



**SIMULADO NOIC 08 – ANÁLISE DE DADOS
SELEÇÃO DAS EQUIPES BRASILEIRAS PARA
XIII IOAA E XI OLAA DE 2019**

Nome:

Nota:

ANÁLISE DE DADOS

Instruções

- Essa prova é individual e consultas não são permitidas;
- Nas últimas páginas você encontrará papéis milimetrados, que podem ser utilizados para solucionar as questões;
- A prova tem duração total de **3 horas**;
-
- É permitido o uso de calculadora científica, não programável, para auxiliar nos cálculos das questões;



Tabela de Constantes

O Sol	
Massa	$M_{\odot} = 1,99 \times 10^{30} \text{ kg}$
Raio	$R_{\odot} = 6,96 \times 10^8 \text{ m}$
Luminosidade	$L_{\odot} = 3,83 \times 10^{26} \text{ W}$
Magnitude absoluta visual	$M_{V_{\odot}} = 4,82$
Magnitude aparente visual	$m_{\odot} = -26,72$
Temperatura Superficial	$T_{\odot} = 5778 \text{ K}$
Velocidade orbital na Galáxia	$v_{\odot} = 220 \text{ km s}^{-1}$
Distância até o centro galáctico	$d_{\odot GC} = 8,5 \text{ kpc}$
A Terra	
Massa	$M_{\oplus} = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$
Raio	$R_{\oplus} = 6,37 \times 10^6 \text{ m}$
Aceleração da gravidade na superfície	$g_{\oplus} = 9,81 \text{ m/s}^2$
Albedo	$\alpha_{\oplus} = 0,39$
Obliquidade da Eclíptica	$\epsilon = 23^{\circ}27'$
Duração do Ano Tropical	<i>365,2422 dias solares médios</i>
Duração do Ano Sideral	<i>365,2564 dias solares médios</i>
A Lua	
Massa	$M_L = 7,44 \times 10^{22} \text{ kg}$
Raio	$R_L = 1,74 \times 10^6 \text{ m}$
Distância Terra-Lua	$d_L = 3,78 \times 10^8 \text{ m}$
Período sinódico	$P_{SL} = 29,5306 \text{ dias}$
Albedo	$\alpha_L = 0,14$
Inclinação orbital em relação à Eclíptica	$\epsilon_L = 5,14^{\circ}$
Constantes físicas	
1 Unidade Astronômica (U.A.)	$1,496 \times 10^{11} \text{ m}$
1 Parsec (pc)	$3,0856 \times 10^{16} \text{ m}$
Constante gravitacional	$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$
Constante de Planck	$h = 6,62 \times 10^{-34} \text{ J s}$
Constante de Boltzmann	$k_B = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$
Constante de Stefan-Boltzmann	$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$
Constante de Hubble	$H_0 = 67,8 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$
Velocidade da luz no vácuo	$c = 2,998 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$
Permeabilidade magnética do vácuo	$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H m}^{-1}$
1 Jansky (Jy)	$10^{-26} \text{ W m}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$
Constante de Wien	$k = 2,898 \times 10^{-3} \text{ m K}$
Massa do elétron	$m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$
Massa do próton	$m_p = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$



(A1) Determinação de Parâmetros Cosmológicos (70 pontos)

Baseado na relatividade geral de Einstein, o físico Russo Alexander Friedmann encontrou uma equação que consegue descrever a dinâmica de um Universo homogêneo e isotrópico. A Equação de Friedmann pode ser escrita como:

$$\frac{\dot{a}^2 + kc^2}{2a^2} = \frac{4\pi G(\rho_m + \rho_r)}{3} + \frac{\Lambda c^2}{6} \quad \text{(Eq. 01)}$$

Na equação acima, \dot{a} representa a mudança do fator de escala como função do tempo; ρ_m e ρ_r as densidades de massa e radiação, respectivamente; Λ é a constante cosmológica; e k é a curvatura do espaço. A notação 0 serve para indicar o valor de uma quantidade no tempo presente, por exemplo, H_0 é a constante de Hubble atualmente.

Determinar os valores das constantes da equação acima é um desafio, pois elas são dependentes do tempo. Nesse exercício você irá calcular algumas delas e estudar um pouco mais sobre o funcionamento do Universo.

(a) Em mais uma de suas incríveis pesquisas, QueGiulisso e sua fiel assistente, Bruninha, estão reunidas para discutir sobre o parâmetro de Hubble. Bruninha, então, dá a ideia de fazer um catálogo de galáxias e encontrar um valor para H_0 ! Após coletar todos os dados, elas ficam muito cansadas e acabam tirando um pequeno cochilo (que deverá durar por volta de 13 horas). Giovannita, ao ver essa situação, pede sua ajuda para terminar o duro trabalho jovens astrônomas.

Na tabela abaixo, você terá um levantamento de 36 galáxias, com todas as informações necessárias para que você e Giovannita terminem a pesquisa.

Para iniciar suas atividades, **construa uma tabela contendo o nome de cada galáxia, sua distância até nós e sua velocidade de recessão**. Sua tabela deve conter os erros envolvidos nos experimentos.

Galaxy Name	m-M	σ_{m-M}	RA	Dec	GLON	GLAT	Type (RC3)	Velocidade de Recessão (km/s)
[KK98] 016	28.38	0.50	55:20.3	+27:57:14.0	139.7	-32.8	Irr	322
NGC 0300	26.361	0.05	54:53.5	-37:41:03.8	299.2	-79.4	SAS7	98
SMC, NGC 0292	19.00	0.03	52:44.0	+00:72:49.7	302.8	-44.3	SBS9P	34
DDO 006	27.62	0.16	49:49.2	-21:00:54.0	119.4	-83.9	IBS9*	315



Galaxy Name	m-M	σ_{m-M}	RA	Dec	GLON	GLAT	Type (RC3)	Velocidade de Recessão (km/s)
UGC 01281	28.68	0.2	49:32.0	+32:35:23.0	136.9	-28.7	S..8	287
NGC 0672	29.29	0.08	47:54.5	+27:25:58.0	138	-33.8	SBS6	541
NGC 0253	27.59	0.06	47:33.1	-25:17:17.6	97.4	-88	SXS5	251
IC 1727	29.29	0.05	47:29.9	+27:20:00.1	138	-33.9	SBS9	458
NGC 0247	28.06	0.09	47:08.6	-20:45:37.4	113.9	-83.6	SXS7	176
ESO 245- G 005	28.23	0.23	45:03.7	-43:35:52.9	273.1	-70.3	IBS9	310
KDG 010	29.48	0.4	43:37.2	+15:41:43.0	140.9	-45.3	Dwarf	880
UGCA 020	30.2	0.4	43:14.7	+19:58:31.7	139.2	-41.3	I..9	603
IC 1574, DDO 226	28.46	0.26	43:03.8	-22:14:48.8	101.2	-84.8	IBS9	391
DDO 013	29.78	0.40	40:09.9	+15:54:17.0	139.7	-45.4	I..9	727
UGC 01171	29.34	0.40	39:44.9	+15:54:00.0	139.6	-45.4	I..9*	762
M74, NGC 0628	29.32	0.40	36:41.8	+15:47:00.5	138.6	-45.7	SAS5	753
M74, NGC 0628	27.45	0.40	36:41.8	+15:47:00.5	138.6	-45.7	SAS5	753
M74, NGC 0628	29.29	0.35	36:41.8	+15:47:00.5	138.6	-45.7	SAS5	753
NGC 0625	27.95	0.07	35:04.6	-41:26:10.3	273.7	-73.1	SBS9\$/\$	312
kkh 006	27.86	0.15	34:51.6	+52:05:30.1	129.7	-10.2	Ir	223



Galaxy Name	m-M	σ_{m-M}	RA	Dec	GLON	GLAT	Type (RC3)	Velocidade de Recessão (km/s)
NGC 0147	24.15	0.09	33:12.1	+48:30:31.5	119.8	-14.3	E.5.P	28
UGC 01104	29.39	0.40	32:42.5	+18:19:01.6	136.5	-43.5	I.9	775
NGC 0949	30.26	0.18	30:48.7	+37:08:12.4	144.1	-21.6	SAT3*\$	728
UGC 00288	29.14	0.39	29:03.6	+43:25:54.0	118.6	-19.3	S?	374
NGC 0925	29.68	0.10	27:16.8	+33:34:45.0	144.9	-25.2	SXS7	665
NGC 0891	29.96	0.08	22:33.4	+42:20:56.9	140.4	-17.4	SAS3\$/	661
NGC 0059	28.62	0.42	15:25.1	-21:26:39.8	65.7	-80	LAT-*	412
NGC 0055	26.5	0.02	14:53.6	-39:11:47.9	332.9	-75.7	SBS9*/	94
NGC 0045	30.13	0.35	14:03.9	-23:10:55.5	55.9	-80.7	SAS8	493
NGC 0404	27.43	0.25	09:27.0	+35:43:04.2	127	-27	LAS-*	111
ESO 349- G 031	27.53	0.17	08:13.4	-34:34:42.0	351.5	-78.1	IB.9	195
kkh 005	28.15	0.15	07:32.5	+51:26:25.6	125.5	-11.4	Ir?	239
UGC 00685	28.4	0.14	07:22.4	+16:41:04.4	128.4	-46	SA.9	271
NGC 0784	28.47	0.21	01:16.9	+28:50:14.1	140.9	-31.6	SB.8*/	313
[KK98] 017	28.37	0.41	00:10.2	+28:49:53.0	140.6	-31.7	Irr	272
Sculptor Dwarf Elliptical	19.8	0.12	00:09.4	-33:42:32.5	287.5	-83.2	E?	115



(b) A partir dos dados dessa tabela, **faça um gráfico da velocidade de recessão em função da distância da galáxia.**

(c) Com isso, **qual seria a equação linear que melhor descreve os pontos dessa dispersão?**

(d) **Ajuste uma reta para a dispersão dos pontos desse gráfico.** Feito isso, qual é o valor do coeficiente angular dessa reta? Com base nisso, **qual o parâmetro de Hubble para essa dispersão?** Dê sua resposta em $km/(s \cdot Mpc)$. Todas as suas respostas desse item devem ser apresentadas com seus devidos erros.

(e) Após ter encontrado o valor de H_o , pode ser útil saber o tempo de Hubble atual, $t_{H,o}$. Então, **determine o valor de $t_{H,o}$ com seu respectivo erro**, em anos.

(f) Define-se a densidade crítica do Universo, ρ_c , como a densidade de massa necessária para explicar a expansão de um Universo plano, sem energia de radiação ou escura. Baseando-se nas equações de Friedmann, **encontre uma expressão para ρ_c em função de H_o e G .** Use o valor de H_o encontrado no item **(d)** para determinar o valor de ρ_c , com seus respectivos erros.

(g) Tomamos $\Omega = \frac{\rho}{\rho_c}$ como uma forma de escrever qualquer parâmetro de densidade de maneira adimensional. **Mostre que a (eq. 01) pode ser reescrita da seguinte forma:**

$$\Omega_m + \Omega_r + \Omega_\Lambda + \Omega_k = 1 \quad (\text{Eq. 02})$$

(h) Assumindo que o universo seja plano, que $\Omega_{m,o} = 0,27 \pm 0,04$ e que $\Omega_{r,o} = 8,24 \times 10^{-5}$, **determine o valor de Ω_Λ .** Mais uma vez, sua resposta deve ter os devidos erros experimentais associados.

(i) A partir do item (g), você foi capaz de estabelecer uma relação entre Ω_Λ e Λ . Utilizando o valor encontrado em (h), **qual o valor de Λ ?** Sua resposta deve ter os erros experimentais associados.

(j) Extrapole os resultados dados e obtidos dos parâmetros adimensionais $\Omega_{r,o}$, $\Omega_{m,o}$ e $\Omega_{\Lambda,o}$ para o menor valor numérico possível. Admita que o Universo possua curvatura para este item e **calcule o valor de Ω_k , com seus devidos erros.**

(k) Partindo do resultado obtido no item anterior, **determine k_o** (faça a análise dos erros). Com base nisso, **é realmente plausível assumir que o Universo é de fato plano? Disserte.**

(A2) Fotometria de *BZ Vel* (30 pontos)

Ao longo de uma noite, Mr. Seeds decidiu observar a estrela *GZ Vel*, utilizando-se de um binóculo de 20 centímetros de diâmetro. Esse binóculo está equipado com fotômetro fotoelétrico - um instrumento que dirige a luz de um objeto para uma célula fotossensível e mede a sua intensidade. O brilho aparente dessa estrela é monitorado em três bandas diferentes, U, B e V. O comprimento efetivo dessas bandas é de 3600 Å, 4500 Å e 5500 Å, respectivamente.

Conforme a observação é feita, a estrela irá mudar sua distância até o zênite e, conseqüentemente, sua radiação irá passar por regiões de diferentes espessuras da atmosfera terrestre. A magnitude de radiação que é bloqueada depende dessa espessura, e tem mínimo valor perto do zênite, e máximo próximo do horizonte. Na Tabela A2.1, a distância zenital (z) é dada em graus. A massa de ar, $f(z)$, é dada por:

$$f(z) = \sec z$$

As últimas três colunas da Tabela A2.1 informam os valores de magnitude medidos em cada filtro utilizado.

Tabela A2.1 - Fotometria de *GZ Vel*

Distância Zenital (°)	U $\pm 0,02(mag)$	B $\pm 0,01(mag)$	V $\pm 0,01(mag)$
2,6	6,98	5,30	5,58
11,6	7,00	5,31	5,58
19,7	7,04	5,34	5,62
27,5	7,12	5,39	5,64
37,0	7,22	5,37	5,67
45,5	7,31	5,50	5,71
50,7	7,46	5,48	5,74

(a) Plote em um único gráfico os valores de magnitude aparente (na banda U, B e V) em função da massa de ar. Diferencie os pontos experimentais para cada filtro.

(b) Em qual banda as estrelas sofrem a mudança de brilho mais acentuada? Justifique sua resposta.

(c) Determine a magnitude aparente dessa estrela fora da atmosfera da Terra, para cada banda.

O índice de cor ($B - V$) pode ser utilizado para determinar a temperatura efetiva de uma estrela através da relação dada na Tabela A2.2.

Tabela A2.2 - Classe Espectral em função do Índice de Cor

Classe Espectral	$(B-V)$	Temperatura Efetiva ($^{\circ}K$)
O5	-0,32	54000
B0	-0,30	29200
B5	-0,16	15200
A0	0,00	9600
A5	+0,14	8310
F0	+0,31	7350
F5	+0,43	6700
G0	+0,59	6050
G5	+0,66	5660
K0	+0,82	5240
K5	+1,15	4400
M0	+1,41	3750
M5	+1,61	3200

(d) Com base nisso, encontre a temperatura de *GZ Vel*, em graus Celsius e a sua classe espectral. Suponha que essa estrela esteja na sequência principal.

(e) Observações feitas pelo satélite Hipparcos encontraram que a paralaxe de *GZ Vel* seja de $0,00176''$. Foi constatado, ainda, que na direção que a estrela é observada, não há extinção de luz por material interestelar. **Marque, na figura da página seguinte, a posição da estrela no diagrama Hertzsprung-Russel.**

Figura A2.1 - Diagrama de Hertzsprung-Russel





