidos atualmente, a densidade de matéria medida e a temperatura da radiação cósmica de fundo. Os gráficos gerados são a base de comparação para os outros resultados, sendo o da polarização TE aquele que descreve as flutuações na radiação cósmica de fundo.

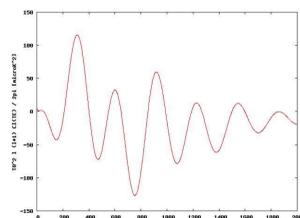


Figura 2: A simulação padrão

### 3-2- Simulação para um universo com 3 vezes mais matéria que o nosso

No gráfico da polarização TT vemos um pico que evidencia um forte desvio, isso indica a existência de super estruturas, o que era de se esperar neste universo mais massivo.

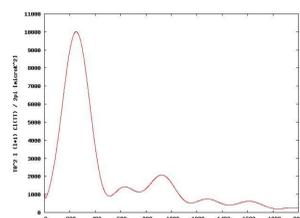
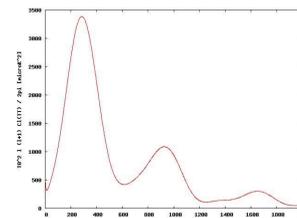


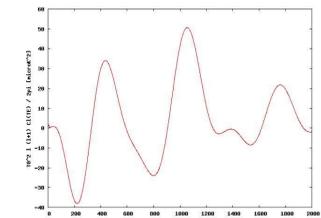
Figura 3: Resultado para a polarização TT

### 3-3- Simulação para um universo com radiação cósmica de fundo de 1,725K

Neste universo a temperatura final da radiação cósmica de fundo é 1K abaixo da do nosso, nesse universo o resfriamento foi mais rápido fazendo com que a matéria se acumulasse em algumas regiões e se dissipando em outras de forma mais acentuada do que o nosso, por isso o pico no gráfico da polarização TT, o pico secundário indica que estruturas menores conseguiram se formar e sobreviver. As flutuações nos valores médios de temperatura são dadas pelo gráfico da polarização TE.



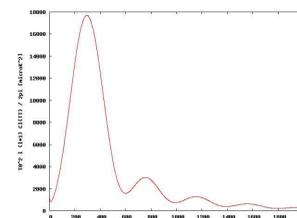
(a) Figura 4: Resultado para a polarização TT



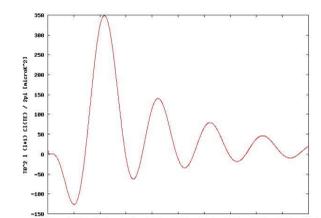
(b) Figura 5: Resultado para a polarização TE

### 3-4- Simulação para um universo sem matéria escura

Para esta simulação o valor correspondente a de matéria escura foi transferido para o de matéria comum, resultando em um universo com 6 vezes mais matéria comum do que o nosso. O pico no gráfico da polarização TT e a queda acentuada diz que apenas uma super estrutura se formou e concentrou a maior parte da matéria, o que causou um grande desvio na radiação; o gráfico da polarização TE diz que este desvio é expressivo para próximo desta estrutura mas que ele diminui conforme se afasta dela.



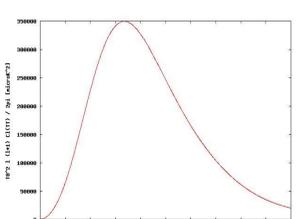
(c) Figura 6: Resultado para a polarização TT



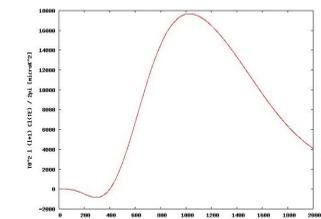
(d) Figura 7: Resultado para a polarização TE

### 3-5- Simulação para um universo com uma taxa de expansão 10 vezes maior que o do nosso

Este é um caso extremo em que a alta expansão não permitiu a formação de grandes estruturas, dissipando toda a matéria. Isto fica claro no gráfico da polarização TT que apresenta um largo pico na região central, indicando que o desvio foi suave e contínuo. O gráfico da polarização TE indica uma acumulação das flutuações parecidas, causada pela matéria dissipada.



(e) Figura 8: Resultado para a polarização TT



(f) Figura 9: Resultado para a polarização TE

## Conclusão

Esta interface oferece uma ótima base para estudos sobre as influências que diferentes parâmetros podem ter a Radiação Cósmica de Fundo, suas simulações são de fácil interpretação para alguém com noções de cosmologia e não são pesadas do ponto de vista computacional. Nas nossas simulações usamos casos extremos para que a visualização dos resultados fosse mais nítida, mas casos mais detalhados podem ser feitos sem perda de generalidade.

## Referências Bibliográficas

Mukhanov, V. Physical Foundations of Cosmology. Cambridge University Press, first published 2005; Komatsu, E., et al., Seven-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Cosmological Interpretation (2010); Bennett, C., et al., Observations: Seven-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Are There Cosmic Microwave Background Anomalies? (2010).