

Análise da distribuição de raios cósmicos e de processos pontuais similares na esfera

B. L. Lago^{†1} , M. Calvão[†], J. R. T. de Mello Neto[†], E.
M. Santos[†] e A. Olinto^{*}

VIII NFE - 2009 Campos do Jordão - SP

ARCOS - Astrofísica, Relatividade e COSmologia IF - UFRJ



¹Bolsista - CNPq ; [†]IF-UFRJ ; ^{*}University of Chicago

Índice

- 1 Introdução
- 2 Método dos vazios
- 3 Resultados I
- 4 Método de Agulhetas
- 5 Resumo

Anisotropia

- Direções preferenciais (raios cósmicos);
- Pequena ou grande escala (angular);

Motivação para o estudo de anisotropias

Raios Cósmicos:

Direção de chegada pode indicar fontes interessantes ou estruturas em larga escala.

CMB:

Anisotropias na temperatura são importantes para a cosmologia.

Objetos astrofísicos:

Distribuição de objetos no céu ajuda a entender a estrutura do universo.

Anisotropia

- Direções preferenciais (raios cósmicos);
- Pequena ou grande escala (angular);

Motivação para o estudo de anisotropias

Raios Cósmicos:

Direção de chegada pode indicar fontes interessantes ou estruturas em larga escala.

CMB:

Anisotropias na temperatura são importantes para a cosmologia.

Objetos astrofísicos:

Distribuição de objetos no céu ajuda a entender a estrutura do universo.

Testando a anisotropia

- Teste: isotrópico \times anisotrópico;
 - Métodos baseados em comparação com isotropia;
 - Aplicar um dado método para várias amostras anisotrópicas.
- Utilizamos dois métodos:
 - Método baseado em *vazios*;
 - Método utilizando *agulhetas* (tipo de ondaleta).

Testando a anisotropia

- Teste: isotrópico \times anisotrópico;
 - Métodos baseados em comparação com isotropia;
 - Aplicar um dado método para várias amostras anisotrópicas.
- Utilizamos dois métodos:
 - Método baseado em *vazios*;
 - Método utilizando *agulhetas* (tipo de ondaleta).

Motivação para a procura de vazios

- Desvios da isotropia:
 - Alteração da distribuição de vazios.

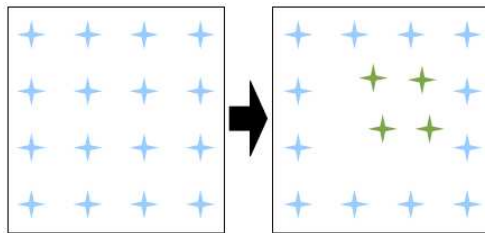


Figura: Ilustração da alteração da distribuição de vazios.

Distribuição de raios dos vazios

- Simplicidade \Rightarrow raios ao invés de áreas;
- Dado um ponto P
 - R = distância ao primeiro vizinho.

Procedimento

- Escolher P , calcular R , mover P até maximizar R ;
 - Critério: repetir até *mudar de primeiro vizinho*.
- Fazer N vezes;
 - Distribuição de raios dos vazios.

LogLikelihood

- Obter a distribuição de raios dos vazios para 10^5 mapas isotrópicos (60 eventos cada um)
 - Histograma - ISO;
- Para mapas sabidamente anisotrópicos:
 - Obter a dist. de raios dos vazios (MOCK);
 - comparar com ISO (Poisson);
 - $LL = \sum_i LL_i$ (i é o índice do bin)
 - $LL_i = -ISO_i + MOCK_i \cdot \log(ISO_i) - \log(MOCK_i!)$

LogLikelihood cont.

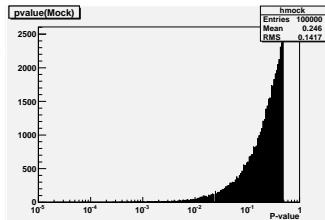
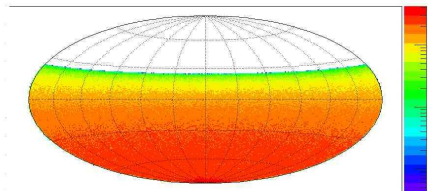
- Distribuição de LL para 10^5 mapas isotrópicos
 - Normalizamos - \mathcal{LL} ;
 - estimador P - $value = \int_{-\infty}^a P(x) dx$.
- P - $value$ de cada mapa fictício $[0,1]$:
 - Testa a compatibilidade com a hipótese nula (isotropia);
 - Se menor que a significância α : incompatível àquele nível;
 - Caso contrário: nada a declarar.

LogLikelihood cont.

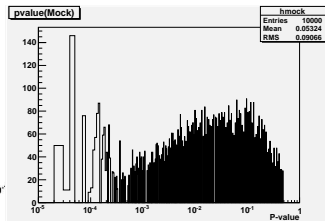
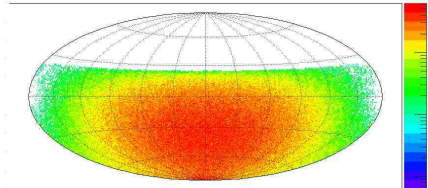
- Distribuição de LL para 10^5 mapas isotrópicos
 - Normalizamos - \mathcal{LL} ;
 - estimador P - $value = \int_{-\infty}^a P(x) dx$.
- P - $value$ de cada mapa fictício $[0,1]$:
 - Testa a compatibilidade com a hipótese nula (isotropia);
 - Se menor que a significância α : incompatível àquele nível;
 - Caso contrário: nada a declarar.

Resultados

ISOTROPY.60.0100.mock



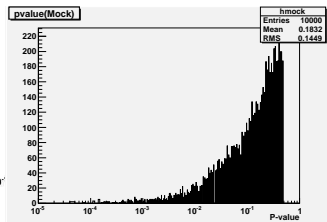
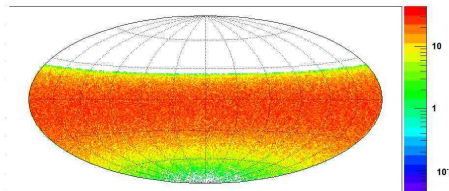
DIPOLEX.60.0010.mock



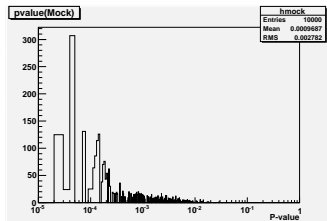
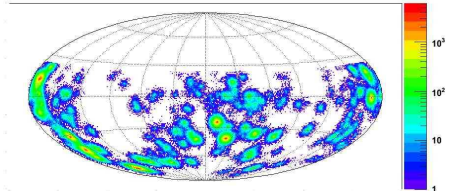
Mapas cedidos gentilmente por Lorenzo Cazon

Resultados cont.

DIPOLEz.60.0010.mock



VCV0020.60.0010.mock



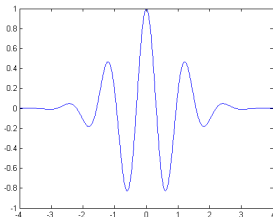
Mapas cedidos gentilmente por Lorenzo Cazon

Ondaletas (wavelets)

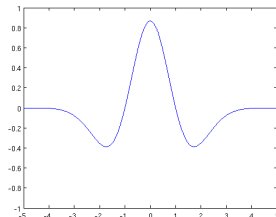
- Oscilação e decaimento;
- Mãe \Rightarrow translação e escalonamento \Rightarrow filhas;

Mãe	filha
$\psi(t)$	$\psi_{ab}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$

- Podemos expandir funções em ondaletas!



(a) Ondaleta de Morlet



(b) Chapéu mexicano

A agulheta

- Tipo de ondaleta;
- Utilizando uma pixelização:

$$\psi_{jk}(\hat{\gamma}) = \sum_l b\left(\frac{l}{B^j}\right) \sum_{m=-l}^l \bar{Y}_{lm}(\hat{\gamma}) Y_{lm}(\xi_k)$$

- j → índice de escala
- k → índice de posição
- ξ_k → posição do pixel
- $\hat{\gamma}$ → dist. angular

- $b(l/B^j)$ é uma função janela em l ;

Coeficientes

$$\beta_{jk} = \sum_l b\left(\frac{l}{B^j}\right) \sum_{m=-l}^l a_{lm} Y_{lm}(\xi_k)$$

A função b

- Obtida a partir de uma *Receita*;

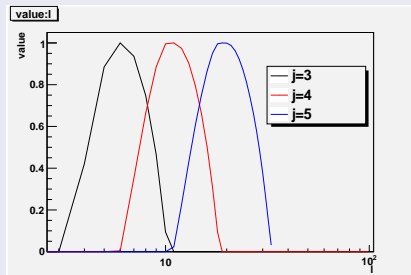


Figura: Plot da função b para diferentes valores de j .

Obtenção dos a_{lm}

- Utilização do GLESP;
<http://www.glesp.nbi.dk/>

Cálculo de β_{jk}

- De posse dos a_{lm} , calculamos os β_{jk} para todos os pixels.
- Utilizamos $B = 1.8$, $j = 1, 2, 3, 4, 5$. Para testar.
- Resolução angular:
 $\Delta b \sim 2^\circ$;
Encontrar B e j que selecionem essa região.

A função b

- Obtida a partir de uma *Receita*;

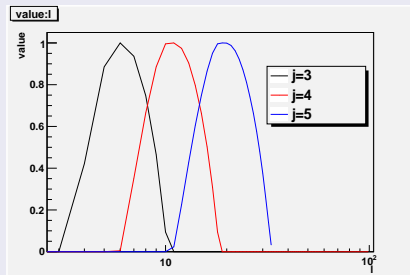


Figura: Plot da função b para diferentes valores de j .

Obtenção dos a_{lm}

- Utilização do GLESP;
<http://www.glesp.nbi.dk/>

Cálculo de β_{jk}

- De posse dos a_{lm} , calculamos os β_{jk} para todos os pixels.
- Utilizamos $B = 1.8$, $j = 1, 2, 3, 4, 5$. Para testar.
- Resolução angular:
 $\Delta b \sim 2^\circ$;
Encontrar B e j que selecionem essa região.

A função b

- Obtida a partir de uma *Receita*;

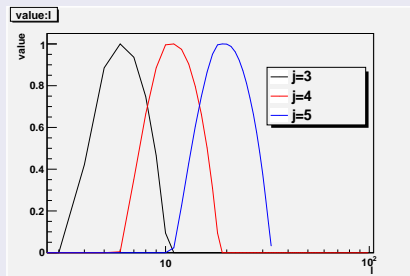


Figura: Plot da função b para diferentes valores de j .

Obtenção dos a_{lm}

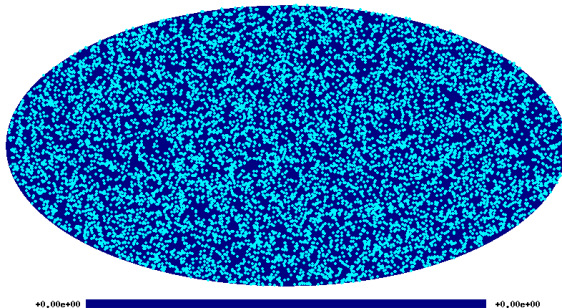
- Utilização do GLESP;
<http://www.glesp.nbi.dk/>

Cálculo de β_{jk}

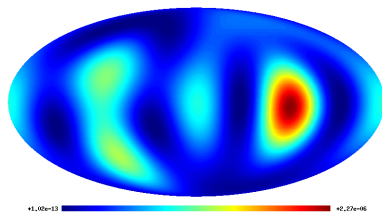
- De posse dos a_{lm} , calculamos os β_{jk} para todos os pixels.
- Utilizamos $B = 1.8$, $j = 1, 2, 3, 4, 5$. Para testar.
- Resolução angular:
 $\Delta b \sim 2^\circ$;
Encontrar B e j que selecionem essa região.

Amostra utilizada

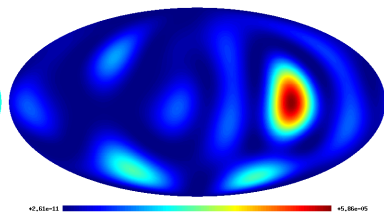
- 10^4 eventos isotrópicos;



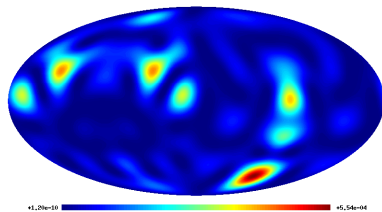
Coefficientes - preliminar



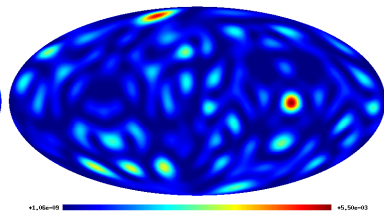
(a) $j=1$



(b) $j=2$



(c) $j=3$



(d) $j=4$

Ranges: $j = 1 \sim [10^{-13}, 2 \times 10^{-6}]$, $j = 2 \sim [2.6 \times 10^{-11}, 5 \times 10^{-5}]$,

$j = 3 \sim [1.2 \times 10^{-10}, 5.5 \times 10^{-4}]$, $j = 4 \sim [10^{-9}, 5.5 \times 10^{-3}]$

Resumo

- Método dos vazios:
 - Eficiente em alguns casos;
- Melhorias possíveis:
 - Ex.: critério para encontrar a maior distância;
- Estudo de ondaletas:
 - Melhor escolha de B ;
 - Aplicar a mapas anisotrópicos.

Referências

- Lachièze-Rey, M., da Costa, L. N., Maurodordato, S. 1992 ApJ **399**, 10-15;
- Pietrobon, D., Amblard, A., Balbi, A., Cabella, P., Cooray, A. & Marinucci, D. 2008b, Phys. Rev. D., **78**, 103504;
- Marinucci, D., Pietrobon, D., Balbi, A., Baldi, P., Cabella, P., Kerkyacharian, G., Natoli, P., Picard, D. and Vittorio N., MNRAS **383**, 539 (2008), 0707.0844;