

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Instituto de Física Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física Mestrado Profissional em Ensino de Física Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física



#### Material Instrucional para o Professor

#### Redescobrindo a lei empírica de Hubble em sala de aula

Vinicius Rafael Peçanha da Rocha

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Alexandre C. Tort

Rio de Janeiro Novembro de 2018

### FICHA CATALOGRÁFICA

٦

R529a	Peçanha da Rocha, Vinicius Rafael
	Material Instructional para o Professor
	Redescobrindo a lei empírica de Hubble em sala de aula / Vi-
	nicius Rafael Peçanha da Rocha. – Rio de Janeiro: UFRJ/IF,
	2018.
	3, 30 f. : il. ; 30 cm.
	Orientador: Alexandre C. Tort.
	Dissertação (mestrado) – UFRJ / Instituto de Física /
	Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2018.
	Referências Bibliográficas: f. ***_***.
	1. Ensino de Física. 2. Lei de Hubble. 3. Efeito Doppler.
	I. Tort, Alexandre C II. Universidade Federal do Rio de
	Janeiro, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em
	Ensino de Física. III. Material Instrucional para o Professor
	Redescobrindo a lei empírica de Hubble em sala de aula.

## Sumário

A lei de Hubble em sala de aula	1
Introdução: seis propostas de atividade em sala de aula	1
Proposta de atividade prática #1: regressão linear $\ldots$ $\ldots$	1
Proposta de atividade prática $\#2$	4
Proposta de atividade prática $\#3$	11
Proposta de atividade prática $#4$	11
Proposta de atividade prática $\#5$	17
Proposta de atividade prática $\#6$	19
Aplicação em sala de aula	25

### A lei de Hubble em sala de aula

# Introdução: seis propostas de atividade em sala de aula

Neste capítulo discutiremos seis propostas pedagógicas para a introdução da lei de Hubble em sala de aula. As propostas pedagógicas dependem da utilização efetiva de recursos gratuitos disponíveis na Internet, elas fazem uso dos dados disponibilizados pela base de dados extra galácticos: NED/NASA<sup>1</sup> conjuntamente com o uso do *software* gratuito *Vernier Graphical Analysis*<sup>2</sup> ou  $Qtiplot^3$ . Estes *softwares* permitem o cálculo do ajuste linear dos dados. Para melhor entendimento sobre ajuste linear realize a atividade abaixo Regressão Linear, pois as atividades seguintes dependem da utilização de uma ferramenta matemática utilizada no tratamento de dados experimentais que consiste em determinar uma reta que melhor descreva o conjunto dos pontos experimentais dispostos em plano cartesiano.

# Proposta de atividade prática #1: regressão linear

Regressão linear ou ajuste linear é, em estatística, uma procedimento que determina uma reta que mais se aproxima de todos os pontos dispostos em um plano cartesiano.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>https://ned.ipac.caltech.edu

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>https://www.vernier.com/products/software/ga/

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup>https://www.qtiplot.com/download.html

O ajuste linear é assim chamado por simular uma reta ideal na qual estariam todos os pontos; ou seja, se houvesse uma idealização nos dados eles estariam sobre esta reta. Há também em estatística o caso no qual os pontos se distribuem de forma não linear e a esse denomina-se um ajuste não-linear que simula a distribuição dos pontos idealmente. Abaixo iremos demonstrar através de uma simulação como podemos utilizar um programa que faça um ajuste linear para dados distribuídos.

(a) Acesse o site de simulações educacionais gratuitas PhET<sup>4</sup>. Neste site acesse a caixa Entre aqui e simule.

- C Seguro   https://phet.colorado.edu/pt_B	R/			\$
	Phet —	Q	University of Colorado Boulder	ENTRAR
	SIMULAÇÕES INTERATIVAS EM CIÊNCIAS E MATEMÀTICA Meis de 360 milhões de simuleções distribuídes.	CS.		
	Professor, registre-se aqui	Tercarsos para Professores	Fisica	
	Fundate em 2002 pelo Perro Notal Carl (Nerron 1, prepio Port) Sources de la construcción de la construcción Bodor cras emazedas retentivas gratalas de materialisa e obracas. A emi PEET Deservis em extensa grazalas, em estacação e envolvem os aturos atrasés de um amberno estacação e envolvem os aturos atrasés de um amberno estar construição e de atencidante employação e de atencidante a subras general de atencidades de atrasés de la constru- tação de atencidades de atencidades de atencidades atrasés de atencidades de atencidades de atencidades de atencidades atencidades de atencidades atencidades de atencidades de atencidades atencidades de atencidades de atencidades de atencidades de atencidades atencidades de atencidades de atencidades de atencidades de atencidades atencidades de atencidades de atencidades de atencidades de atencidades de atencidades de atencidades de atencidades atencidades de atencidades de atencidad	Ver Advidades Partifile suas Advidades Dicas de uso PhET	PHET & appeado por	
	£		e nesses <u>partas</u> estacarádores incluindo estucaráores como vecel	
	SOBRE A PHET OFFLE	NE ACCESS CÓDA	GO FONTE	

Figura 1: Homepage da PhET.

- (b) Abrirá uma nova página na qual terá o acesso a diversas simulações por disciplinas. Acesse em Matemática.
- (c) Em Matemática, busque pela simulação Regressão Linear.
- (d) Ao clicar nessa simulação, você será direcionado a uma página que descreve a simulação e disponibiliza o armazenamento. Cique na caixa Copiar.

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup>https://phet.colorado.edu/ptBR/



Figura 2: Homepage da PhET.



Figura 3: Homepage da PhET.



Figura 4: Homepage da PhET.

- (e) Ao baixar a simulação certifique-se que seu computador possua Java<sup>5</sup>, caso contrário instale-o através do link abaixo.
- (f) Ao abrir a simulação, você verá um plano cartesiano e uma cesta com diversas bolinhas representando dados.
- (g) Distribua as bolinhas em forma linear sobre o plano cartesiano e acesse o menu *Linha melhor ajustada*.
- (h) A simulação fará um ajuste linear sobre os pontos, ou seja, produzirá uma reta que melhor se aproxima de todos os pontos.
- (i) Note que no menu Linha melhor ajustada aparecerá uma equação linear, esta equação representa o ajuste feito entre os pontos. No nosso exemplo o coeficiente angular ( o que representa o angulo de inclinação da reta) possui um valor de 0,57, já o coeficiente linear (o que representa em que ponto a reta intercepta o eixo vertical) possui o valor de 0,95.

Em nossas atividades será necessarário a utilização desse método através dos programas gratuitos *Vernier* ou *Qtiplot*.

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup>https://www.java.com/ptBR/



Figura 5: Simulação de regressão linear.



Figura 6: Simulação de regressão linear.



Figura 7: Simulação de regressão linear.

#### Proposta de atividade prática #2

A primeira proposta tem como objetivos a familiarização do banco de dados NED/NASA, e através dele a cálculo da velocidade radial de cada galáxia a partir do paramêtro z. Sugerimos a Tabela 1 com as galáxias do superaglomerado de Virgem para serem preenchidos com valores do parâmetro z através dos dados disponibilizados pela base de dados extra galácticos; e disponiblizamos uma Tabela alternativa 3 com os valores do parâmetro z deste mesmo aglomerado caso haja necessidade.

O superaglomerado de Virgem é um superaglomerado de galáxias que contem o Grupo Local de Galáxias, que inclui nossa galáxia, a Via Láctea.

- (a) O primeiro passo é acessar a homepage da NED que pode ser feito acessando o link https://ned.ipac.caltech.edu
- (b) O segundo passo é clicar no menu original panel menu, que lhe encaminhará para o portal clássico de busca.
- (c) Nesta página você poderá encontrar diversas maneiras de buscas e ferramentas astronômicas, clique no menu *By Name*.
- (d) Agora digite o nome da galáxia desejada que esteja em uma das tabelas



Figura 8: Homepage da NED.

<b>NE</b>				
OBJECTS	DATA	LITERATURE	100LS	2 INFO
By Name	Images by Object Name Region	References by Object Name	Coordinate Transformation & Extinction Calculator	Introduction Latest News/Updates
Near Name	Photometry & SEDs	References by Author Name	Velocity Calculator	Eeatures EAQ
Near Position	Spectra	Text Search	Cosmology Calculators	Brochure (pdf) Best Practices (pdf)
LAU Format	Redshifts	Knowledgebase. une.1	Extinction-Law Calculators	Source Nemenclature
Dy.Parameters	Redshift-Independent Distances	Galaxy_Distance Tabulations_(NED-D)	Galaxy Environment by Precomputed Parameters Radial Velocity Constraint	Web Links New Tuterfore
By Classifications Types Attributes	Classifications by Object Name	Abstracts	X/Y offset to RA/DEC	Glossary & Lexicon
By Refcode	Positions		Batch <u>Help</u>	Iram Carra Committee
Object Notes	Diameters		Build Data Table from Input List By Name Near Name Position (Cross Matching)	Contact Us

Figura 9: Homepage da NED.

abaixo. No exemplo digitamos a NGC 7582, e clicamos no botãoEnter.Veja a Figura d.

(e) Aparecerá numa nova página alguns dados concernentes à galáxia escolhida. Essas informações são de grande importância para astronômos profissionais e amadores, mas para a nossa atividade os importantes são as informações sobre o desvio para o vermelho *Redshift z*, a velocidade



Figura 10: Homepage da NED.

da galáxia Velocity (km/s) e descendo a página você poderá encontrar a distância Metric Distance (Mpc).

·	NASAIPAC EXTRAGALACTIC DATABASE Dute and Time of the Query 2018.07.20 T12 22:13 PDT Effect Community NED Home:
You have selected the following parameters to s	earch on:
Parameters for Distances and Cosmology: $H_0$ -73.0; $\Omega_{matter}$ =0.27; $\Omega_{\gamma}$ Derived Quantities use a Redshift corrected to a Reference Frame defin	Accum = 0.735 and by the 5K CMB
NED results for object NGC 7582	
1 objects found in NED,	
SOURCE LIST	
Row         Object Name         Equilibria         Object           No.         (* m) Essential Note)         RA         OBC         Type           JMCC 7582         23h15m23.5s +42622m14s G         G	Viscity/Redshift         Reg./ Separ.         Number of Nav/a         Reg.         Separ.         Number of Sectors Number of Number of Sectors Number of Reg.         Reg.           13/7         0.00514         11.57
1	Detailed information for each object
Object No. 1 NGC 7582	
INDEX for NGC 7582	
Essential Data (jump to sub-section of this query report):	Detailed Data (NED queries):
Essential Note Cross-IDs	Redshift Johrpendent Distances 624 Reference(s)
Coordinates Basic Data Quantizes Derived from Redshift Database Derived for Redshift	24 Failing data sain(s) 31 Fathati an sain(s) 19 Danater data poin(s) 19 Danater data poin(s)

Figura 11: Identificando propriedades da galáxia de seu interesse (Velocidade e desvio).

(f) Com o valor do paramêtro z você poderá calcular a velocidade da galáxia por meio da equação abaixo e completar a tabela escolhida abaixo.

$$v \approx c.z \tag{1}$$



Figura 12: Identificando propriedades da galáxia de seu interesse (distância).

Т	abela 1: Tem	$\mathbf{pos}$	
Galáxia	Redshift $z$	Vel.	$(\rm km/s)$
NGC 7582			
NGC 6744			
NGC 5128			
M101			
M081			
NGC 1023			
NGC 2997			
NGC 5033			
NGC 4697			

Tabela 2: Algumas galáxias do aglomerado de Virgem para a atividade a ser planejada.

abela 3: Tempos
Redshift $z$ Vel. (km/s)
0.005 254
0.002 805
0.001 825
0.000 113
$0.000 \ 804$
0.002 125
0.003 633
0.002 919
0.004 140

Tabela 4: Dados do desvi<br/>o $\boldsymbol{z}$  de algumas galáxias do aglomerado de Virgem.

#### Proposta de atividade prática #3

Propomos nessa atividade a obtenção do valor do parâmetro de Hubble usando os dados utilizados por Hubble no trabalho *A relation between distance and radial velocity among extra-galactic nebulae*. Fornecemos na Tabela 5 os dados obtidos das distâncias e das velocidades das galáxias estudadas por Hubble em seu trabalho *A relation between distance and radial velocity among extra-galactic nebulae*.

- (a) Faça um gráfico através de um aplicativo de gráficos que possa plotar valores e tenha a ferramenta de ajuste linear, sugerimos o uso do aplicativo *software* gratuito Vernier Graphical Analysis<sup>6</sup>, para fazer um gráfico velocidade por distância  $(V \times D)$ ;
- (b) Tendo plotado os dados faça o ajuste linear e obtenha o valor do coeficiente angular. Este coeficiente angular é o parâmetro de Hubble obtido pelo próprio Edwin Hubble em seu artigo.

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup>https://www.vernier.com/products/software/ga/

Galáxia (NGC)	Distância (Mpc)	Vel. $(km/s)$
6822	0,214	-130
598	0,263	-70
221	0,275	-185
224	0,275	-220
5457	$0,\!45$	200
4736	$0,\!5$	290
5194	$0,\!5$	270
4449	0,63	200
4214	0,8	300
3031	0,9	-30
3627	0,9	650
4826	0,9	150
5236	0,9	500
1068	1,0	920
5055	1,1	450
7331	1,1	500
4258	1,4	500
4251	1,7	960
4382	2,0	500
4472	2,0	850
4486	2,0	800
4649	2,0	1090

Tabela 5: Tempos

Tabela 6: Dados obtidos por Edwin Hubble em seu trabalho A relationbetween distance and radial velocity among extra-galactic nebulae.

#### Proposta de atividade prática #4

Nessa atividade propomos a obtenção do valor do parâmetro de Hubble usando os dados disponibilizados pelo site NED para as galáxias estudadas por Hubble no trabalho *A relation between distance and radial velocity among extra-galactic nebulae*.

Ao fim disponibilizamos duas tabelas, para livre escolha de atividade, uma sem os dados do NED e assim como atividade será necessário o acesso a internet e outra preenchida com esses valores sem necessidade de acesso ao banco de dados.

- (a) O primeiro passo é acessar a *homepage* da NED que pode ser feito acessando o *link* https://ned.ipac.caltech.edu
- (b) O segundo passo é clicar no menu *original panel menu*, que lhe encaminhará para o portal clássico de busca.



Figura 13: Homepage da NED.

- (c) Nesta página você poderá encontrar diversas maneiras de buscas e ferramentas astronômicas. Clique no menu By Name.
- (d) Agora digite o nome da galáxia desejada que esteja em uma das tabelas abaixo. No exemplo digitamos a NGC 7582, e clicamos no botão *Enter*. Veja a Figura d.

NEC	*			
COLLECTS	DATA	LITERATURE	100LS	? INED
By.Name	Images by Object.Name Resian	References by Object Name	Coordinate Transformation & Extinction Calculator	Introduction Latent News Updates
Near Name	Photometry & SEDs	References by Anthor Name	Yelecity Calculator	Eastaran
Near Position	Spectra	Test Search	Cosmalogy Calculatory	Brachury (pdf) Best Practices (pdf)
LAU Format	Redshifts	Knowledgebase.	Entiaction-Law Calculators	Sawrae Namenclature
By Parameters	Redshift-Independent Dhiaacm	Galasy.Distance Tabulations.(NED-D)	Galaxy Environment by Precommuted Parameters Radial Velocity Constraint	Web Links New Jate floor
By Classifications Types, Attendance	Classifications by Object.Name	Abstracts	X/Y affect to RA/DEC	Glassary & Leakon
By.Rekade	Pesitions		Batch Help	Iran Users Committee
Object.Nates	Disactors		Build Data Table from Inpet List By.Name Near NamePosition (Cross-Matching)	Cancertin

Figura 14: Homepage da NED.



Figura 15: Homepage da NED.

(e) Aparecerá numa nova página alguns dados concernentes à galáxia escolhida. Essas informações são de grande importância para astronômos profissionais e amadores, mas para a nossa atividade os importantes são as informações sobre o desvio para o vermelho *Redshift z*, a velocidade da galáxia *Velocity (km/s)* e descendo a página você poderá encontrar a distância *Metric Distance (Mpc)*.



Figura 16: Identificando propriedades da galáxia de seu interesse (Velocidade e desvio).

Reference Reputorial Enliptic Ecliptic Galettic SuperGalect	Prame (81958.0) (12080.0) (81958.0) (12080.0) (12080.0) ic	Lengitude (degrees) 348,909613 349,507917 311,046686 331,745405 548,078317 249,146887	Labibude (dagreas) -42.644158 -42.378556 -34.417132 -34.419715 -85.695778 6.233406	88 23515e36.367 23518e23.300	8 -43d30e -43d23e	BC 08.94 04.00	Decertain Sexiaujan 5.005-01 5.005-01 5.005-01 5.005-01 5.005-01 5.005-01 5.005-01	<pre>Hy Elipse Semininer S.007-01 S.007-01 S.007-01 S.007-01 S.007-01 S.007-01 S.007-01 S.007-01 S.007-01</pre>	(aressa) Pá(dag) D D D D D D D							
Additional	detailed me		with refere	ices are also a	vailable b	iy clic	king below:									
		12.00		F	*	10			÷						1.0	
ABSTRACT N		expensed by ;	TTO BOTH P	Distance(s) in	the atera	dure:										
OTE: These of ry art based of themegeneous	minutery entry minutery of the second minutery of the second	rici an provide original values toms have been danhaha Ma	t for "quick-los at publiched, applied, irir Distance	k' offense adj												
OTE: These of ty and based of themogeneous AGC: 7582	Distance N (mag	ricis are provide congrinal values nons have been dorbaber Ma g)	f fir "quick-las ar publicited applied. (Mpc)	r ofener af:												
off: These of cy and based of bestogenation off: 7582 feesa	Distance N (may 31.62	rics are provide original refues tions have been dorbaber Mar g) 21.	i for "quick-las ar publicited applied. iric Distance (Mpc) 100	i olonus adt	-											
OTE: These of ry ard based of a homogenum GGC 7582 fermi ad. Dev.	Distance N (may bird or cover Distance N (may 31.62 0.22	rice an provide corporal velocities team here been discluded Me g) 2.0	i far "pack-tas ar publicitad applied. (Mpr) 00 0	] <b>4</b>												
OTE There is sy not based is a homogeneous NGC 7582 denni ied. Dev. din.	Distance N (mag 31.62 0.22 31.23 31.91	nics are provide original values tune have been g) 211 2.0 17/	f for "quick-los ar published applied iric Distance (Mpc) 00 00 00		-											
OTE These of the best-spectra of the best-spectra NGC 7582 Mean Std. Dev. Min. Max. Median	Distance N (mag 31.62 0.22 31.81 31.81 31.72	nice are provide congress where been stone have been go 21. 2.0 17/ 23. 23. 23.	f for "quick-los as published applied iric Distance (Mpr) 00 00 00 00 00 00													
OTE These of bry not bused of the homogeneous NGC 7582 Mean Std. Dev. Min. Max. Median	Distance N (mag 31.62 0.22 31.81 31.72	etics are provide company where the set provided and dedular Me g) 21. 2.0 17/ 23. 23. 22.	f for 'postches ar published upplied (Mpc) 00 00 00 00 00 00		-											
0012. These of boy not build of NGC 7582 Mean Sid. Dev. Min. Max. Mediate	Distance N (mag 31.62 0.22 31.23 31.81 31.72	etics are provide company when there sums have been g) 211- 2.0 177- 233 222- 222- 222- 222- 222- 222- 22	f for 'pointe in ar published applied (Mpr) 00 00 00 00 00 00 00 00 00 0							-		P. 1.				
1012: There is for an based of the best-generation NGC 7582 Mean Std. Dev. Min. Mox. Median CLASSIFIC	Distance M (may an intervention of control of the c	doduber stans here been doduber g) 211 220 117/ 230 222 CTYPES, AI	f for 'queste in a publication applied iric Distance (Mpc) 00 00 00 00 00 00 00 00 00 0	) for NGC 759	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	ie IND	<u>ex</u> )			-						<i></i>
OTE Thas a basis of the set of th	Distance N (may) 31.62 0.22 31.23 31.81 31.72	dodular gg dodular gg 21, 20, 17/ 23, 22, 17/ 23, 22, 17/ 23, 22, 17/ 23, 22, 17/ 23, 22, 17/ 23, 22, 24, 24, 24, 25, 24, 24, 24, 24, 24, 24, 24, 24, 24, 24	for quick-los apabbiled apabbiled (Mpc) (Mpc) (0) (0) (0) (0) (0) (0) (0) (0	) for NGC 759 Jonogratzed	R (Back) n	te IND	EX) Externace C	ade		-	8.5		-	_		
1012 These of they not based of the best-spectrum NGC 7582 Menn Sid, Dev. Min, Max, Median CLASSIFIC Type Hierarchy	Distance N (may 31.62 0.22 31.23 31.81 31.72	deduka go 21. 2.0 17. 23. 24. 25. 27. 23. 22. 24. 24. 25. 25. 25. 25. 27. 25. 27. 27. 27. 27. 27. 27. 27. 27. 27. 27	for quick-los pubbled apphbled (Mpr) 00 00 00 00 00 00 00 00 00 0	If indiminish only	R (Back 1 17 mber	to INI	EX) Reference C	ada 5 100 1000		-			-			- 10
NGC 7582 http://www.science. NGC 7582 Micon Sid. Dec. Min. Mico. M	Distance y rational and a second seco	nici an provide congred relation tions have been dedular gp 21, 23, 24, 24, 25, 25, 25, 25, 25, 25, 25, 25, 25, 25	the quick-lise apathbased apathbased (Mpc) 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	A' odmus adj	C (Back) 11 aber	te NI	EX) EXI YOSAINRA 951MNRA	ade 5 160 1605		÷.,	5.1		-	-		

Figura 17: Identificando propriedades da galáxia de seu interesse (Distância).

(f) Agora complete a Tabela 7 com os dados obtidos da distância e da velocidade no site NED para as galáxias estudadas por Hubble.

- (g) Faça um gráfico através de um aplicativo de gráficos que possa plotar valores e tenha a ferramenta de ajuste linear, sugerimos o uso do aplicativo software gratuito  $Qtiplot^7$  para computador ou Vernier Graphical Analysis<sup>8</sup> para computador e smartphone, para fazer um gráfico velocidade por distância  $(V \times D)$ ;
- (h) Tendo plotado os dados faça o ajuste linear e obtenha o valor do coeficiente angular. Este coeficiente angular é o valor obtido para o parâmetro

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup>https://www.qtiplot.com/download.html <sup>8</sup>https://www.vernier.com/products/software/ga/

Galáxia (NGC)	Distância (Mpc)	Vel. $(km/s)$
6822		
598		
221		
224		
5457		
4736		
5194		
4449		
4214		
3031		
3627		
4826		
5236		
1068		
5055		
7331		
4258		
4251		
4382		
4472		
4486		
4649		

Tabela 7: Tempos

Tabela 8: Galáxias estudadas por Edwin Hubble em seu trabalho A relation between distance and radial velocity among extra-galactic nebulae.

de Hubble.

(i) Note que os valores do parâmetro de Hubble foram diferentes no próprio artigo de Hubble de 1939 (atividade #3) e o valor do parâmetro de Hubble através dos dados aceitos atualmente (Atividade #4), isso se deu por um erro de diferenciação da natureza das estrelas cefeidas na época da medic cão de Hubble, o qual não soube que haviam cefeidas do Tipo I e do Tipo II que variam de forma diferentes suas luminosidades ao longo do tempo. Por fim deixamos como discussão essa curiosidade para o caro leitor.

Galáxia (NGC)	Distância (Mpc)	Vel. $(km/s)$
6822	0,520	-57
598	0,869	-179
221	0,768	-200
224	0,784	-300
5457	6,872	241
4736	5,126	308
5194	$7,\!196$	463
4449	3,864	207
4214	2,968	291
3031	$3,\!686$	-34
3627	9,464	727
4826	5,367	408
5236	6,498	513
1068	10,853	1137
5055	7,762	484
7331	$13,\!520$	816
4258	$7,\!300$	448
4251	14,732	1066
4382	$15,\!243$	729
4472	15,816	981
4486	16,560	1284
4649	16,554	1110

Tabela 9: Tempos ívia (NCC) – Distância (Mno) – Vol. (hr

Tabela 10: Dados atualmente aceitos para as galáxias estudadas por Edwin Hubble em seu trabalho *A relation between distance and radial velocity among extra-galactic nebulae*.

#### Proposta de atividade prática #5

Nessa atividade propomos a obtenção do valor do parâmetro de Hubble usando os dados de Supernovas. Disponibilizamos duas tabelas para a escolha da atividade. A primeira mais enxuta contendo 25 dados de Supernovas e a última mais exaustiva contendo 75 dados.

- (a) Fornecemos a Tabela a com os dados obtidos da distância e da velocidade de um conjunto de estrelas Supernovas.
- (b) Faça um gráfico através de um aplicativo de gráficos que possa plotar valores e tenha a ferramenta de ajuste linear, sugerimos o uso do aplicativo software gratuito  $Qtiplot^9$  para computador ou Vernier Graphical Analysis<sup>10</sup> para computador e smartphone, para fazer um gráfico velocidade por distância  $(V \times D)$ ;
- (c) Tendo plotado os dados faça o ajuste linear e obtenha o valor do coeficiente angular. Este coeficiente angular é o valor obtido para o parâmetro de Hubble.

<sup>&</sup>lt;sup>9</sup>https://www.qtiplot.com/download.html

<sup>&</sup>lt;sup>10</sup>https://www.vernier.com/products/software/ga/

Supernova	Distância (Mpc)	Vel. $(km/s)$
1993ah	83,48	8550
1992bo	61,09	5160
1992bc	59,16	5880
1992ag	$74,\!13$	8190
1992p	89,13	7950
19900	92,04	9180
2001cz	45,92	4890
2001ba	94,19	9150
2000ca	73,45	7350
2000bh	70,47	7200
1999gp	84,33	7800
1994em	74,82	7290
1995ak	66,68	6600
1996c	96,38	8250
1996bv	49,89	5010
1996bo	45,08	4890
2000fa	70,47	6540
2000dk	48,98	4920
2000cn	74,13	6960
1999gd	69,18	5790
1999ek	52,72	5280
1999cc	99,54	9450
1998eg	$77,\!27$	7050
1998ef	45,29	5010
1998co	53,70	5100
1998ab	$74,\!13$	8370
1998v	$127,\!64$	5160
1997dg	111,69	9000
1997y	52,72	4980
2001ay	109,14	9270
2001da	48,75	4800

Tabela 11: Dados de um conjunto de estrelas Supernovas obtidos do artigo *A simple determination of Hubble's constant* de Benedetto, A Feoli and S Principe.

Supernova	Distância (Mpc)	Vel. $(km/s)$	Supernova	Distância (Mpc)	Vel. $(km/s)$
1993ah	83,48	8550	2003u	84,33	7830
1992bo	61,09	5160	2003w	60,81	6330
1992bc	59,16	5880	2004as	$107,\!65$	9630
1992ag	74,13	8190	2004bg	68,87	6630
1992p	89,13	7950	2004ef	90,36	8940
19900	92,04	9180	2005eq	92,90	8520
2001cz	45,92	4890	2005iq	112,72	9900
2001ba	94,19	9150	2005ki	62,81	6120
2000ca	73,45	7350	2005ls	59,43	6150
2000bh	70,47	7200	2005mc	84,39	7800
1999gp	84,33	7800	2s 5ms	86,30	7770
1994em	74,82	7290	2005na	82,41	8040
1995ak	66,68	6600	2006ac	72,44	7170
1996c	96,38	8250	2006ar	$77,\!89$	6870
1996bv	49,89	5010	2006ax	54,20	5400
1996bo	45,08	4890	2006az	96,38	9450
2000fa	70,47	6540	2006bq	68,87	6450
2000dk	48,98	4920	2006br	97,72	7650
2000cn	74,13	6960	2006bt	103,28	9750
1999gd	69,18	5790	2006bw	95,06	9240
1999ek	52,72	5280	2006cc	117,49	9810
1999cc	99,54	9450	2006ej	63,10	5760
1998eg	$77,\!27$	7050	2006en	102,33	9240
1998ef	45,29	5010	2006et	66,37	6360
1998co	53,70	5100	2006gj	98,17	8310
1998ab	74,13	8370	2006kf	65,16	6240
1998v	127,64	5160	2006le	50,12	5190
1997dg	111,69	9000	2006mp	77,98	6990
1997y	52,72	4980	2006os	$95,\!50$	9630
2001ay	109,14	9270	2006qo	93,33	9240
2001da	48,75	4800	2006 Es	109,65	9870
2001g	50,58	5190	2006sr	73,90	6900
2001ie	95,06	9360	2006te	106,66	9630
2001n	67,92	6630	2007ai	104,23	9600
2001v	41,50	4800	2007au	61,94	6270
2002bf	64,86	7470	2007bc	66,37	6570
2002ck	$95{,}50$	9090	2007bd	93,33	9600
2002de	90,36	8490	2007ci	$56,\!23$	5760
2002he	80,54	7440	2007co	82,79	7980
2002hu	112,72	8760	2007cq	68,55	7410
2002hw	54,95	4890	2007f	78,34	7260
2002jy	72,78	5610	2007qe	75,86	6870
2002kf	$63,\!97$	5850	2007r	107,15	9360
2003ch	97,72	7680	2008bf	69,50	7530
2003it	77,27	7200	20081	53,70	5670

Tabela 12: Dados de um conjunto de estrelas Supernovas obtidos do artigo

#### Proposta de atividade prática #6

Nesta atividade você medirá a distância que as galáxias do Grupo do Escultor estão do Sol a partir do valor do parâmetro de Hubble obtido da atividade anterior. O Grupo do Escultor é um grupo de galáxias perto do pólo sul galáctico. O grupo é um dos mais próximos ao Grupo Local.

- (a) O primeiro passo é acessar a *homepage* da NED que pode ser feito acessando o *link* https://ned.ipac.caltech.edu
- (b) O segundo passo é clicar no menu *original panel menu*, que lhe encaminhará para o portal clássico de busca.



Figura 18: Homepage da NED.

- (c) Nesta página você poderá encontrar diversas maneiras de buscas e ferramentas astronômicas, clique no menu By Name.
- (d) Agora digite o nome da galáxia desejada que esteja em uma das tabelas abaixo. No exemplo digitamos a NGC 7582, e clicamos no botaão *Enter*. Veja a Figura d.
- (e) Aparecerá numa nova página alguns dados concernentes a galáxia escolhida. Essas informações são de grande importância para astronômos profissionais e amadores, mas para a nossa atividade os importantes são as informações sobre o desvio para o vermelho *Redshift z*, a velocidade

COLLECTS	DATA	LITERATURE	100LS	? INED
By.Name	Images by Object.Name Resian	References by Object Name	Coordinate Transformation & Extinction Calculator	Introduction Latest News Undates
Near Name	Photometry & SEDs	References by Anthor Name	Vilecity Calculator	Eastarm EAQ
Near Position	Spectra	Test Search	Cosmalogy Calculators	Brachury (pdf) Best Practices (pdf)
LAC Format	Redubifts	Knowledgebase.	Entiaction-Law Calculators	Same Summinum
By Parameters	Redshift Independent Datances	Galasy.Distance Interintiens.(NED-D)	Galaxy Environment by Precommented Parameters Radial Velocity Constraint	Web Links New Jaterface
By Chasifications Types Attributes	Classifications.by Object.Name	Abstracts	X-Y affect to RA/DEC	Ginnary & Lenkon
By.Rekode	Pesitions		Batch <u>Help</u>	Ican Users Committee
Object. Nates	Dissectors		Build Data Table from Input List By Name Near Name Position (Cross Matching)	CHONE

Figura 19: Homepage da NED.



Figura 20: Homepage da NED.

da galáxia Velocity (km/s) e descendo a página voccê poderéncontrar a distância Metric Distance (Mpc).



Figura 21: Identificando propriedades da galáxia de seu interesse (Velocidade e desvio).

lovatorial loutorial icliptic icliptic ialactic iaperGalact	Frame (81958.0) (12080.0) (81950.0) (81950.0) (12000.0) is	Lengi hale (degreez) 348.909633 349.387937 311.066608 331.745405 548.078317 249.146007	Labihude (degrees) -42,544158 -43,378556 -34,417132 -34,419715 -85,695778 6,233406	RA 23515638.3075 23518623.3005	-424798498 -424229484	Decartativey Sentingjor S Mo 5,000-00 5 000 5,000-00 5 5,000-00 5 5,000-00 5 5,000-00 5 5,000-00 5	#114pme ( eminings .000 -01. .000 -01. .000 -01. .000 -01. .000 -01.	Pa(deg)						
Additional	detailed m	easurements	with refere	ices are also ave	illable by c	licking below:								
				R	+ .	1. A.	1.14			1				 1910
REDSHIFT	INDEPE	NDENT DIS	IANCES In	NGC 7582 (B)	ck to INDE	<u>X</u> )								
Distances	found in 7	NED Men 61	dividual D	cance Measure	and states	GC 7582								
LOADE TO														
NGC 7582	Distance 2 (ma	nice as percide s original values rises lare bres Madular Ma	i fir "quick-los er publiched. upplied. ric Distance (Marc)	i danas as										
OTE: These of ty and based is homogeneous GGC 7582 from	Distance 3 (ma 31.62	nicis an provide n original values, risons have been Modular Mar og) 21.1	i far "goick-las ar publicher, upplied. ric Distance (Mpr) 00	i 🔶										
OTE These i ory art based i is homogeneous NGC 7582 Menn Sid. Dev.	Distance 7 (ma 31.62 0.22	etics are provide n original values, ctions have been mg) 21.1 2.00	i far "goick-las ar publicited upplied. ric Distance (Mpr) 00	] 🔶	•									
OTE: These is bey not based to homogeneor NGC 7582 Menti Std. Dev. Min.	Distance 3 (ma 31.62 (31.23	etics are provide n organal relation channe have been go 21.1 2.00 17.6	i fie "quick-las at publicited applied. ric Distance (Mpr) 00 0 00		•									
OTE These of bey not based for the homogeneous NGC 7582 Mean Std. Dev. Min. Max.	Distance 7 (mail or control (mail or control (mail of 22) (0.22) (0.22) (0.23)	nicis are provide n original values, etcans have been (g) 23.3 2.00 17.4 23.0 23.0	ric Distance (Mpc) 00 00 00	+	•									
OTE These of the homogeneous NGC 7582 Ment Sid. Dev. Min. Max. Mediate	Distance 3 (ma 31.62 0.22 31.23 31.81 31.72	erich are provide n original values, reason have based (g) 21.2 2.00 17.4 23.0 23.0 23.0 23.0 23.0 23.0 23.0 23.0	für "paidelas ar pahlysiad updied ric Distance (Mpr) 00 00 00 00 00 00		•									
OTE These of the homogeneous NGC 7582 Mean Std. Dev. Min. Max. Median	Distance 3 (ma 31.62 0.22 31.23 31.81 31.72	nicis an provide n organi values risona lavo lavo rigo 21.2 2.00 17.4 23.0 23.0 23.0 23.0 23.0 23.0 23.0 23.0	rite 'puide-ins ar published upplied rite Distance (Mpr) 00 00 00 00 00											- de
OTE These of boy and based to homogeneor NGC 7582 Menn Sid. Dev. Min. Max. Median CLASSIFIC	Distance 7 (ma 31.62 0.22 31.23 31.81 31.72 CATIONS	nici an provide n organi vition risona have been risona have been rigitation 2012 2012 2014 2014 2014 2014 2014 2014	r for "pointed or an published service Distance (Mpr) 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	) for NGC 1582	(Back to D	(DEX)	×.		_			 -		- 44
1012. These bry art based for hemogeneo- NGC 7582 Menn Std. Dev. Min. Mot. Mediae CLASSIFIC Type	Distance 1 (mm 31.62 0.22 31.23 31.72 CATIONS	nicis are perceide n original videos resonas here bers gi) 21.2 2.0 21.2 2.0 21.2 2.0 21.2 2.0 21.2 2.0 21.2 2.0 21.2 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2	for 'quick-lin a published' applied. ric Distance (Mpr) 00 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	) for NGC 1582 Jonegraized	(Back to P Plag	(DEX) Reference Cod					1000	-		- 4-1
1012. These they are based for heavingeness NGC 7582 Mean Sid. Dev. Min. Max. Median CLASSIFIC Type Hierarchy	Distance 7 (ma 31.62 31.23 31.81 31.72 CATIONS	nich an provide original video. Handbalar Maddalar Maddalar 13.2 2.00 17.4 23.4 24.0 17.4 23.4 24.0 17.4 23.4 24.0 17.4 23.4 24.0 17.4 23.4 24.0 17.4 24.0 24.0 25.0 2	rla "paick-lin m pubbled" rlc Distance (Mpr) 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	) for NGC 7582 Iomogratized	(Back to P Plag ber	(DEX) Reference Cod 2006/JNRAS J	en 1605		_			-		
NGC 7582 Mean Stand G Mean Stand St Mean Std. Dev. Min. Min. Min. Median CLASSIFIC Type Hierarchy Kinematic	Distance 3 (ma 31.62 0.22 31.23 31.81 31.72 CATIONS	nick as percision organist rules, organist resums have been gg) 21.1 2.0,0 1.17A 2.3,4 2.3,4 2.3,4 2.3,4 2.3,4 2.3,4 2.4 2.4 2.4 2.4 2.4 2.4 2.4 2.4 2.4 2.	ric Puick-los or pubbled or pubbled or pubbled or pubbled of the pubble	A ordenace sale:	(Back to P Flag ber	IDEN) Reference Cod 20063/NRAS J 1951MNRAS J	60_1605 292_14		_			•		

Figura 22: Identificando propriedades da galáxia de seu interesse (distância).

(f) Complete a Tabela h com os valores da velocidade de cada galáxia e calcule as suas respectivas distância através da equação abaixo

$$v = H_0.d \tag{2}$$

(g) Após o preenchimento da tabela volte para o site do NED e obtenha o valor atual da distância em Mpc das respectivas galáxias. (h) Após ter completado a Tabela h com os valores da distância calculados e os atualmente aceitos de cada galáxia, calcule o desvio percentual através da equação abaixo. O desvio percentual obtem o quanto o seu resultado se diferenciou do valor atual da distância.

$$desvio = \frac{d - d_{NED}}{d_{NED}} 100, \tag{3}$$

v (km/s)	d (Mpc)	d(Mpc)(NED)	desvio
	v (km/s)	v (km/s) d (Mpc)	v (km/s) d (Mpc) d(Mpc)(NED)

Tabela 13: Grupo de galáxias que pertencem ao superaglomerado de Virgem.

(i) Os valores da distância aceitos atualmente podem diferenciar dos valores obtidos através da Lei de Hubble, pois a distância é obtida através de diversos métodos e dependendo da distância da galáxia a velocidade própria terá valor considerável.

#### Aplicação em sala de aula

As propostas de atividades pedagógicas foram aplicadas no dia 26 de Junho de 2018 em uma Turma de 9° ano do Ensino Fundamental no Colégio Tauá (Ilha do Governador/RJ) durante dois tempos de aula com 50 minutos cada. A abordagem em sala começou com um resumo das principais características conceituais de uma onda, suas propriedades, efeito Doppler sonoro, espectro de luz, efeito Doppler relativístico, estrelas Cefeidas e Supernovas, e por fim a Lei de Hubble. Em seguida, para a familiarização dos alunos com a plataforma NASA/NED, eles realizaram a atividade 2, na qual utilizaram os dados cedidos pelo NASA/NED e calcularam a velocidade radial de cada gálaxia utilizando do valor do parâmetro z e o efeito Doppler relativístico na aproximação  $z \ll 1$ .

Após a familiarização com a plataforma NASA/NED, foi apresentado aos alunos o aplicativo *Vernier* para *smartphone*, com o qual eles poderiam fazer um tratamento de dados e obter o ajuste linear. Após isso, os alunos utilizaram a tabela de dados de estrelas supernovas e realizaram a atividade 5, utilizando os dados de suas distâncias e velocidades. Os alunos obtiveram o parâmetro de Hubble concluindo que a velocidade de uma estrela ou gálaxia está relacionada linearmente com a sua distância em relação ao Sol.

Uma discussão pós aula mostrou que os alunos foram capazes de entender os seguintes conceitos:

- 1. gráficos, leitura e apicação de dados experimentais,
- 2. ajuste linear, obtendo a melhor reta entre os dados,
- 3. nosso universo é maior que a Via Lactea, e existem diversas galáxias,
- 4. o efeito Doppler sonoro e luminoso,
- 5. A idéia que as galáxias estão estatisticamente afastando-se do observador.

Os alunos apresentaram um grande interesse pelo conteúdo do trabalho, despertando grandes curiosidades sobre a formação do universo, galáxias e estrelas; com isso tivemos um desafio de não desvirtuar das atividades propostas e dos conteúdos abordados, porém sem coibí-los das curiosidades; além disso tivemos alguns desafios com o download durante a aula, pois apesar de possuírem *smartphones* alguns alunos não possuíam pacotes de internet e o sinal de rede de algumas operadoras de telefonia era fraco na sala de aula, limitando assim alguns alunos de fazerem as atividades em sua plenitude. Após as atividades os alunos tiveram a assimilação de que o sistema solar não é todo o universo, que existem diversas estrelas em nossa Via Láctea, a Via láctea não é a única galáxia do universo, que existem bilhões de galáxias com bilhões de estrelas, e essas galáxias se afastam uma das outras de acordo com a expansão do universo.

Para concluir chamamos a atenção que há espaço para o aperfeiçoamento destas atividades, pois na nossa avaliação as duas aulas de 50 minutos fornecem tempo suficiente para uma turma de 3° ano do Ensino Médio, pois certos conceitos e tópicos já seriam trabalhados em momentos anteriores ao longo do ano letivo, sobrando, assim, mais tempo para o aproveitamento de maior quantidade de dados para a obtenção do parâmetro de Hubble.



Figura 23: Fotos da aplicação da atividade pedagógica em sala de aula.



Figura 24: Fotos da aplicação da atividade pedagógica em sala de aula.



Figura 25: Fotos da aplicação da atividade pedagógica em sala de aula.



Figura 26: Fotos da aplicação da atividade pedagógica em sala de aula.



Figura 27: Fotos da aplicação da atividade pedagógica em sala de aula.



Figura 28: Fotos da aplicação da atividade pedagógica em sala de aula.



Figura 29: Fotos da aplicação da atividade pedagógica em sala de aula.