

# Vinculando o parâmetro de aglomeração $\alpha$ com SNe Ia e *Gamma-Ray Bursts*

V. C. Busti, R. C. Santos e J. A. S. Lima

Departamento de Astronomia - IAG/USP

12/02/2009

# Sumário

- 1 Motivação do Trabalho
- 2 A Equação ZKDR (Zeldovich–Kantowski–Dyer–Roeder)
- 3 Amostras
- 4 Análise
- 5 Vínculos em  $(\alpha, \Omega_M)$
- 6 Comentários Finais

# Motivação do Trabalho

- O universo é homogêneo e isotrópico apenas em grandes escalas, da ordem de centenas de Mpc.

# Motivação do Trabalho

- O universo é homogêneo e isotrópico apenas em grandes escalas, da ordem de centenas de Mpc.
- A trajetória da luz é afetada pelas inhomogeneidades locais, o que modifica as distâncias e por consequência a determinação dos parâmetros cosmológicos.

# Motivação do Trabalho

- O universo é homogêneo e isotrópico apenas em grandes escalas, da ordem de centenas de Mpc.
- A trajetória da luz é afetada pelas inhomogeneidades locais, o que modifica as distâncias e por consequência a determinação dos parâmetros cosmológicos.
- De suma importância é quantificar a influência das inhomogeneidades, que é o objetivo deste trabalho.

# Motivação do Trabalho

- O universo é homogêneo e isotrópico apenas em grandes escalas, da ordem de centenas de Mpc.
- A trajetória da luz é afetada pelas inhomogeneidades locais, o que modifica as distâncias e por consequência a determinação dos parâmetros cosmológicos.
- De suma importância é quantificar a influência das inhomogeneidades, que é o objetivo deste trabalho.
- Não temos a métrica perturbada. Uma possibilidade é usar o método de Dyer-Roeder.

# Motivação do Trabalho

- O universo é homogêneo e isotrópico apenas em grandes escalas, da ordem de centenas de Mpc.
- A trajetória da luz é afetada pelas inhomogeneidades locais, o que modifica as distâncias e por consequência a determinação dos parâmetros cosmológicos.
- De suma importância é quantificar a influência das inhomogeneidades, que é o objetivo deste trabalho.
- Não temos a métrica perturbada. Uma possibilidade é usar o método de Dyer-Roeder.
- Para tal, utilizamos a equação por nós denominada de ZKDR (Zeldovich–Kantowski–Dyer–Roeder).

# A Equação ZKDR (Zeldovich–Kantowski–Dyer–Roeder)

- Para deduzirmos a equação ZKDR, partimos da equação óptica de Sachs

$$\frac{1}{\sqrt{A}} \frac{d^2 \sqrt{A}}{d\lambda^2} = -\frac{1}{2} \left( \sigma^2 + R_{\mu\nu} k^\mu k^\nu \right) \quad (1)$$

# A Equação ZKDR (Zeldovich–Kantowski–Dyer–Roeder)

- Para deduzirmos a equação ZKDR, partimos da equação óptica de Sachs

$$\frac{1}{\sqrt{A}} \frac{d^2 \sqrt{A}}{d\lambda^2} = -\frac{1}{2} \left( \sigma^2 + R_{\mu\nu} k^\mu k^\nu \right) \quad (1)$$

e adotamos o cenário de Dyer-Roeder para o modelo  $\Lambda$ CDM (Schneider et al. 1992):

$$\alpha = \frac{\rho_{Hom}}{\rho_{Total}} = \frac{\rho_{Total} - \rho_{Aglom}}{\rho_{Total}} = 1 - \frac{\rho_{Aglom}}{\rho_{Total}}, \quad (2)$$

$$T^{\mu\nu} = T_M^{\mu\nu} + T_\Lambda^{\mu\nu} = \alpha \rho_M u^\mu u^\nu + \rho_\Lambda g^{\mu\nu}. \quad (3)$$

# A Equação ZKDR (Zeldovich–Kantowski–Dyer–Roeder)

- Para deduzirmos a equação ZKDR, partimos da equação óptica de Sachs

$$\frac{1}{\sqrt{A}} \frac{d^2 \sqrt{A}}{d\lambda^2} = -\frac{1}{2} \left( \sigma^2 + R_{\mu\nu} k^\mu k^\nu \right) \quad (1)$$

e adotamos o cenário de Dyer-Roeder para o modelo  $\Lambda$ CDM (Schneider et al. 1992):

$$\alpha = \frac{\rho_{Hom}}{\rho_{Total}} = \frac{\rho_{Total} - \rho_{Aglom}}{\rho_{Total}} = 1 - \frac{\rho_{Aglom}}{\rho_{Total}}, \quad (2)$$

$$T^{\mu\nu} = T_M^{\mu\nu} + T_\Lambda^{\mu\nu} = \alpha \rho_M u^\mu u^\nu + \rho_\Lambda g^{\mu\nu}. \quad (3)$$

- Como  $D_A \propto \sqrt{A}$ , considerando o modelo  $\Lambda$ CDM plano, o *shear* nulo e fazendo a transformação do parâmetro afim  $\lambda$  para o *redshift* temos:

$$(1+z)^2 F \frac{d^2 D_A}{dz^2} + (1+z) G \frac{dD_A}{dz} + H D_A = 0, \quad (4)$$

onde  $F$ ,  $G$  e  $H$  são funções do *redshift* e dos parâmetros cosmológicos.

## A Equação ZKDR (Zeldovich–Kantowski–Dyer–Roeder)

- Como  $D_L = (1 + z)^2 D_A$  obtemos a equação ZKDR em função da distância de luminosidade:

$$(1 + z)^2 \mathcal{F} \frac{d^2 D_L}{dz^2} - (1 + z) \mathcal{G} \frac{dD_L}{dz} + \mathcal{H} D_L = 0, \quad (5)$$

# A Equação ZKDR (Zeldovich–Kantowski–Dyer–Roeder)

- Como  $D_L = (1+z)^2 D_A$  obtemos a equação ZKDR em função da distância de luminosidade:

$$(1+z)^2 \mathcal{F} \frac{d^2 D_L}{dz^2} - (1+z) \mathcal{G} \frac{dD_L}{dz} + \mathcal{H} D_L = 0, \quad (5)$$

onde

$$\mathcal{F} = \Omega_M (1+z)^3 + (1 - \Omega_M) (1+z)^{-3},$$

$$\mathcal{G} = \frac{1}{2} \Omega_M + 2(1 - \Omega_M) (1+z)^{-3},$$

$$\mathcal{H} = \frac{3\alpha - 2}{2} \Omega_M + 2(1 - \Omega_M) (1+z)^{-3}, \quad (6)$$

# A Equação ZKDR (Zeldovich–Kantowski–Dyer–Roeder)

- Como  $D_L = (1+z)^2 D_A$  obtemos a equação ZKDR em função da distância de luminosidade:

$$(1+z)^2 \mathcal{F} \frac{d^2 D_L}{dz^2} - (1+z) \mathcal{G} \frac{dD_L}{dz} + \mathcal{H} D_L = 0, \quad (5)$$

onde

$$\mathcal{F} = \Omega_M (1+z)^3 + (1 - \Omega_M) (1+z)^{-3},$$

$$\mathcal{G} = \frac{1}{2} \Omega_M + 2(1 - \Omega_M) (1+z)^{-3},$$

$$\mathcal{H} = \frac{3\alpha - 2}{2} \Omega_M + 2(1 - \Omega_M) (1+z)^{-3}, \quad (6)$$

e

$$\mu = 5 \log [D_L (\text{Mpc})] + 25. \quad (7)$$

# Amostras Utilizadas

- 307 SNe Ia obtidas por Kowalski et al. (2008) (*Union Compilation Data*).

# Amostras Utilizadas

- 307 SNe Ia obtidas por Kowalski et al. (2008) (*Union Compilation Data*).
- 69 *Gamma-Ray Bursts* calibrados por Schaefer (2007).

# O Teste $\chi^2$

- O  $\chi^2$  para o modelo considerado é dado por:

$$\chi^2 = \sum_i^N \frac{(\mu_{teor}(z_i, \alpha, \Omega_M, H_0) - \mu_i(z_i))^2}{\sigma_{\mu_i}^2}. \quad (8)$$

## O Teste $\chi^2$

- O  $\chi^2$  para o modelo considerado é dado por:

$$\chi^2 = \sum_i^N \frac{(\mu_{teor}(z_i, \alpha, \Omega_M, H_0) - \mu_i(z_i))^2}{\sigma_{\mu_i}^2}. \quad (8)$$

- Como não estamos interessados no valor de  $H_0$ , devemos marginalizar sobre tal parâmetro.

## O Teste $\chi^2$

- O  $\chi^2$  para o modelo considerado é dado por:

$$\chi^2 = \sum_i^N \frac{(\mu_{teor}(z_i, \alpha, \Omega_M, H_0) - \mu_i(z_i))^2}{\sigma_{\mu_i}^2}. \quad (8)$$

- Como não estamos interessados no valor de  $H_0$ , devemos marginalizar sobre tal parâmetro.
- Obtemos uma nova *Likelihood* integrando sobre  $H_0$ :

$$\tilde{\mathcal{L}} = \int e^{-\frac{\chi^2}{2}} \pi(H_0) dH_0, \quad (9)$$

onde  $\pi(H_0)$  é o *prior* a ser adotado.

# O Teste $\chi^2$

- O  $\chi^2$  para o modelo considerado é dado por:

$$\chi^2 = \sum_i^N \frac{(\mu_{teor}(z_i, \alpha, \Omega_M, H_0) - \mu_i(z_i))^2}{\sigma_{\mu_i}^2}. \quad (8)$$

- Como não estamos interessados no valor de  $H_0$ , devemos marginalizar sobre tal parâmetro.
- Obtemos uma nova *Likelihood* integrando sobre  $H_0$ :

$$\tilde{\mathcal{L}} = \int e^{-\frac{\chi^2}{2}} \pi(H_0) dH_0, \quad (9)$$

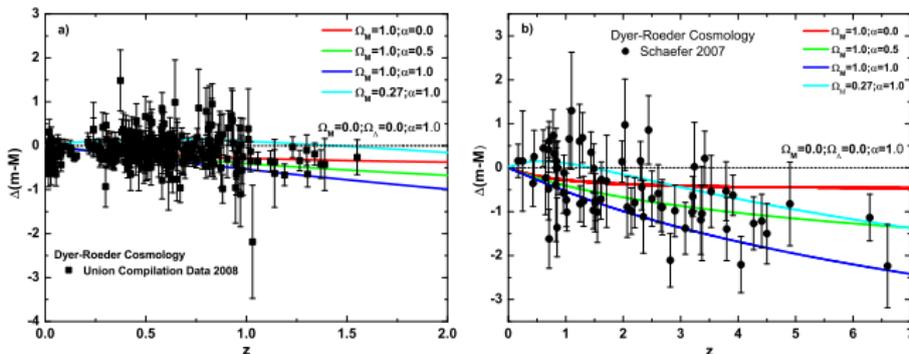
onde  $\pi(H_0)$  é o *prior* a ser adotado.

- Adotamos um *prior* gaussiano com valor central de  $H_0 = 72 \text{ Km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ .

# Magnitude Residual

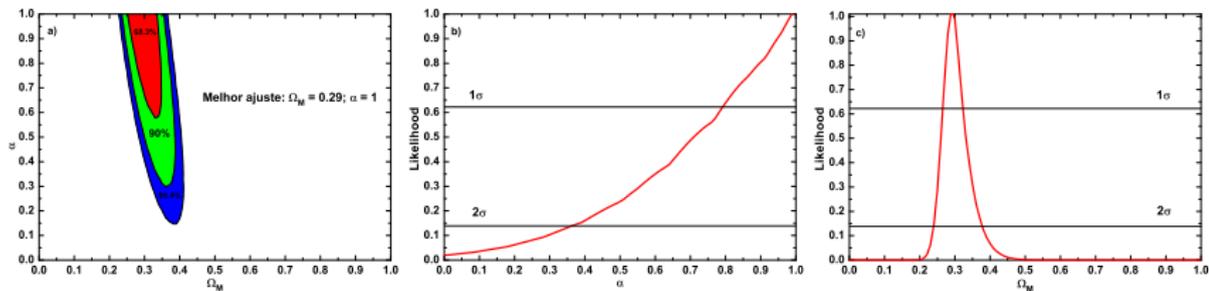
Influência do parâmetro de aglomeração  $\alpha$  na distância

- O parâmetro de aglomeração  $\alpha$  influencia na determinação das distâncias, que por sua vez alteram o valor da magnitude residual comparada a um universo vazio.



# Supernovas Ia

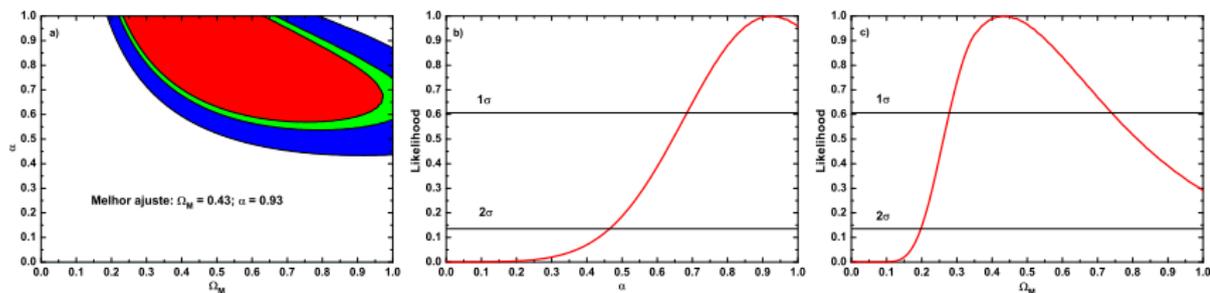
## ■ Vínculos obtidos:



Regiões com  $2\sigma$  de confiança:  $0.36 \leq \alpha \leq 1.0$  e  $0.24 \leq \Omega_M \leq 0.37$ .

# Gamma-Ray Bursts

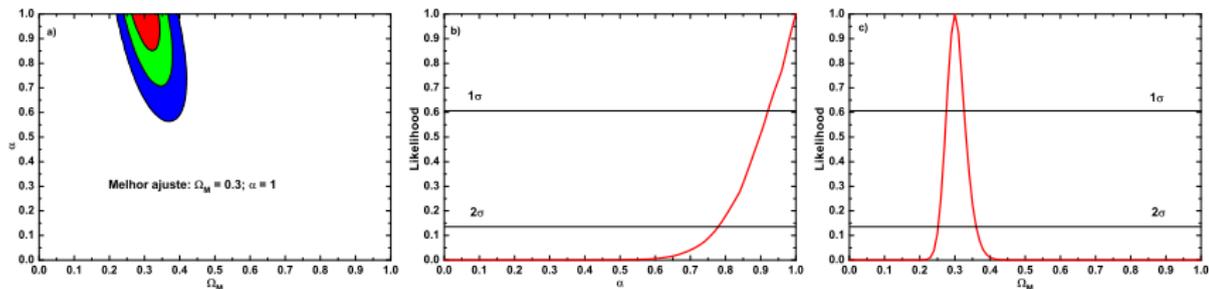
## ■ Vínculos obtidos:



Regiões com  $2\sigma$  de confiança:  $0.47 \leq \alpha \leq 1.0$  e  $0.20 \leq \Omega_M \leq 1.0$ .

# Supernovas Ia + *Gamma-Ray Bursts*

## ■ Análise conjunta:



Regiões com  $2\sigma$  de confiança:  $0.78 \leq \alpha \leq 1.0$  e  $0.26 \leq \Omega_M \leq 0.36$ .

# Resumo

- Mostramos agora em resumo os resultados obtidos:

Amostra	$\chi^2_{min}$	$\alpha_{MA}$	$(\Omega_M)_{MA}$	$2\sigma$	$2\sigma$
SNe Ia	312.38	1	0.29	$0.36 \leq \alpha \leq 1.0$	$0.24 \leq \Omega_M \leq 0.37$
GRB	70.65	0.93	0.43	$0.47 \leq \alpha \leq 1.0$	$0.20 \leq \Omega_M \leq 1.0$
SNe Ia e GRB	383.73	1	0.30	$0.78 \leq \alpha \leq 1.0$	$0.26 \leq \Omega_M \leq 0.36$

# Conclusões e Perspectivas

## Conclusões e Perspectivas

- A análise conjunta utilizando SNe Ia e *Gamma-Ray Bursts* permitiu quebrar a degenerescência entre os parâmetros  $\alpha$  e  $\Omega_M$ , fazendo com que ambos fossem bem vinculados.

## Conclusões e Perspectivas

- A análise conjunta utilizando SNe Ia e *Gamma-Ray Bursts* permitiu quebrar a degenerescência entre os parâmetros  $\alpha$  e  $\Omega_M$ , fazendo com que ambos fossem bem vinculados.
- Os *Gamma-Ray Bursts* constituem uma ferramenta interessante (módulo calibrações) para vincular os parâmetros cosmológicos, complementar a outros testes.

## Conclusões e Perspectivas

- A análise conjunta utilizando SNe Ia e *Gamma-Ray Bursts* permitiu quebrar a degenerescência entre os parâmetros  $\alpha$  e  $\Omega_M$ , fazendo com que ambos fossem bem vinculados.
- Os *Gamma-Ray Bursts* constituem uma ferramenta interessante (módulo calibrações) para vincular os parâmetros cosmológicos, complementar a outros testes.
- Esperamos estudar a dependência do parâmetro de aglomeração  $\alpha$  com o *redshift*, uma vez que tal dependência deve ocorrer devido ao processo de formação de estruturas.

## Conclusões e Perspectivas

- A análise conjunta utilizando SNe Ia e *Gamma-Ray Bursts* permitiu quebrar a degenerescência entre os parâmetros  $\alpha$  e  $\Omega_M$ , fazendo com que ambos fossem bem vinculados.
- Os *Gamma-Ray Bursts* constituem uma ferramenta interessante (módulo calibrações) para vincular os parâmetros cosmológicos, complementar a outros testes.
- Esperamos estudar a dependência do parâmetro de aglomeração  $\alpha$  com o *redshift*, uma vez que tal dependência deve ocorrer devido ao processo de formação de estruturas.
- Esperamos estudar a influência do *shear* na determinação das distâncias. Trabalho em progresso.

- 69 *Gamma-Ray Bursts* calibrados por Schaefer (2007) através de 5 indicadores de luminosidade

- 69 *Gamma-Ray Bursts* calibrados por Schaefer (2007) através de 5 indicadores de luminosidade
  - $\tau_{\text{lag}} - L$
  - $V - L$
  - $E_{\text{peak}} - L$
  - $E_{\text{peak}} - E_{\gamma}$
  - $\tau_{\text{RT}} - L$

- 69 *Gamma-Ray Bursts* calibrados por Schaefer (2007) através de 5 indicadores de luminosidade

- $\tau_{\text{lag}} - L$
- $V - L$
- $E_{\text{peak}} - L$
- $E_{\text{peak}} - E_{\gamma}$
- $\tau_{\text{RT}} - L$

$$f = \frac{L}{4\pi D_L^2} \quad E_{\gamma} = (1 - \cos \theta_{\text{jet}}) 4\pi D_L^2 S_{\text{bolo}} (1+z)^{-1} \quad (10)$$

$$\mu = 5 \log [D_L (\text{Mpc})] + 25. \quad (11)$$