



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
ESCOLA DE FORMAÇÃO DE PROFESSORES E HUMANIDADES
LICENCIATURA PLENA EM FÍSICA

CINDY LISIANI SALES BORGES

ASTRONOMIA NO ENSINO DE CIÊNCIAS

Enfoque Histórico e Experimental

GOIÂNIA – GOIÁS

Julho de 2022

CINDY LISIANI SALES BORGES

ASTRONOMIA NO ENSINO DE CIÊNCIAS

Enfoque Histórico e Experimental

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Licenciatura Plena em Física da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, como requisito parcial para a obtenção do grau de Licenciado em Física.

Orientador: Prof. Dr. Clóves Gonçalves Rodrigues

GOIÂNIA – GOIÁS

Julho de 2022

CINDY LISIANI SALES BORGES

ASTRONOMIA NO ENSINO DE CIÊNCIAS

Enfoque Histórico e Experimental

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Formação de Professores e Humanidades da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Licenciatura Plena em Física.

Prof. Dr. Clóves Gonçalves Rodrigues – Orientador
Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Prof. Me. Edson Vaz de Andrade – Coorientador
Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Prof. Dr. Clebes André da Silva – Membro da Banca
Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Goiânia - GO

Julho de 2022

*Dedico este trabalho aos sonhadores e curiosos.
Especialmente dedico ainda, à criança que temos
dentro de nós, que sempre se impressiona ao olhar
para o céu estrelado, e que não consegue parar de
pensar nas maravilhas que podem existir pelo universo.*

AGRADECIMENTOS

A minha avó: Dona Benedicta. Essa mulher é a responsável por tudo aquilo que sou e me tornei. Desde muito cedo me ensinou o valor que tem o conhecimento, a humildade e a garra. Me fez ser forte e corajosa. A ela devo tudo.

Ao meu grande amor e parceiro de vida, Lucas. Sem sua ajuda, incentivo e cuidados eu não conseguiria.

A minha família, minha irmã Ingrid e meus irmãos Kevin e Giovani, que sempre torceram por mim, e vão comemorar e vibrar comigo esta conquista.

A todos os professores da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, em especial os professores Edson Vaz de Andrade, Nelson Carneiro Junior, Anderson Costa da Silva, Richard de Souza Costa: seus conhecimentos me transmitiram muito mais que apenas o conteúdo, espero algum dia ser pelo menos metade do que vocês são, grandes mestres.

Ao meu orientador Clóves Gonçalves Rodrigues, além de intelectual extraordinário, é um grande educador. Sua inteligência e humanidade serão para mim sempre um modelo a me espelhar. Só tenho a agradecer por todo o apoio, compreensão, paciência e incentivo. Terá sempre minha gratidão, admiração e respeito por ter sido peça fundamental e indispensável em minha formação.

Aos meus amigos e companheiros deste curso, que encontrei muito mais que apenas colegas de classe. Acompanharam-me, ajudaram e apoiaram durante essa jornada (que sabem bem que não foi nada fácil). Mellina, Hanã e Matheus Vieira: Obrigada de todo meu coração.

E finalmente um agradecimento a mim, pois não desisti. Mesmo com toda a adversidade, dor, pesar e dificuldades. Mantive-me firme e com foco em atingir meus objetivos e ir atrás dos meus sonhos.

*“Em algum lugar, algo incrível está esperando
para ser descoberto”.*

Carl Sagan (1934-1996).

Resumo

Apresenta-se neste trabalho a astronomia e suas vertentes, bem como suas aplicações e sua importância no ensino para responder questões fenomenológicas cotidianas. Este trabalho está dividido em capítulos. O primeiro apresenta conceitos básicos e fundamentais da astronomia e um breve histórico. O segundo capítulo aborda os campos de atuação da astronomia, onde ela se insere e como colabora para a construção contínua do conhecimento científico humano. São apresentadas ferramentas tecnológicas disponíveis, tais como: telescópios, linguagens de programação, engenharia, estações espaciais, etc.

Palavras-chave: Astronomia. Ensino de astronomia. Ensino de ciências. Experimentos didáticos. Cosmologia.

Lista de Figuras

Figura 1.1 (a) Formação estelar na Grande Nuvem de Magalhães, uma galáxia irregular.....	15
Figura 1.1 (b) Mosaico da Nebulosa do Caranguejo, remanescente de uma supernova.....	15
Figura 1.2 (a) Alinhamento de menir em Carnac na França.....	16
Figura 1.2 (b) Stonehenge, localizado na Inglaterra no condado de Wiltshire.....	16
Figura 1.2 (c) Newgrange, localizado no condado Meath na Irlanda.....	17
Figura 1.3 Choque de um objeto celeste com Júpiter observado pelo astrônomo amador José Luís Pereira.....	18
Figura 1.4 Uma página do livro Rigueveda.....	19
Figura 1.5 Representação Cosmológica bíblica no período pré-exílico.....	19
Figura 1.6 Principal fragmento da Máquina de Anticítera, o primeiro computador analógico da história.....	21
Figura 1.7 Estátua em homenagem a Aryabhata.....	21
Figura 1.8 Estátua em homenagem a Alfragano, no Cairo, onde supervisionou a construção de poços que permitiam a medição das flutuações do nível de água do rio Nilo.....	22
Figura 1.9 Pintura representando Abu Mahmud Hamid ibn al-Khidr al-Khojandi.....	23
Figura 1.10 Pintura representando Ghiyath al-Din Abu'l-Fath Umar ibn Ibrahim al-Nisaburi al-Khayyami.....	23
Figura 1.11 (a) Nicolau Copérnico, nascido em 19 de fevereiro de 1473 na cidade de Toruń, Prússia Real.....	24
Figura 1.11 (b) Folha de rosto do livro De revolutionibus orbium coelestium.....	24
Figura 1.12 Ilustração de Andreas Cellarius do sistema copernicano, da Harmonia Macrocosmica.....	25
Figura 2.1 Nebulosa planetária de Formiga.....	26
Figura 2.2 Astronomia extragaláctica: exemplo de lente gravitacional. Esta imagem, captada pelo telescópio espacial Hubble, mostra vários objetos azuis em forma de espiral que, na verdade, são imagens múltiplas de uma mesma galáxia. A imagem original da galáxia é multiplicada pelo efeito de lente gravitacional causado pelo aglomerado de galáxias elípticas e espirais de cor amarela que aparecem no centro da fotografia. A lente gravitacional deve-se ao campo gravitacional produzido pelo aglomerado, que curva e distorce a luz proveniente de objetos mais distantes.....	27
Figura 2.3 Radiotelescópio de Goldstone.....	28
Figura 2.4 Região N11B na Grande Nuvem de Magalhães. Uma nuvem molecular é um tipo de nuvem interestelar cuja densidade e tamanho permitem a formação de moléculas, mais habitualmente hidrogênio molecular (H_2). Isto entra em contraste com outras áreas do meio interestelar, que contêm predominantemente gás ionizado.....	29
Figura 2.5 Imagem ultravioleta da Galáxia de Bode através do Telescópio Galex.....	30

Figura 2.6 O observatório de raios-X Chandra no interior do ônibus espacial Columbia, pouco antes da partida para a missão STS-93.....	31
Figura 2.7 Concepção artística do Comptom em funcionamento. O Observatório de raios Gama Compton foi o segundo telescópio do grupo dos Grandes Observatórios Espaciais da NASA, destinado a estudar principalmente, as radiações gama dos corpos celestes.....	32
Figura 2.8 Luminescência visível de GRB 970508 observada um mês depois da detecção da erupção. As erupções de raios gama (GRB Gamma Ray Burst em inglês) são explosões extremamente energéticas que foram vistas em galáxias distantes. Elas são os fenômenos mais luminosos que se conhecem no universo. Um estudo sugere que, quando se trata das maiores e mais brilhantes explosões, as estrelas precisam de uma estrela parceira para fazer uma explosão de raios gama.....	32
Figura 2.9 (a) Detector de neutrinos SNO em Ontário, no Canadá: colocado no subsolo a 2 km de profundidade, possui 18 metros de diâmetro e 1.000 toneladas de água pesada.....	33
Figura 2.9 (b) The Sudbury Neutrino Observatory (SNO).....	33
Figura 2.10 LIGO: um experimento de física em grande escala destinado a detectar ondas cósmicas gravitacionais, Livingston, Louisiana, USA.....	34
Figura 2.11 Fly-by mission: representação artística da sonda Giotto aproximando-se de um cometa.....	34
Figura 2.12 Os astrônomos usam uma técnica chamada paralaxe para medir com precisão a distância das estrelas no céu. Usando a técnica, que requer a observação de alvos de lados opostos da órbita da Terra ao redor do Sol, os astrônomos localizaram a distância do famoso aglomerado de estrelas das “Sete Irmãs”, as Plêiades.....	35
Figura 2.13 Estrutura do Sol, uma anã amarela: 1. Núcleo; 2. Zona radiativa; 3. Zona convectiva; 4. Fotosfera; 5. Cromosfera; 6. Corona; 7. Mancha solar; 8. Grânulo.....	36
Figura 2.14 Astronomia planetária ou ciência planetária: um “dust devil” (literalmente, demônio da poeira) marciano. A fotografia foi captada pela NASA Global Surveyor em órbita à volta de Marte. A faixa escura e longa é formada pelos movimentos em espiral da atmosfera marciana (um fenômeno semelhante ao tornado). O dust devil (o ponto preto) está subindo a encosta da cratera. Os dust devils formam-se quando a atmosfera é aquecida por uma superfície quente e começa a rodar ao mesmo tempo que sobe. As linhas no lado direito da figura são dunas de areia no leito da cratera.....	37
Figura 2.15 Imagem de Plutão.....	39
Figura 2.16 Linha do tempo da vida do Sol.....	39
Figura 2.17 Concepção artística da galáxia, onde se destacam o disco, o bojo central e o halo de aglomerados globulares.....	40
Figura 2.18 Foto da galáxia NGC 4826 da Constelação da Cabeleira de Berenice.....	41
Figura 2.19 Edwin Powell Hubble em 1931.....	43
Figura G.1 (b). Eclipse Lunar.....	62
Figura G.2. Espectro Eletromagnético.....	62
Figura G. 3. Imagem ilustrativa da magnetosfera da Terra.....	63

Figura G.4 Imagem ilustrativa de Ceres. Na mitologia romana, Ceres é a deusa da colheita. Esse planeta anão foi identificado em 1801 pelo astrônomo Giuseppe Piazzi e está localizado entre as órbitas de Marte e Júpiter, em uma região denominada de Cinturão de Asteroides, sendo, portanto, o planeta anão mais próximo da Terra. A sua composição é de material rochoso, possui massa de aproximadamente $9,45 \times 10^{20}$ kg, gravidade de $0,26\text{m/s}^2$ e diâmetro de 950 km.....64

Figura G.5. Representação das linhas de campo magnético de um pulsar com o feixe de radiação sendo ejetado pelos polos magnéticos.....64

Figura. G.6. Supernova 1987A.....65

Sumário

Introdução.....	13
Capítulo 1 – A Astronomia.....	15
1.1. Definição.....	15
1.2. História.....	18
Capítulo 2 – Campos de Atuação da Astronomia.....	26
2.1. Introdução.....	26
2.2. Radioastronomia.....	27
2.3. Astronomia Infravermelha.....	28
2.4. Astronomia Óptica.....	29
2.5. Astronomia Ultravioleta.....	29
2.6. Astronomia de Raios-X.....	30
2.7. Astronomia de Raios Gama.....	31
2.8. Campos não baseados no espectro eletromagnético.....	32
2.9. Astrometria e Mecânica Celeste.....	35
2.10. Subcampos Específicos da Astronomia.....	36
2.10.1. Astronomia solar.....	36
2.10.2 Ciência planetária.....	37
2.10.3 Astronomia Estelar.....	39
2.10.4. Astronomia Galáctica.....	40
2.10.5. Astronomia Extragaláctica.....	40
2.10.6. Cosmologia.....	41
2.10.7. Astronomia teórica	43
2.10.8. Campos interdisciplinares.....	43

Capítulo 3 – Conclusão.....	59
Glossário.....	61
Bibliografia.....	66

Introdução

Em toda a sua história, o ser humano sempre esteve em busca da compreensão dos fenômenos e das questões elementares que o cercam e mais, de sua própria existência. Tentar entender a si mesmo e ao mundo ao seu redor faz parte da natureza humana. A fascinação humana pelos “mistérios do Universo” também está presente desde o início das primeiras civilizações. Portanto, a astronomia pode ser considerada uma das primeiras ciências desenvolvidas pelo homem. Acredita-se que o homem tenha investigado os céus antes mesmo de procurar um maior conhecimento sobre os rios, os mares e a terra. Os primeiros povos que deixaram a vida nômade e se fixaram para cultivar a terra e conseguir o seu sustento, muito possivelmente tinham conhecimentos acerca das estações do ano e de outros fenômenos astronômicos, os quais eram essenciais para o plantio, já demonstrando que havia uma relação estreita entre estes povos e os céus.

A princípio o Universo conhecido estava limitado somente ao Sol, a Lua, as estrelas e alguns planetas. Com o passar do tempo, com a evolução do pensamento humano, das ideias, e da melhoria dos instrumentos astronômicos, a astronomia deu passos muito importantes. Atualmente há satélites e sondas no espaço coletando uma enormidade de dados e informações deste grande e surpreendente universo, e com a construção dos modernos telescópios passou-se a detectar até mesmo o que é “invisível”.

A astronomia brasileira como ciência institucionalizada e produtiva é uma atividade recente dando ainda os seus primeiros passos. No Brasil o curso de graduação em Astronomia é um curso raro, presente em apenas três instituições de ensino superior credenciadas pelo MEC: Universidade Federal do Sergipe (UFS), Universidade de São Paulo (USP) e Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Segundo o censo realizado pela Sociedade Astronômica Brasileira, em maio de 2011 havia 340 doutores em Astronomia atuando como pesquisadores no Brasil. Em 2006 foi instituída, no estado do Rio de Janeiro, a data de 2 de dezembro como o Dia do Astrônomo. A data coincide com o aniversário do imperador Dom Pedro II, que era um conhecido incentivador da Astronomia.

O astrônomo é o profissional que pesquisa o universo e todos os elementos que o constituem (como planetas, estrelas, galáxias, cometas, etc.) determinando suas propriedades físicas, sua composição química, sua formação e evolução. O astrônomo tem o auxílio de algumas ferramentas e instrumentos para conduzir suas pesquisas, tais como: lunetas,

telescópios, computadores, radiotelescópios, calculadoras, binóculos, máquinas fotográficas, filmadoras, observatórios terrestres e espaciais entre outros.

Além de fazerem parte da matriz curricular dos ensinos fundamental e médio, assuntos relacionados à astronomia costumam chamar muito a atenção das pessoas de todas as faixas etárias. Porém, não é de se estranhar que boa parte dos alunos da rede pública de ensino concluam seus estudos sem os conhecimentos básicos de astronomia que são pertinentes à sua formação. Em virtude dessa evidência, acreditamos que há a necessidade da introdução de temas relacionados à Astronomia ainda no ensino básico. Uma sugestão é a introdução de experimentos didáticos demonstrativos de fácil acesso e baixo custo, os quais trabalhem com a visualização, criatividade e materialização dos fenômenos astronômicos envolvidos, trazendo luz a conhecimentos básicos com bastante clareza e eficiência. Além de proporcionar um recurso a mais de ensino para o professor, o aluno se sente mais motivado em aprender, saindo dos padrões mais tradicionais de ensino para dinâmicas e debates em sala de aula.

Este trabalho de conclusão de curso tem foco não somente tratar da grande área da Astronomia e suas vertentes, como também a de apresentar uma visão desmitificada desta ciência e do cientista. É esperado também que este trabalho desperte uma possível vocação científica nos estudantes, motivando educadores a introduzir novas formas de comunicar a ciência a seus alunos.

Capítulo 1

A Astronomia

1.1 Definição

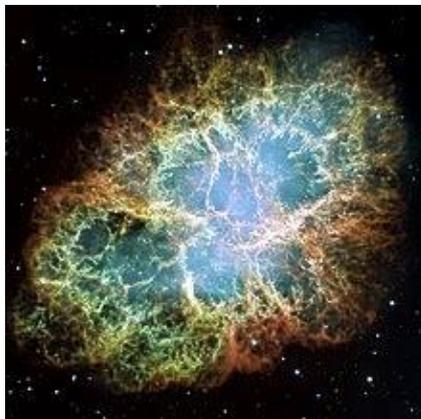
A Astronomia é uma ciência natural que estuda os corpos celestes tais como: planetas, cometas, asteroides, estrelas e seus aglomerados, galáxias (Figura 1.1a), nebulosas (Figura 1.1b), etc. A astronomia lida com fenômenos que se originam fora da atmosfera da Terra como, por exemplo, a radiação cósmica de fundo em micro-ondas. A astronomia se preocupa com a química, a física e o movimento dos corpos celestes, bem como a sua origem, formação e evolução do universo.

Figura 1.1(a) Formação estelar na Grande Nuvem de Magalhães.



Fonte: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Astronomia#/media/Ficheiro:Starsinthesky.jpg>>. Acessado em 23 de setembro de 2021.

Figura 1.1(b) Mosaico da Nebulosa do Caranguejo.



Fonte: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Astronomia#/media/Ficheiro:Starsinthesky.jpg>>. Acessado em 23 de setembro de 2021.

A astronomia é uma das ciências mais antigas que se tem conhecimento. Algumas culturas pré-históricas deixaram registrados vários monumentos astronômicos como, por exemplo: os menires, Stonehenge e os montes de Newgrange, Figura 1.2. As primeiras civilizações, como os babilônios, gregos, chineses, indianos, persas e maias realizaram observações metódicas do céu noturno. No entanto, a astronomia moderna somente se desenvolveu a partir da invenção do telescópio. A astronomia se compõe de diversas disciplinas como astrometria, navegação astronômica, astronomia observacional, elaboração de calendários, etc. Durante o período medieval, seu estudo era obrigatório e estava incluído no *Quadrivium* que, junto com o *Trivium*, compunha a metodologia de ensino das sete Artes liberais.

Figura 1.2(a) Alinhamento de menir em Carnac na França.



Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Stonehenge#/media/Ficheiro:Stonehenge_back_wide.jp>. Acessado em 23 de setembro de 2021.

Figura 1.2(b) Stonehenge, localizado na Inglaterra no condado de Wiltshire.



Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Stonehenge#/media/Ficheiro:Stonehenge_back_wide.jp>. Acessado em 23 de setembro de 2021.

Figura 1.2(c) Newgrange, localizado no condado Meath na Irlanda.



Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Stonehenge#/media/Ficheiro:Stonehenge_back_wide.jp. Acessado em 23 de setembro de 2021.

Durante o século XX, o campo da astronomia profissional dividiu-se em dois ramos: a astronomia observacional e a astronomia teórica. A astronomia observacional está focada na aquisição de dados a partir da observação de objetos celestes que são analisados utilizando os princípios básicos da física. Já a astronomia teórica é voltada para o desenvolvimento de modelos analíticos e computacionais que descrevem objetos e fenômenos astronômicos. Os dois campos se complementam, com a astronomia teórica procurando explicar os resultados observacionais, bem como as observações sendo usadas para confirmar ou refutar os resultados teóricos. Refutar uma teoria as vezes é mais importante que confirmá-la, pois, a ciência progride no sentido que uma nova teoria (às vezes revolucionária) terá que ser construída.

Os astrônomos amadores também têm contribuído com importantes descobertas astronômicas. A astronomia é uma das poucas ciências onde os amadores podem desempenhar um papel ativo, especialmente na observação e descoberta de fenômenos transitórios. Como exemplo, na madrugada de 12 para 13 de setembro de 2021, o astrônomo amador brasileiro de 60 anos de idade José Luís Pereira, engenheiro civil aposentado, registrou um raro evento astronômico: o choque de um objeto celeste com a superfície de Júpiter, Figura 1.3. Este corpo celeste que se chocou com Júpiter pode ser um cometa ou asteroide. As imagens foram enviadas por José Luís para a NASA e estão sendo analisadas.

José Luís se tornou o primeiro brasileiro a realizar tal tipo de observação (Diário de Pernambuco, 2021).

Figura 1.3 Choque de um objeto celeste com Júpiter, observado pelo astrônomo amador José Luís Pereira.



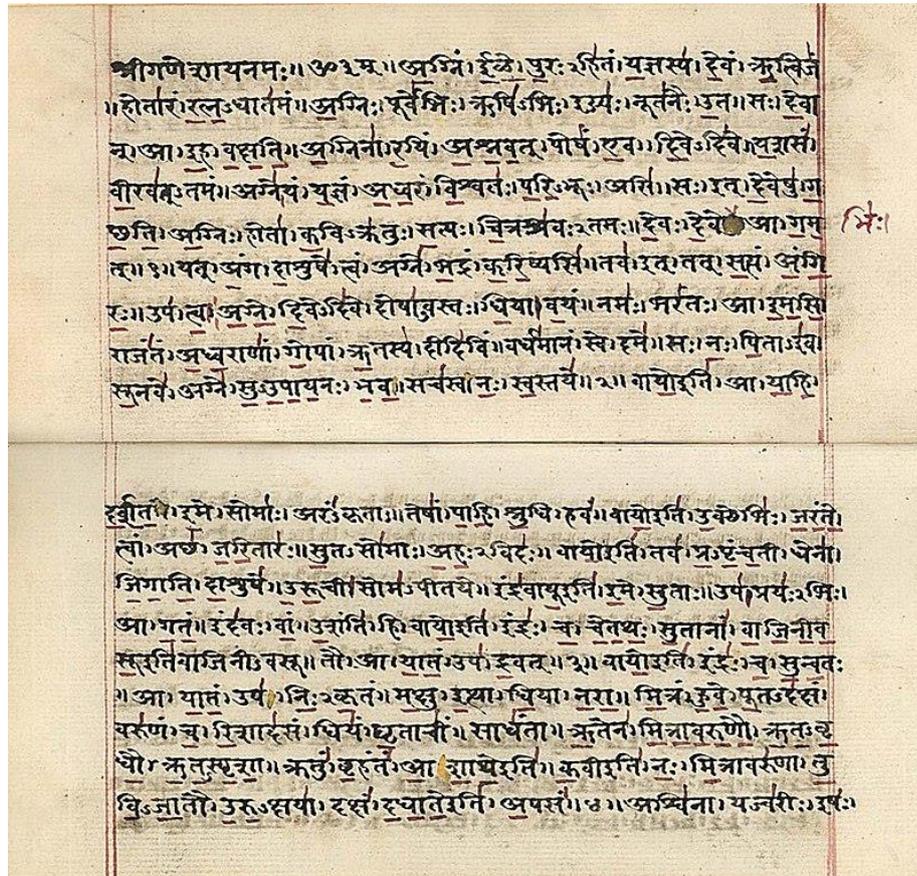
Fonte: <<https://olhardigital.com.br/2021/09/21/colunistas/a-importancia-do-impacto-em-jupiter-flagrado-por-brasileiro/>>. Acessado em 23 de setembro de 2021.

1.2 História

A Astronomia não deve ser confundida com astrologia, sistema de crença que afirma que os assuntos humanos estão correlacionados com as posições dos objetos celestes. Embora as duas compartilhem uma origem comum, devem ser tratadas atualmente de forma bem distinta.

A astronomia inicialmente envolveu somente a observação e a previsão dos movimentos dos objetos no céu que podiam ser vistos a olho nu. O “Rigueveda”, também conhecido como “Livro dos Hinos”, é o documento mais antigo da literatura hindu, composto de hinos, rituais e oferendas às divindades, Figura 1.4. Nele é feita referência aos 27 asterismos (ou *nakshatras*) associados aos movimentos do Sol e também às doze divisões zodiacais do céu (Langlois, 1984).

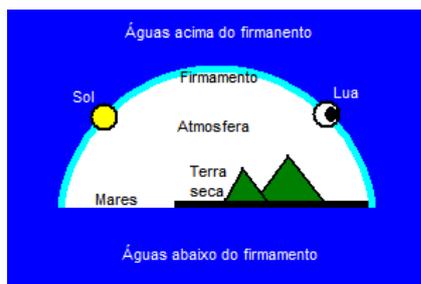
Figura 1.4 Uma página do livro Rigueveda.



Fonte: <<http://www.nb.no/baser/schoyen/5/5.20/ms2097.jpg>>. Acessado em 23 de setembro de 2021.

Outro livro que também possui versículos a respeito da natureza dos planetas e das estrelas e sobre a localização da Terra no universo é a Bíblia. No entanto, estes versículos não devem ser interpretados de forma literal¹, mas sim de maneira poética e mitológica. A teoria cosmológica embasada nas informações escritas na Bíblia é chamada de “Cosmologia Bíblica”, Figura 1.5. Sem base científica, tal teoria considera o universo como uma entidade organizada e estruturada, incluindo origem, ordem, significado e destino para o cosmos.

Figura 1.5 Representação Cosmológica bíblica no período pré-exílico.



Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Cosmologia_b%C3%ADblica#/media/Ficheiro:Firmamento.PNG>.

¹ Adele Berlin, *Cosmology and creation* (Oxford University Press., 2011).

Por milhares de anos o ser humano investiga o espaço, e as primeiras observações dos céus conduziram à previsão de eventos como, por exemplo, os eclipses.

No ano 4.000 a.C., os egípcios desenvolveram um calendário baseado no movimento dos objetos celestes. O calendário egípcio é considerado um dos primeiros calendários conhecidos da história da humanidade e está intensamente conectado com a necessidade de ocupação do povo egípcio às margens do rio Nilo². Há aproximadamente 11 mil anos a.C., algumas plantas foram domesticadas na Ásia e a agricultura de pequena escala teve seu início no Egito em torno de 7.000 a.C.³. Imagina-se que a razão dos egípcios criarem o calendário deva-se à necessidade de se preparar o cultivo da terra para a época de plantio nas imediações do rio Nilo ou “Aur” ou “Ar”, que significa negro, a qual é uma referência à terra negra rica em matéria orgânica trazida pelo rio no regime das cheias. Esta terra era muito fértil servindo como adubo natural para o enriquecimento do solo.

Os antigos gregos também tiveram importantes contribuições no campo da astronomia. Entre elas destaca-se a definição de magnitude aparente. A escala utilizada para indicar a magnitude se origina na prática utilizada na antiga Grécia em dividir as estrelas visíveis a olho nu em seis magnitudes. Às estrelas mais brilhantes do céu noturno era atribuída a primeira magnitude ($m = 1$), enquanto as estrelas mais tênues tinham a sexta magnitude ($m = 6$), que é o limite da percepção visual humana sem a utilização de algum tipo de instrumento. Cada grau de magnitude era considerado como o dobro do brilho do grau seguinte, ou seja, uma escala logarítmica. Tal método acaba sendo subjetivo, pois não existia espectroscopia e nem fotodetectores naquela época. Esta escala bastante rudimentar para o brilho das estrelas foi popularizada por Ptolemeu em seu *Almagesto*, e acredita-se que sua origem se deve a Hiparco.

Um dispositivo originário da Grécia antiga é a “Máquina de Anticítera” que data de aproximadamente 80-87 a.C. Com este dispositivo era possível calcular os movimentos dos planetas, sendo considerado o primeiro ancestral dos computadores astronômicos. Tal máquina foi encontrada nos destroços de um antigo naufrágio na ilha grega de Anticítera, entre as ilhas gregas de Creta e Cítera. O dispositivo ficou famoso por usar uma engrenagem diferencial (que os historiadores da ciência acreditavam ter sido inventada somente no século XVI) e pela miniaturização e complexidade de suas partes, que foram comparadas a um

² Ancient Egyptian Calendar. Disponível em: <http://www.kingtutshop.com/freeinfo/Ancient-Egyptian-Calendar.htm>.

³ Richard Hamilton, *Agriculture's Sustainable Future: Breeding Better Crops*, Editions 19, 2s, 16-17 (June 2009). doi:10.1038/scientificamericanearth0609-16. Disponível em: <https://www.scientificamerican.com/article/agricultures-sustainable-future/>.

relógio feito no século XVII. O mecanismo original, Figura 1.6, está exposto na Coleção do Bronze do Museu Nacional Arqueológico de Atenas, acompanhado por uma réplica.

Figura 1.6 Principal fragmento da Máquina de Anticítera, o primeiro computador analógico da história.



Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/M%C3%A1quina_de_Antic%C3%ADtera#/media/Ficheiro:NAMA_Machine_d'Anticyth%C3%A8re_1.jpg>.

Aryabhata (476-550), Figura 1.7, foi o primeiro dentre os grandes matemáticos e astrônomos da Idade Clássica dos matemáticos e astrônomos indianos. Nos anos 500, em seu livro “Ariabatiia”, apresentou um sistema em que o planeta Terra girava em torno do seu próprio eixo e os planetas se deslocavam periodicamente em torno do Sol, ou seja, era um sistema heliocêntrico. Aryabhata acreditava que os planetas e a Lua brilhavam devido à luz solar por eles refletida e acreditava que as órbitas dos planetas eram elípticas. Seu livro explicava corretamente as causas dos eclipses da Lua e do Sol. O valor da duração do ano que ele encontrou na época foi de 365 dias, 6 horas, 12 minutos e 30 segundos. Este valor é impressionantemente próximo ao valor correto.⁴

Figura 1.7 Estátua em homenagem a Aryabhata.



Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Ariabata#/media/Ficheiro:2064_aryabhata-crp.jpg>.

⁴ B. S. Yadav, *Ancient Indian Leaps Into Mathematics* (Springer, ISBN 978-0-8176-4694-3, 2010).

A astronomia se desenvolveu muito pouco durante a Idade Média. A exceção se dá a trabalhos de astrônomos árabes. Por volta do fim do século IX, o astrônomo persa Abu'l-Abbas Ahmad ibn Muhammad ibn Kathir al-Farghani (805-880), mais conhecido no ocidente como Alfragano, Figura 1.8, produziu textos sobre o movimento dos corpos celestes. No século XII os seus trabalhos foram traduzidos para o latim, e segundo historiadores da arte e ciência Dante aprendeu astronomia através dos livros escritos por al-Farghani.⁵

Figura 1.8 Estátua em homenagem a Alfragano, na cidade do Cairo, onde supervisionou a construção de poços que permitiam a medição das flutuações do nível de água do rio Nilo.



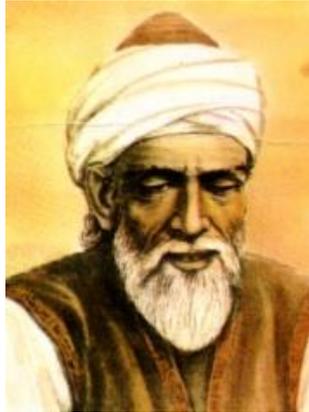
Fonte: <<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b7/CairoRodaAlfraganusMonument.jpg>>.

Já no fim do século X, um grande observatório astronômico foi construído perto da cidade de Ray, atual Irã, pelo astrônomo e matemático persa al-Khojandi (940-1000), Figura 1.9. Al-Khojandi observou uma série de trânsitos meridianos do Sol, o que lhe permitiu calcular a obliquidade da eclíptica (também conhecida por inclinação do eixo da Terra em relação ao Sol) obtendo o valor de $23^{\circ}32'19''$. Sabe-se atualmente que este valor é de aproximadamente $23^{\circ}34'$. Usando esta informação, Khojandi também tabelou uma lista das longitudes e latitudes das principais cidades conhecidas da época.⁶

⁵ Ahmad Dallal, *Islam, Science, and the Challenge of History* (Yale University Press, ISBN 9780300159110, 2010).

⁶ Frederic P. Miller, Agnes F. Vandome, John McBrewster, *Abu-Mahmud al-Khujandi* (Alphascript Publishing, ISBN-13: 978-6133801059, 2010).

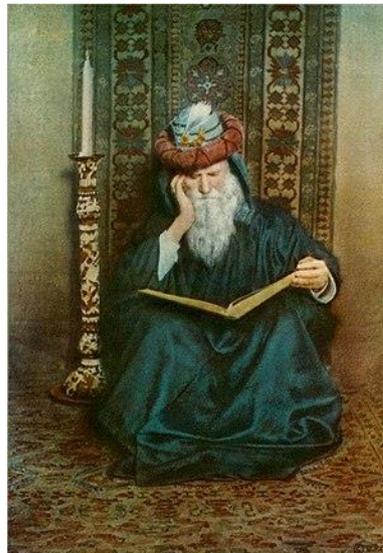
Figura 1.9 Pintura representando Abu Mahmud Hamid ibn al-Khidr al-Khojandi.



Fonte: <https://pantheon.world/profile/person/Abu-Mahmud_Khojandi/>.

Outro grande cientista, poeta e filósofo persa de destaque foi Omar Khayyam (1048-1131), Figura 1.10. Omar compilou muitas tabelas astronômicas e fez uma reforma no calendário tornando-o mais exato que o Calendário Juliano, se aproximando do Calendário Gregoriano. Um feito surpreendente de Omar foi o seu cálculo do ano. Ele obteve o valor de 365,24219858156 dias, o qual se considerado até a sexta casa decimal é igual ao valor atual. Deve-se considerar também que nesses mil anos desde o seu cálculo pode ter havido algumas alterações na órbita terrestre.

Figura 1.10 Pintura representando Ghiyath al-Din Abu'l-Fath Umar ibn Ibrahim al-Nisaburi al-Khayyami.

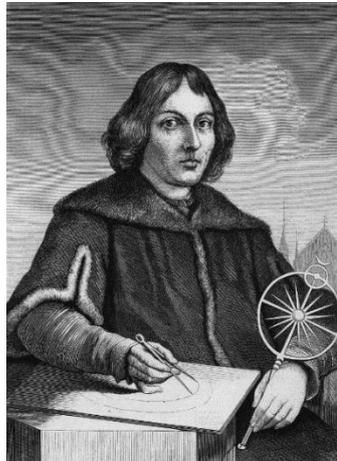


Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Omar_Caiam#/media/Ficheiro:033-Earth-could-not-answer-nor-the-Seas-that-mourn-q75-829x1159.jpg>.

Durante o Renascimento, o astrônomo e matemático polonês Nicolau Copérnico (1473-1543), Figura 1.11(a), propôs um modelo heliocêntrico do Sistema Solar, Figura 1.11(b). No século XIII o imperador Hulagu Khan (1217-1265), que era neto de Gengis Khan

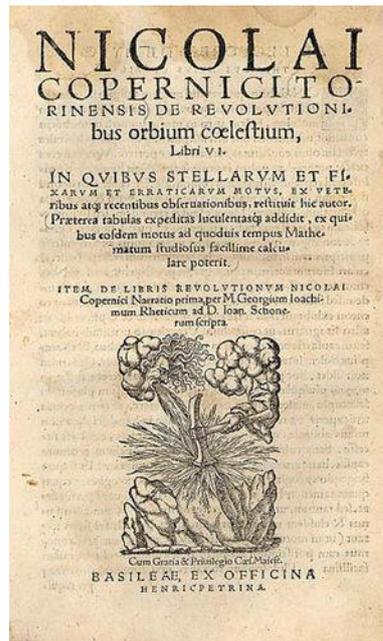
e um defensor das ciências, concedeu ao cientista, matemático e filósofo persa Nasir El Din Tusi (1201-1274) autorização para construir um observatório na cidade de Maragheh, no Irã, considerado sem comparações para a época em que foi construído. Faz-se necessário comentar que existem algumas semelhanças entre os trabalhos desenvolvidos no observatório de Maragheh e a obra “De Revolutionibus Orbium Caelestium” de Nicolau Copérnico. Estas semelhanças fez alguns historiadores admitirem que Nicolau Copérnico tinha tomado conhecimento dos estudos de Nasir El Din Tusi, por meio de cópias de trabalhos de Tusi existentes no Vaticano.

Figura 1.11(a) Nicolau Copérnico, nascido em 19 de fevereiro de 1473 na cidade de Toruń, Prússia Real.



Fonte: < https://pt.wikipedia.org/wiki/Nicolau_Cop%C3%A9rnico#/media/Ficheiro:Copernicus.jpg>;

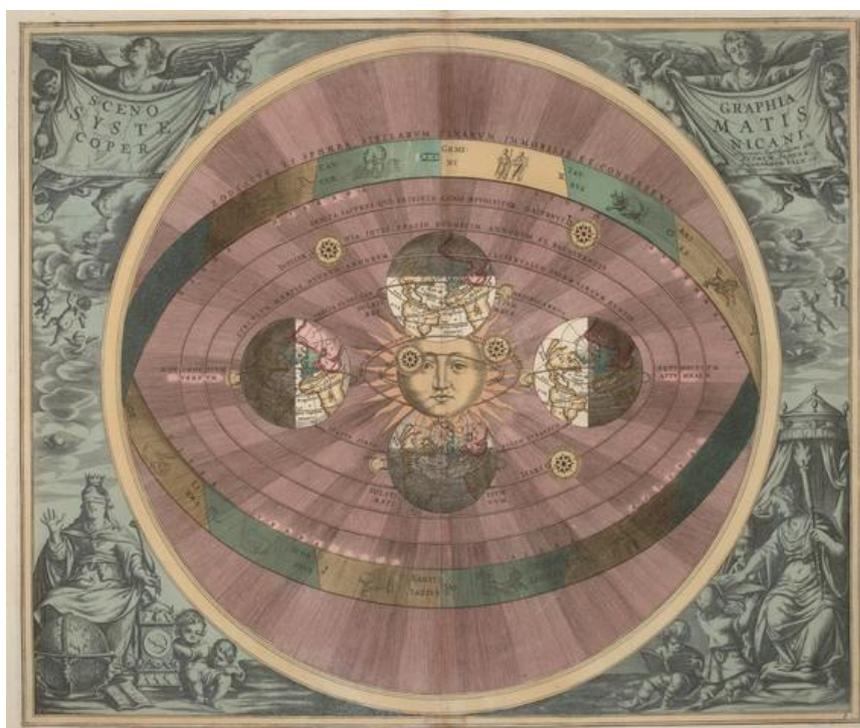
Figura 1.11(b) Folha de rosto do livro “De revolutionibus orbium coelestium”.



Fonte:<https://pt.wikipedia.org/wiki/Nicolau_Cop%C3%A9rnico#/media/Ficheiro:De_revolutionibus_orbium_coelestium.jpg>.

O modelo heliocêntrico do Sistema Solar, Figura 1.12, foi defendido, desenvolvido e corrigido pelo físico e astrônomo italiano Galileu Galilei (1564-1642) e pelo astrônomo e matemático alemão Johannes Kepler (1571-1630). Kepler foi o primeiro a desenvolver um sistema que descrevia em detalhes o movimento correto dos planetas, com o Sol situado no centro do sistema solar. No entanto, Kepler não foi capaz de explicar os princípios físicos que existiam por trás das leis que descobriu. Estes princípios foram enunciados mais tarde pelo físico inglês Isaac Newton (1643-1727), que mostrou que o movimento dos planetas podia ser explicado pelas leis da dinâmica e pela sua lei da gravitação universal.

Figura 1.12 Ilustração de Andreas Cellarius do sistema copernicano.



Fonte: <<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/57/Heliocentric.jpg>>.

Modernamente constatou-se que as estrelas são objetos muito distantes e com o advento da espectroscopia provou-se que são similares ao nosso próprio Sol, mas com uma grande variedade de temperaturas, massas e tamanhos. A existência de nossa galáxia (a Via Láctea) como um grupo separado das estrelas foi provada somente no século XX, bem como a existência de galáxias “externas”. Logo depois, foi verificada a expansão do universo em virtude da recessão da maioria das galáxias de nós. A Cosmologia fez avanços enormes durante o século XX, com o modelo do Big Bang fortemente apoiado pelas evidências fornecidas pela Astronomia e pela Física, tais como a radiação cósmica de micro-ondas de fundo, a Lei de Hubble e a abundância cosmológica dos elementos.

Capítulo 2

Campos de Atuação da Astronomia

2.1 Introdução

A Astronomia possui um objeto de estudo muito amplo, assim a astronomia é dividida em vários campos de estudo. Uma distinção mais geral é entre a “astronomia teórica” e a “astronomia observacional”. Os observadores usam vários meios para obter dados sobre os mais diversos fenômenos. Estes dados são utilizados pelos teóricos para criar e testar modelos e teorias para explicar observações e para prever novos fenômenos. O observador e o teórico nem sempre são pessoas diferentes. E ao invés de dois segmentos bem delimitados o que existe é um contínuo de cientistas que colocam maior ou menor ênfase no campo da observação ou no campo da teoria. Os campos de estudo da Astronomia podem também ser categorizados quanto:

- Ao *assunto*: de maneira geral, de acordo com a região do espaço. Exemplo: *astronomia galáctica* ou aos *problemas por resolver*, tais como a formação das estrelas ou cosmologia, Figura 2.1;
- À *forma* como se obtém as informações. Em essência, em que faixa do espectro eletromagnético as informações coletadas estão situadas, Figura 2.2.

Figura 2.1 Nebulosa planetária de Formiga.



Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Astronomia#/media/Ficheiro:Ant_Nebula.jpg>.

Figura 2.2 Astronomia extragaláctica: Esta imagem obtida pelo telescópio espacial Hubble mostra vários objetos azuis em forma de espiral que na verdade são imagens múltiplas de uma mesma galáxia. A imagem original da galáxia é multiplicada pelo efeito de lente gravitacional causado pelo intenso campo gravitacional produzido pelo aglomerado de galáxias espirais e elípticas de cor amarela, localizadas no centro da fotografia. O intenso campo gravitacional curva e distorce a luz procedente de objetos brilhantes mais distantes.



Fonte: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Astronomia#/media/Ficheiro:Grav.lens1.arp.750pix.jpg>>.

A principal forma de se obter informação na astronomia é através da detecção e análise da luz visível ou de outras faixas do espectro eletromagnético. Mas a informação pode também ser adquirida através de partículas cósmicas, como múons, neutrinos, etc., e mais atualmente por meio de ondas gravitacionais.

Uma divisão tradicional da astronomia é dada pela faixa do espectro eletromagnético observado. Algumas das partes do espectro podem ser observadas da superfície da Terra mesmo, enquanto outras partes só podem ser detectadas a grandes altitudes da Terra ou até mesmo no espaço. A seguir listamos as principais faixas de divisão da astronomia a partir da faixa do espectro eletromagnético.

2.2 Radioastronomia

A radioastronomia estuda a radiação com comprimento de onda maior que aproximadamente 1 milímetro. A radioastronomia é diferente da maioria das outras formas de astronomia observacional pelo fato das ondas de rádio detectáveis serem tratadas como ondas ao invés de fótons discretos. Assim, é mais fácil medir a amplitude e a fase das ondas de rádio.

Apesar de algumas ondas de rádio serem produzidas por objetos astronômicos na forma de radiação térmica, a maior parte das emissões de rádio que são detectadas na Terra

são coletadas na forma de radiação síncrotron, que é produzida quando elétrons ou outras partículas eletricamente carregadas deslocam-se em uma trajetória curva em um campo magnético, emitindo a chamada radiação síncrotron. Além disso, existem diversas linhas espectrais produzidas por gás interestelar, notadamente a linha espectral do hidrogênio com comprimento de onda de aproximadamente 21 cm.

Na faixa de comprimento de onda de rádio, uma grande variedade de objetos é detectável através de radiotelescópios, Figura 2.3, incluindo supernovas, gás interestelar, pulsares e núcleos de galáxias ativas.

Figura 2.3 Radiotelescópio de Goldstone.



Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Radioastronomia#/media/Ficheiro:Goldstone_DSN_antenna.jpg>.

2.3 Astronomia Infravermelha

A astronomia infravermelha lida com a detecção e análise da radiação infravermelha, ou seja, toda radiação com comprimento de onda maior que a luz vermelha. Exceto por comprimentos de ondas mais próximos à luz visível, a radiação infravermelha é na maior parte absorvida pela atmosfera, e assim a atmosfera produz emissão infravermelha em quantidade significativa. Para diminuir tal efeito, os observatórios de infravermelho devem estar situados em locais de grande altitude (como montanhas) e com baixa umidade relativa do ar ou, se possível, no espaço.

O espectro infravermelho é útil para estudar objetos que são suficientemente frios para emitir luz visível, como os planetas e discos circunstelares. Maiores comprimentos de onda infravermelha podem também penetrar nuvens de poeira que bloqueiam a luz visível,

permitindo a observação de estrelas jovens em nuvens moleculares, Figura 2.4, e o centro de galáxias. Algumas moléculas irradiam fortemente no infravermelho, permitindo uma análise da química no espaço e a detecção de água em cometas.

Figura 2.4 Região N11B na Grande Nuvem de Magalhães. Uma nuvem molecular é um tipo de nuvem interestelar cuja densidade e tamanho permitem a formação de moléculas, mais comumente hidrogênio molecular (H_2), entrando em contraste com outras áreas do meio interestelar, que contêm predominantemente gás ionizado.



Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Nuvem_molecular#/media/Ficheiro:Heic0411a.jpg>.

2.4 Astronomia Óptica

A astronomia óptica é historicamente a forma mais antiga da astronomia. É também conhecida como “astronomia da luz visível”. Originalmente os primeiros astrônomos desenhavam à mão as imagens ópticas. No final do século XIX e na maior parte do século XX as imagens passaram a ser feitas utilizando equipamentos fotográficos. Imagens modernas são produzidas usando detectores digitais, principalmente os detectores com “dispositivos de cargas acopladas”, conhecidos como CCDs. Apesar da luz visível estar situada em uma faixa que vai de aproximadamente 4.000 \AA até 7.000 \AA (400 nm até 700 nm), o mesmo equipamento utilizado nesse comprimento de onda é também usado para observar radiação de luz visível próxima à ultravioleta e infravermelho.

2.5 Astronomia Ultravioleta

A astronomia ultravioleta é normalmente usada para se referir a observações no comprimento de onda ultravioleta, aproximadamente entre 100 e 3.200 \AA (10 e 320 nm). A

radiação eletromagnética nesse comprimento de onda é absorvida pela atmosfera da Terra. Dessa forma, as observações devem ser realizadas na atmosfera superior ou no espaço.

A astronomia ultravioleta é mais utilizada para o estudo da radiação térmica e linhas de emissão espectral de estrelas azul quente (Estrela OB) que são muito brilhantes nessa faixa de comprimento de onda. Isso inclui estrelas azuis em outras galáxias, as quais são objetos de estudo de diversas pesquisas. Outros objetos observados incluem nebulosas planetárias, remanescentes de supernovas, e núcleos de galáxias ativas, Figura 2.5. No entanto, a luz ultravioleta é facilmente absorvida pela poeira interestelar, e as medições da luz ultravioleta desses objetos necessitam ser corrigidas.

Figura 2.5 Imagem ultravioleta da Galáxia de Bode através do Telescópio Galex.



Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Astronomia_ultravioleta#/media/Ficheiro:M81_wide_Galex.jpg>.

2.6 Astronomia de raios-X

A astronomia de raios-X lida com objetos astronômicos que emitem radiação no comprimento de onda dos raios-X. Normalmente os objetos emitem raio-X como radiação síncrotron (produzida pela oscilação de elétrons em campos magnéticos), emissão termal de gases finos (radiação Bremsstrahlung) e de gases grossos (radiação de corpo negro) com temperaturas maiores que 10^7 kelvin.

Como os raios-X são absorvidos pela atmosfera terrestre, as observações devem ser colhidas por meio de balões com capacidade operacional de grandes altitudes, foguetes, ou naves espaciais, Figura 2.6. Pulsares, remanescentes de supernovas, galáxias elípticas, aglomerados de galáxias e núcleos galácticos ativos são fontes detectáveis de raios-X.

Figura 2.6 Observatório de raios-X Chandra no interior do ônibus espacial Columbia, pouco antes da partida para a missão STS-93.



Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Astronomia_de_raios-X#/media/Ficheiro:Chandra_X-ray_Observatory_inside_the_Space_Shuttle_payload_bay.jpg>.

2.7 Astronomia de Raios Gama

A astronomia de raios gama é o estudo de objetos astronômicos que emitem radiação nos menores comprimentos de onda do espectro eletromagnético. Os raios gama podem ser observados diretamente por satélites como o observatório de raios gama Compton, Figura 2.7, ou por telescópios especializados do tipo “Cherenkov”. Os telescópios Cherenkov não detectam os raios gama diretamente, mas detectam flashes de luz visível produzidos quando os raios gama são absorvidos pela atmosfera da Terra.

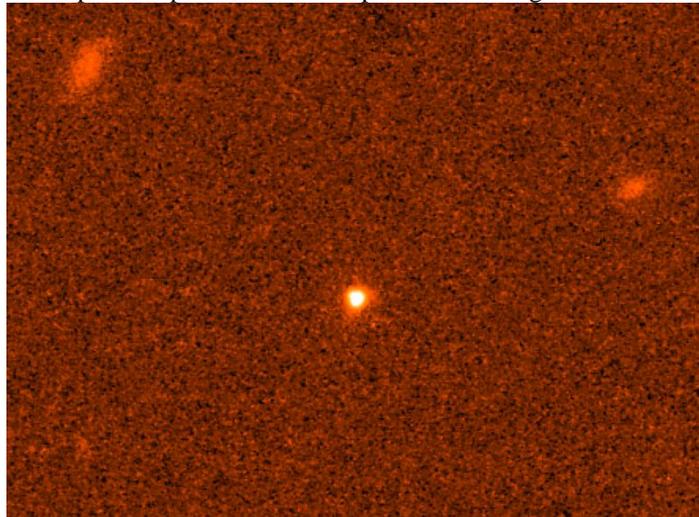
A maioria das fontes emissoras de raios gama são erupções de raios gama, Figura 2.8, objetos que produzem radiação gama com a duração de poucos milissegundos até milhares de segundos antes de se extinguirem. Apenas 10% das fontes de raio gama são fontes não transcendentais, incluindo pulsares, estrelas de nêutrons, e candidatos a buracos negros como núcleos galácticos ativos.

Figura 2.7 Concepção artística do Compton em funcionamento. O Observatório de raios Gama Compton foi o segundo telescópio do grupo dos Grandes Observatórios Espaciais da NASA, destinado a estudar principalmente, as radiações gama dos corpos celestes.



Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Observat%C3%B3rio_de_Raios_Gama_Compton#/media/Ficheiro:Gro_impression.gif>.

Figura 2.8 Luminescência visível de GRB 970508 observada um mês depois da detecção da erupção. As erupções de raios gama (GRB, da acrossemia em inglês de Gamma Ray Burst) são explosões extremamente energéticas que foram vistas em galáxias distantes. Elas são os fenômenos mais luminosos conhecidos no universo. Nas maiores explosões, as estrelas precisam de uma estrela parceira para fazer uma explosão de raios gama.



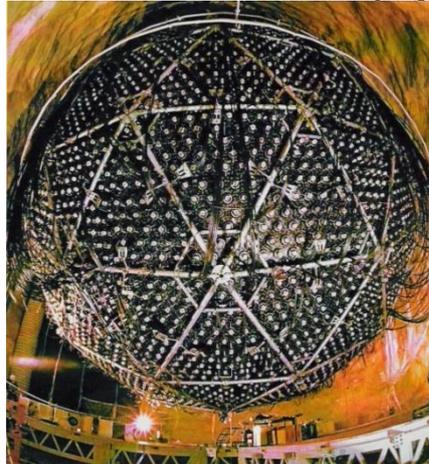
Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Erup%C3%A7%C3%A3o_de_raios_gama#/media/Ficheiro:StisI.gif>.

2.8 Campos não Baseados no Espectro Eletromagnético

Além da radiação eletromagnética, certas partículas que se originam a grandes distâncias do nosso planeta podem ser detectadas da Terra. Na Astronomia de neutrinos,

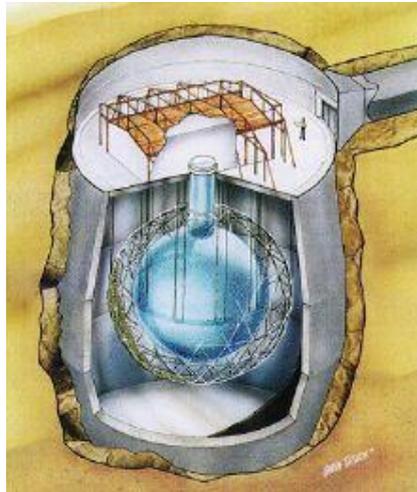
astrônomos usam laboratórios especiais subterrâneos como o SAGE, GALLEX e Kamioka II/III para detectar neutrinos, Figura 2.9. A principal fonte desses neutrinos é o Sol, mas podem também ter sua origem em supernovas.

Figura 2.9(a) Detector de neutrinos SNO em Ontário, no Canadá: colocado no subsolo a 2 km de profundidade, possui 18 metros de diâmetro e 1.000 toneladas de água pesada.



Fonte: foto arquivo pessoal

Figura 2.9(b) The Sudbury Neutrino Observatory (SNO).



Fonte: <<https://sno.phy.queensu.ca/>>.

Os chamados raios cósmicos são partículas de energia muito elevada que podem ser observadas chocando-se com a atmosfera da Terra. No futuro, detectores de neutrino poderão ser sensíveis aos neutrinos produzidos quando raios cósmicos atingem a atmosfera da Terra.

Foram construídos alguns observatórios de ondas gravitacionais como o Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory (LIGO), Figura 2.10. No entanto, ondas gravitacionais são extremamente difíceis de serem detectadas. No final de 2015, pesquisadores do projeto LIGO observaram distorções espaço-temporais causadas por um par

de buracos negros com trinta massas solares em processo de fusão. Esta detecção veio a comprovar a existência das chamadas ondas gravitacionais.

Figura 2.10 LIGO: um experimento de física em grande escala destinado a detectar ondas cósmicas gravitacionais, Livingston, Louisiana, USA.



Fonte: <<https://pt.dreamstime.com/o-observatorio-ligo-da-ondas-gravitacionais-do-interferometro-laser-livingston-louisiana-eua-uma-experiencia-em-grande-escala-fisica-image146424647>>.

A astronomia planetária tem se beneficiado das observações diretas feitas por foguetes espaciais e também com amostras trazidas no retorno de missões espaciais. Essas missões incluem *fly-by missions* com sensores remotos, veículos de aterrissagem que podem realizar experimentos no material da superfície, missões que permitem ver remotamente material enterrado, e missões de amostra que permitem um exame laboratorial direto, Figura 2.11.

Figura 2.11 Fly-by mission: representação artística da sonda Giotto aproximando-se de um cometa.



Fonte: <<https://phys.org/news/2015-07-fly-by-missionswhat-technology-orbit.html>>.

2.9 Astrometria e Mecânica Celeste

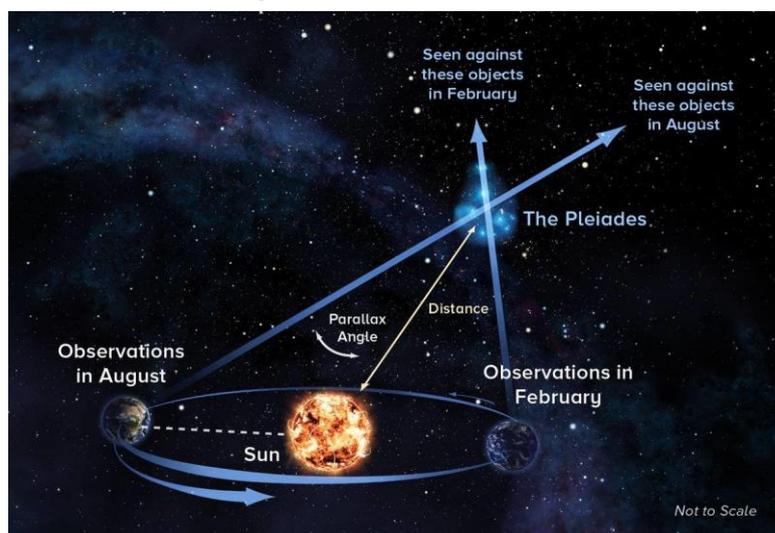
Um dos campos mais antigos da astronomia e de todas as ciências é a medição da posição dos objetos celestiais. Historicamente, o conhecimento preciso da posição do Sol, Lua, planetas e estrelas foram essenciais para a navegação.

A cuidadosa medição da posição dos planetas levou a um sólido entendimento das perturbações gravitacionais, e a capacidade de determinar as posições passadas e futuras dos planetas com grande precisão, um ramo da astronomia chamado de “mecânica celeste”. Mais recentemente, o monitoramento de objetos próximos da Terra permite a predição de encontros próximos, e possivelmente de colisões com o nosso planeta.

A medição do paralaxe estelar de estrelas próximas fornece uma linha de base fundamental para a medição de distâncias na astronomia que é usada para medir a escala do universo. Medições de paralaxe de estrelas próximas provêm uma linha de base absoluta para as propriedades de estrelas mais distantes, porque suas propriedades podem ser comparadas. A medição da velocidade radial e o movimento próprio mostra a cinemática desses sistemas através da Via Láctea. Resultados astronômicos também são usados para medir a distribuição de matéria escura na galáxia.

Durante a década de 1990, as técnicas de astrometria para medir as *stellar wobble* foram usadas para detectar planetas extra-solares orbitando estrelas próximas, Figura 2.12.

Figura 2.12 Astrônomos usam uma técnica chamada paralaxe para medir com precisão a distância das estrelas no céu. Esta técnica requer a observação de alvos de lados opostos da órbita da Terra ao redor do Sol. Dessa forma astrônomos localizaram a distância do aglomerado de estrelas das “Sete Irmãs”, as Plêiades.



Fonte: <<https://gaiaciencia.com.br/Publicacao.aspx?id=221032>>. Crédito da imagem: Alexandra Angelich (NRAO).

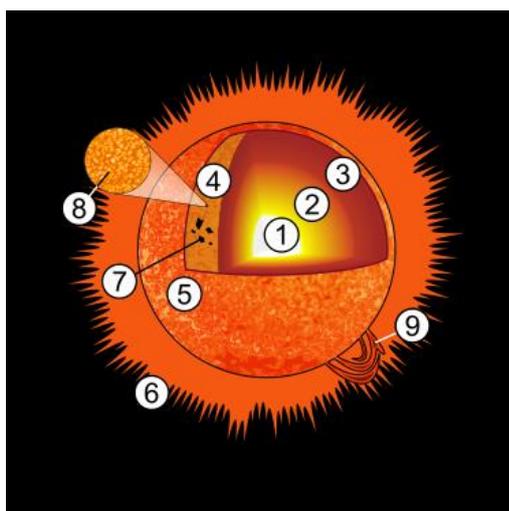
2.10 Subcampos Específicos da Astronomia

2.10.1. Astronomia Solar

Por ser a estrela mais próxima da Terra, o Sol é a estrela estudada mais frequentemente. O Sol é uma típica estrela anã da sequência principal da classe estelar G2 V, com idade de aproximadamente 4,6 bilhões de anos a uma distância de aproximadamente oito minutos-luz da Terra. O Sol não é considerado uma estrela variável, mas sabe-se que passa por mudanças periódicas em atividades conhecidas como ciclo solar, representando uma flutuação de 11 anos nos números de manchas solares. As manchas solares são regiões de temperatura abaixo da média estando associadas a uma intensa atividade magnética.

O Sol tem aumentado constantemente de luminosidade no seu curso de vida, aumentando em 40% desde que se tornou uma estrela da sequência principal. O Sol também passa por mudanças periódicas de luminosidade que podem ter um impacto significativo na Terra. Por exemplo, alguns cientistas acreditam que um mínimo nesta luminosidade pode ter provocado a conhecida Pequena Idade do Gelo. A superfície externa visível do Sol é chamada de fotosfera. Acima dessa camada há uma fina região chamada de cromosfera. Essa é envolvida por uma região de transição de temperaturas cada vez mais elevadas, chegando a superquente corona, Figura 2.13.

Figura 2.13 Estrutura do Sol, uma anã amarela: 1. Núcleo; 2. Zona radiativa; 3. Zona convectiva; 4. Fotosfera; 5. Cromosfera; 6. Corona; 7. Mancha solar; 8. Grânulo.



Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Fotosfera#/media/Ficheiro:Sun_diagram.svg>.

No centro do Sol está a região do núcleo, um volume com pressão e temperatura suficientes para se possa ocorrer fusão termonuclear (região 1 da Figura 2.13). Logo acima do

núcleo está a zona de radiação (região 2 da Figura 2.13), onde o plasma converte o fluxo de energia através da radiação. As camadas externas formam uma zona de convecção onde o gás material transporta a energia através do deslocamento físico do gás. Acredita-se que seja essa zona de convecção a criadora da atividade magnética que gera as manchas solares.

Um vento solar de partículas de plasma corre constantemente para fora do Sol até que atinge a heliosfera. Esse vento solar pode interagir com a magnetosfera da Terra criando os cinturões de Van Allen, bem como as auroras (boreal e austral) onde as linhas dos campos magnéticos da Terra descendem até a atmosfera da Terra.

2.10.2. Ciência Planetária

A ciência planetária é o estudo dos sistemas planetários, isto é, de planetas, seus satélites naturais e outros objetos relacionados, com maior ênfase no sistema Solar, Figura 2.14. A ciência planetária é também chamada de Planetologia ou astronomia planetária. Tem sido crescente também o interesse nos exoplanetas, sendo estes planetas que não pertencem ao sistema Solar. Em geral, estudam-se todos os objetos não-estelares (ou com dimensão inferior ao necessário para se iniciar uma reação nuclear), onde se incluem os meteoros e cometas.

Figura 2.14 Um “dust devil” (literalmente, demônio da poeira) marciano. A fotografia foi captada pela NASA Global Surveyor em órbita à volta de Marte. A faixa escura e longa é formada pelos movimentos em espiral da atmosfera marciana (um fenómeno semelhante ao tornado). O dust devil (o ponto preto) está subindo a encosta da cratera. Os dust devils formam-se quando a atmosfera é aquecida por uma superfície quente e começa a rodar ao mesmo tempo que sobe. As linhas no lado direito da figura são dunas de areia no leito da cratera.



Fonte: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Astronomia#/media/Ficheiro:Dust.devil.mars.arp.750pix.jpg>>.

A Planetologia é uma ciência multidisciplinar. A planetologia tem se tornado cada vez mais ampla se expandido de forma desproporcional às demais áreas da astronomia. Outras diversas áreas, como física clássica, física nuclear, geologia comparada (astrogeologia), astrobiologia, química, geografia física (geomorfologia e cartografia) e meteorologia estão alinhadas à área da planetologia.

Os conhecimentos destas diversas ciências são utilizados para criar modelos dos corpos celestes, que depois são comparados com observações a partir da Terra e de sondas espaciais, sendo a maior parte das observações feitas sobre corpos do sistema Solar. No entanto, nos últimos anos tornou-se possível descobrir e obter dados sobre planetas mais distantes através da influência que exercem na estrela que orbitam. Uma vez comprovada a veracidade do modelo, este pode ser utilizado para analisar as teorias da formação de cada planeta e do sistema solar em conjunto. O envio de sondas à superfície ou órbita dos planetas mais próximos possibilitou a melhoria dos resultados para estes tipos de análise.

Em 24 de agosto de 2006, uma decisão histórica fez com que os livros didáticos precisassem ser reescritos. É que, naquela data, a União Astronômica Internacional (IAU) dava o veredito final quanto à definição de Plutão: o que até então era considerado o nono planeta do Sistema Solar foi rebaixado de categoria e passou a ser considerado um planeta-anão. A decisão não aconteceu de forma repentina do dia para a noite. Foram anos de muito debate, com argumentos válidos dos dois lados: entre os que queriam rebaixá-lo para a categoria de planeta anão e os que queriam que Plutão continuasse um planeta. O rebaixamento de Plutão rende polêmicas até hoje. Uns acreditam que a redefinição do planeta para a categoria de planeta-anão foi uma vitória do raciocínio científico, enquanto outros defendem que o “pequeno planeta” localizado nos confins do Sistema Solar é especial demais para não ser considerado um planeta.

A votação envolveu 424 astrônomos, com Mike Brown, pesquisador da Caltech, fazendo o anúncio oficial: “Plutão não é um planeta. Há, oficialmente, oito planetas no Sistema Solar”. Já Alan Stern, líder da missão New Horizons, da NASA, declarou na ocasião: “Estou com vergonha da astronomia. Menos de 5% dos astrônomos do mundo votaram. Essa definição ‘fede’, por razões técnicas”.

Mas afinal, o que é preciso para ser considerado um planeta? De acordo com a IAU, há três categorias principais de objetos no Sistema Solar:

- Planetas: os oito grandes mundos desde Mercúrio até Netuno;
- Planetas-anões: qualquer objeto circular que não seja um satélite, e não tenha “limpado” a vizinhança em torno de sua órbita;
- Pequenos corpos: todos os outros objetos que orbitam o Sol.

E segundo a nova definição, planeta é o objeto que:

- É esférico;

- Orbita o Sol, mas não é satélite de outro planeta;
- Não compartilha sua órbita com nenhum outro objeto significativo.

Sendo assim, Plutão, Figura 2.15, acabou sendo rebaixado à categoria de planeta-anão porque, ao seu redor, há um “mar” de outros objetos, já que sua gravidade não é intensa o suficiente para atraí-los e, assim, limpar sua órbita. E como Plutão, “haverá centenas de planetas-anões”, disse Brown na época; e, de fato, vários mundos foram categorizados como planeta-anão após a redefinição da IAU.

Figura 2.15 Imagem de Plutão.

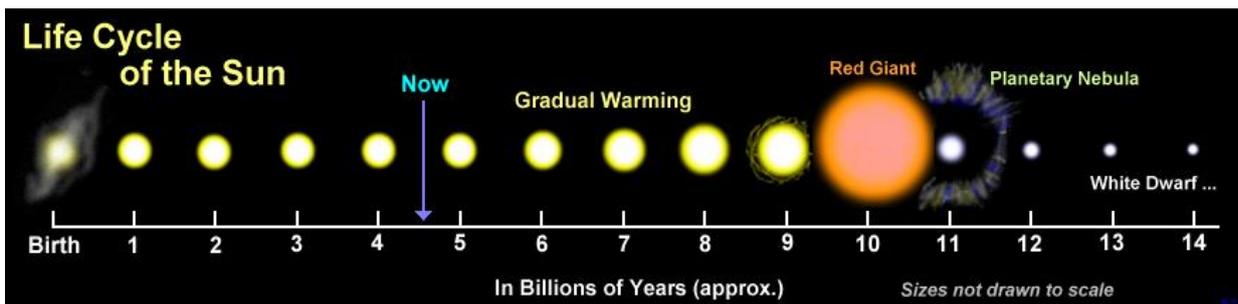


Fonte: <<https://canaltech.com.br/espaco/ha-12-anos-plutao-deixou-de-ser-considerado-um-planeta-no-sistema-solar-120970/>>

2.10.3. Astronomia Estelar

A Astronomia estelar lida, de forma geral, com o estudo das estrelas. Trata sobre a formação das estrelas, isto é, sobre o estudo das condições e dos processos que conduziram à formação das estrelas no interior de nuvens de gás, e o próprio processo da sua formação. Trata também a respeito da “evolução estelar”, isto é, estuda a evolução das estrelas de sua formação até o seu fim. A evolução estelar, Figura 2.16, é a sequência de mudanças radicais que uma estrela sofre durante todo o seu tempo de vida.

Figura 2.16 Linha do tempo da vida do Sol.



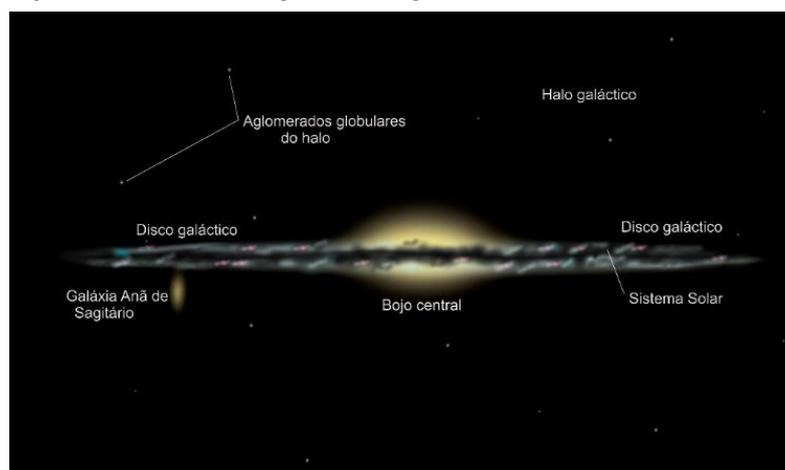
Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Evolu%C3%A7%C3%A3o_estelar#/media/Ficheiro:Sun_Life.png>.

2.10.4. Astronomia Galáctica

A Astronomia galáctica estuda a estrutura e os componentes de nossa galáxia (a Via Láctea), seja através de dados relativos a objetos de nossa galáxia, seja através do estudo de galáxias próximas, que podem ser observadas em detalhes e que podem ser usadas para comparação com a Via Láctea.

A Via Láctea é uma galáxia de formato espiral, da qual o Sistema Solar faz parte. Vista da Terra, a Via Láctea é uma faixa brilhante e difusa que circunda toda a esfera celeste, recortada por nuvens moleculares que lhe conferem um intrincado aspecto irregular e recortado. O nome galáxia vem do grego *gala* (leite) porque os antigos gregos chamavam o rastro de luz possível de se ver em noites de “Caminho do Leite”. O disco, Figura 2.17, é uma região com um diâmetro de aproximadamente 100.000 anos-luz com uma espessura de 12.000 anos-luz que gira de forma semelhante aos planetas, com as estrelas mais distantes do centro da galáxia se movendo mais devagar do que as estrelas mais centrais. A visibilidade da Via Láctea por um observador na superfície do nosso planeta é muito prejudicada pela poluição luminosa das grandes cidades. Com poucas exceções, todos os objetos visíveis a olho nu pertencem a essa galáxia.

Figura 2.17 Concepção artística da galáxia, onde se destacam o disco, o bojo central e o halo de aglomerados globulares.



Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Via_L%C3%A1ctea#/media/Ficheiro:Via_L%C3%A1ctea_de_perfil.jpg>.

2.10.5. Astronomia Extragaláctica

A Astronomia extragaláctica estuda os objetos (principalmente galáxias) fora de nossa galáxia. Pode-se dizer que a astronomia extragaláctica lida com tudo aquilo que a astronomia galáctica não abrange.

A Uranografia, Cartografia Celeste, ou Cartografia Estelar é um ramo da astronomia e da cartografia preocupada com o mapeamento de estrelas, galáxias, Figura 2.18, e outros objetos astronômicos na esfera celeste⁷. Medir a posição e o brilho dos objetos mapeados requer vários tipos de instrumentos e técnicas. Essas técnicas se desenvolveram a partir de medidas de ângulos com quadrantes a olho nu⁸. Depois vieram as medidas com sextantes, que também continham lentes para a medida da magnitude do brilho do objeto. Atualmente tais medidas são computadorizadas com o auxílio de telescópios automáticos, espaciais ou terrestres. Atualmente a Uranografia recebe o nome de *Uranometria*.⁹

Figura 2.18 Foto da galáxia NGC 4826 da Constelação da Cabeleira de Berenice.



Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Astronomia_extragal%C3%A1ctica#/media/Ficheiro:Blackeyegalaxy.jpg>.

2.10.6. Cosmologia

A Cosmologia é o ramo que estuda a origem, a estrutura e a evolução do Universo a partir da aplicação de métodos científicos. A cosmologia muitas vezes é confundida com a astrofísica, que é o ramo da astronomia que estuda a estrutura e as propriedades dos objetos celestes e o universo como um todo através da física teórica. A confusão ocorre porque ambas

⁷Warner, D. J. *The Sky Explored: Celestial Cartography 1500-1800*. Theatrum Orbis Terrarum Ltd., Amsterdam; Alan R. Liss, Inc., New York, 1979.

⁸Lovi, G.; Tirion, W.; Rappaport, B. *Uranography Yesterday and Today*. Willmann-Bell, Richmond, 1987.

⁹Lovi, G.; Tirion, W. *Men, Monsters and the Modern Universe*. Richmond: Willmann-Bell, 1989.

seguem caminhos paralelos sob alguns aspectos, muitas vezes considerados redundantes, embora não o sejam.¹⁰

A partir do início do século XX, com a criação da teoria da relatividade, surgiu também a cosmologia moderna, cujo artigo inicial foi escrito pelo físico alemão Albert Einstein, em 1917, com o título *Kosmologische Betrachtungen Zur Allgemeinen Relativitätstheorie* (Considerações cosmológicas sobre a teoria da relatividade geral). Nesse trabalho, Einstein analisava, sob a luz da relatividade, o universo como um todo, introduzindo o conceito de constante cosmológica. Essa constante cosmológica faria o papel de uma *força antigravidade*, que impediria o universo de colapsar sob a ação da gravidade, permitindo assim a existência de soluções (ou modelos) cosmológicos estáticos.

No entanto, o que Einstein não percebeu (ou não quis perceber) de imediato é que, mesmo com a presença da constante cosmológica era possível obter soluções matemáticas que previam um universo dinâmico, em contração ou expansão. Tais famílias de soluções são hoje conhecidas genericamente como soluções de Friedmann, em homenagem ao matemático russo Alexander Friedmann, que as obteve no ano de 1922. Anos mais tarde, Einstein teria dito que a introdução da constante cosmológica em suas equações teria sido o maior erro em sua vida científica.

A constante cosmológica Λ aparece nas equações de campo modificadas de Einstein na forma:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}$$

onde R e g pertencem à estrutura do espaço-tempo, T pertence à matéria, e G e c são fatores de conversão originadas do uso tradicional de unidades de medida. Quando Λ é zero, ela se reduz à equação de campo original da relatividade. Quando T é zero, a equação de campo descreve um espaço vazio: o vácuo. As unidades de Λ são s^{-2} . A constante cosmológica possui o mesmo efeito de uma densidade de energia intrínseca do vácuo, $\rho_{\text{vácuo}}$. Neste contexto, é comumente definida como fator proporcional a 8π : $\Lambda = 8\pi\rho_{\text{vácuo}}$, onde conversões modernas da relatividade geral já estão inseridas (do contrário, os fatores G e c também apareceriam).

Com o desenvolvimento de novos telescópios, ainda no início do século XX, foi possível estudar o universo em escalas até então inexploradas. Um pioneiro no estudo sistemático das galáxias além da nossa Via Láctea foi o americano Edwin Hubble (1889-1953), Figura 2.19, que notou que a maioria das galáxias parecia estar se afastando da nossa, e

¹⁰ Kragh, Helge. *Cosmology and Controversy*. Princeton University Press, 1996, ISBN: 069100546X.

que a velocidade de afastamento aumentava com a distância da galáxia em relação à nossa. Tal observação, confirmada posteriormente, tornou-se uma lei empírica, conhecida hoje como lei de Hubble. Esta lei empírica consistia em uma prova experimental da expansão do universo: as galáxias se afastam umas das outras devido à expansão do espaço entre elas.

Figura 2.19 Edwin Powell Hubble em 1931.



Fonte: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Edwin_Powell_Hubble#/media/Ficheiro:Studio_portrait_photograph_of_Edwin_Powell_Hubble_\(cropped\).JPG](https://pt.wikipedia.org/wiki/Edwin_Powell_Hubble#/media/Ficheiro:Studio_portrait_photograph_of_Edwin_Powell_Hubble_(cropped).JPG)>.

2.10.7. Astronomia Teórica

Os principais temas estudados pelos astrônomos teóricos são: dinâmica e evolução estelar; formação e evolução de galáxias; estrutura em grande escala da matéria no Universo; origem dos raios cósmicos; relatividade geral e cosmologia física, incluindo Cosmologia das cordas e física de astropartículas.

2.10.8. Campos Interdisciplinares

A astronomia e astrofísica desenvolveram links significativos de interdisciplinaridade com outros grandes campos científicos. A *Arqueoastronomia* é o estudo das antigas e tradicionais astronomias em seus contextos culturais, utilizando evidências arqueológicas e antropológicas. A *Astrobiologia* é o estudo do advento e evolução dos sistemas biológicos no universo, com ênfase particular na possibilidade de vida fora do planeta Terra.

O estudo da química encontrada no espaço, incluindo sua formação, interação e destruição, é chamado de *Astroquímica*. A *Cosmoquímica* é o estudo de compostos químicos encontrados dentro do Sistema Solar, incluindo a origem dos elementos e as variações na proporção de isótopos. Esses dois campos representam a união de disciplinas de astronomia e química.

Capítulo 4

Comentários Finais

Esta monografia trata sobre a grande área da Astronomia e suas vertentes de forma básica e introdutória, apresentando os principais conceitos básicos e fundamentais da astronomia e um breve histórico. Foram abordados os campos de atuação da astronomia, onde ela se insere e como colabora para a construção contínua do conhecimento científico humano. Foram apresentadas ferramentas tecnológicas disponíveis, tais como: telescópios, linguagens de programação, engenharia, estações espaciais etc. A metodologia utilizada neste trabalho foi exploratória, buscando explicitar e familiarizar os principais conceitos da astronomia ao leitor, e “bibliográfica”, pois se embasou somente em materiais e textos científicos já publicados apresentando-os ao leitor de forma lógica, organizada e estruturada. O intuito desta monografia foi o de transmitir ao leitor interessado no assunto os conceitos básicos da Astronomia da forma mais clara e didática possível, não empregando equações e demonstrações matemáticas, utilizando-se somente de textos explicativos e muitas figuras ilustrativas. Para o leitor interessado em se aprofundar em algum assunto mais específico foi disponibilizado um grande número de referências. E com a finalidade de se obter uma pesquisa mais rápida e direta sobre um determinado vocábulo da área de astronomia foi disponibilizado um Glossário no Apêndice da monografia.

Finalizando, esta pesquisa teve como produto o artigo:

Astronomia: Breve História, Principais Conceitos e Campos de Atuação. Borges, C. L. S.; Rodrigues, C. G. Brazilian Applied Science Review, v. 6, n. 2, pp. 545-577, 2022.

Apêndice: Glossário

Aglomerado estelar: é um sistema contendo centenas, milhares ou até mesmo milhões de estrelas unidas por um campo gravitacional coletivo. Todos os membros um aglomerado de estrelas formaram-se da mesma nuvem de gás tendo, portanto, a mesma idade.

Asteroide: pequeno corpo rochoso pertencente ao sistema solar. A grande maioria dos asteroides está concentrada entre as órbitas de Marte e Júpiter, formando o chamado Cinturão de Asteroides. Os maiores asteroides têm diâmetros de aproximadamente 1.000 km. Os menores têm tamanhos de partículas de poeira: centímetros e milímetros.

Astrometria: ramo da astronomia cujo objeto de estudo é a medida da posição dos astros e a determinação de seus movimentos; também chamada de astronomia de posição.

Big Bang: teoria anunciada no ano de 1948 pelo cientista russo naturalizado americano, George Gamow (1904-1968) e o padre e astrônomo belga Georges Lemaître (1894-1966). Segundo eles, o universo teria surgido por meio de uma grande explosão cósmica, entre 10 e 20 bilhões de anos atrás. O termo explosão refere-se a uma grande liberação de energia, criando o espaço-tempo.

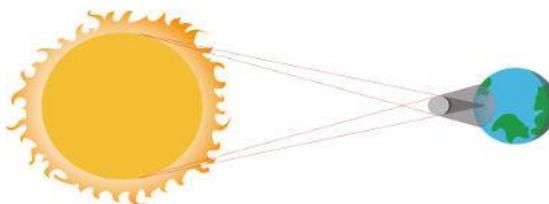
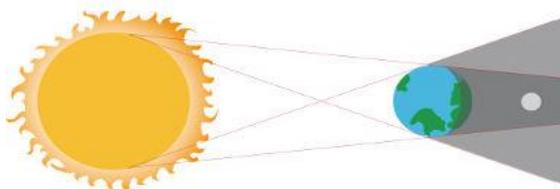
Classe Estelar: é a classificação das estrelas com base em suas características espectrais. As raias visíveis no espectro de uma estrela permitem ordenar esses astros em classes de objetos similares. A classificação espectral utilizada atualmente é a Harvard Spectral Sequence, um método que é empregado desde 1890. Consiste em agrupar as estrelas em classes, indo da mais quente para a mais fria, identificando-as com letras do alfabeto W, O, B, A, F, G, K, M, R, N e S. Cada classe é ainda dividida em dez subgrupos, os quais são numerados de zero até nove. Como exemplos: o Sol é da classe G2, a estrela Betelgeuse é da classe M2 e a estrela Sírius é da classe A1. A letra “p” se refere a estrelas que possuem comportamento peculiar. As estrelas anãs são designadas pela letra “d”, as gigantes pela letra “g” e as supergigantes pela letra “s”.

Cometa: é um pequeno corpo gelado do Sistema Solar que ao passar perto do Sol se aquece e começa a liberar gases. Este processo que é chamado de desgaseificação. O que produz uma atmosfera visível ou coma e, às vezes, também uma cauda.

Cosmologia: ciência que estuda a origem, a estrutura e a evolução do Universo a partir da aplicação de métodos científicos.

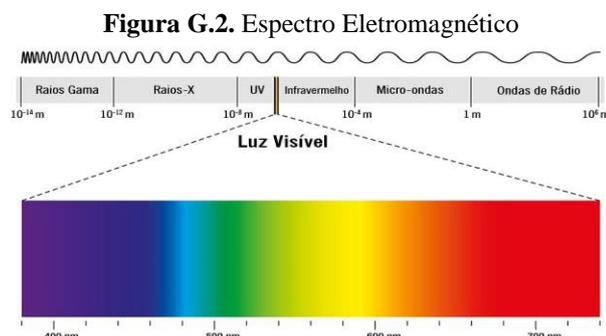
Cosmologia bíblica: é uma teoria cosmológica baseada nas informações contidas na Bíblia. É portanto não científica. Considera o cosmos uma entidade estruturada, possuindo origem, ordem, significado e destino para o universo.

Eclipse: é o escurecimento parcial ou total de um astro através da interposição de outro astro frente à fonte de luz. Existem dois tipos de eclipses: o solar, representado na Figura G.1(a), e o lunar, representado na Figura G.1(b). O eclipse solar e o eclipse lunar só podem ocorrer se houver um perfeito alinhamento da órbita da Lua em torno Terra e da órbita da Terra em torno do Sol.

Figura G.1(a). Eclipse Solar.**Figura G.1(b).** Eclipse Lunar.

Fonte: Brasil Escola. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-eclipse.htm>>

Espectro Eletromagnético: o espectro eletromagnético (Figura G.2), é a distribuição das ondas eletromagnéticas (visíveis e não visíveis) de acordo com a frequência ou comprimento de onda característico de cada radiação. As ondas eletromagnéticas não necessitam de um meio material para se propagarem.



Fonte: Toda Matéria. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/espectro-eletromagnetico/>>

Espectroscopia: é uma técnica de medida baseada na interação entre a radiação eletromagnética incidente em uma amostra, podendo haver reflexão, absorção ou transmissão da energia incidente pela amostra em análise. Os fenômenos físicos envolvidos neste caso são a reflexão, a refração, a difração, interferência e espalhamentos elásticos.

Estrela: é uma grande e luminosa esfera de plasma, mantida íntegra pela gravidade e pressão de radiação, que ao fim de sua vida pode conter uma proporção de matéria degenerada. As estrelas emitem radiação eletromagnética e também partículas devido aos processos de fusão nuclear que ocorrem em seu interior. Observações sugerem que a formação das estrelas se deu em torno de 180 milhões a 250 milhões de anos após o Big Bang.

Estrelas de Nêutrons: é um entre os possíveis estágios finais da vida de estrelas massivas que pertencem à sequência principal. As estrelas que não são massivas o suficiente para originarem um buraco negro transformam-se em estrelas de nêutrons. Estrelas de nêutrons são pequenas, porém extremamente quentes e densas. Apresentam altíssimos campos gravitacionais podendo ter intensos campos magnéticos.

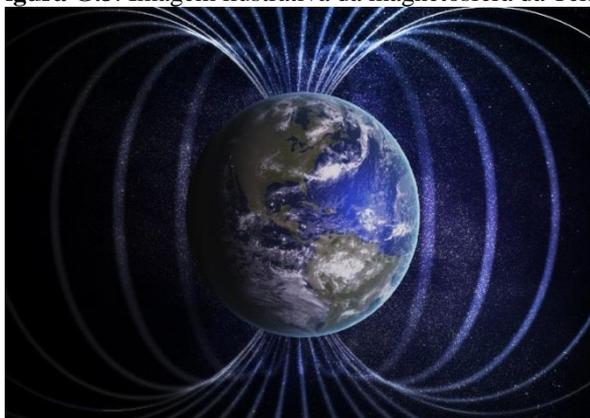
Fotodetector: dispositivo sensível à radiação eletromagnética. Um fotodetector é um sensor que gera um sinal elétrico que vai depender da radiação que incide sobre ele, seja para gerar uma ação, ou simplesmente medir a quantidade de radiação incidente.

Galáxias: é um sistema composto basicamente por estrelas, gás e poeira, que se mantém unido por atração gravitacional mútua.

Heliocentrismo: teoria que diz que a Terra gira ao redor do Sol com certa periodicidade e velocidade. É por conta desse movimento que temos as estações do ano.

Magnetosfera: Magnetosfera é a denominação dada a uma área em torno de um corpo celeste que sofre influência de um campo magnético. A magnetosfera se forma ao redor de corpos celestes que possuem correntes elétricas em seu interior, fazendo com que o corpo celeste se comporte como um grande ímã, como ocorre com o Planeta Terra (Figura G.3).

Figura G.3. Imagem ilustrativa da magnetosfera da Terra.



Fonte: Tempo.com. Disponível em: < <https://www.tempo.com/noticias/ciencia/mudancas-climaticas-e-campo-magnetico-da-terra-existe-uma-relacao.html> >

Menir: monumento megalítico do período neolítico fixado verticalmente no solo. Geralmente de forma alongada com uma altura variável, podendo chegar até 11 metros de altura. Podia servir de marco astronômico ou representar espíritos.

Nebulosa: são nuvens formadas por poeira cósmica, hidrogênio e gases ionizados a partir de restos de estrelas que se desagregaram. As nebulosas quando observadas apresentam formatos irregulares semelhantes aos das nuvens, razão pela qual recebe este nome. A palavra nebulosa provém de um termo latino que significa nuvem.

Neutrinos: é uma partícula subatômica sem carga elétrica e sem massa (ou uma massa muitíssimo pequena). Essas partículas existem em enorme abundância, sendo a segunda partícula mais abundante conhecida no Universo (a primeira é o fóton). Como não possui carga elétrica e massa muito pequena suas interações com a matéria são muito raras e quase indetectáveis. Aproximadamente 65 bilhões de neutrinos passam através de cada centímetro quadrado da superfície terrestre por segundo.

Paralaxe Estelar: é a diferença na posição aparente de um objeto em relação a um plano de fundo, tal como visto por observadores em locais distintos ou por um observador em movimento. Em astronomia, a paralaxe estelar é utilizada para medir a distância das estrelas utilizando o movimento da Terra em sua órbita.

Planeta: é um corpo celeste que orbita uma estrela e que brilha por refletir a luz dessa estrela.

Planeta anão: é um corpo celeste que obedece aos dois primeiros critérios para ser considerado um planeta (orbita o Sol e tem uma forma aproximadamente esférica), mas não obedece ao terceiro (não é o corpo dominante nas vizinhanças de sua órbita). Seja, por exemplo, Plutão: orbita o Sol (portanto não é um satélite); tem forma quase esférica; no entanto, não possui dimensões significativamente maiores que as de outros corpos que habitam a região onde ele se encontra. Os planetas anões do sistema solar são: Plutão, Ceres (Figura G.4), Éris, Haumea e Makemake.

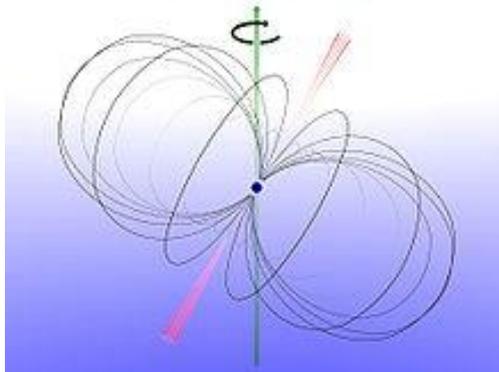
Figura G.4 Imagem ilustrativa de Ceres. Na mitologia romana, Ceres é a deusa da colheita. Esse planeta anão foi identificado em 1801 pelo astrônomo Giuseppe Piazzi e está localizado entre as órbitas de Marte e Júpiter, em uma região denominada de Cinturão de Asteroides, sendo, portanto, o planeta anão mais próximo da Terra. A sua composição é de material rochoso, possui massa de aproximadamente $9,45 \times 10^{20}$ kg, gravidade de $0,26 \text{ m/s}^2$ e diâmetro de 950 km.



Fonte: Vix. Disponível em: <<https://shortest.link/1UYE>>.

Pulsar: é uma estrela de nêutrons que possui um intenso campo magnético, o que proporciona a transformação de sua energia rotacional em energia eletromagnética. Ao girar, o seu forte campo magnético induz um campo elétrico de grande intensidade em sua superfície. Este campo elétrico possui intensidade suficiente para ejetar partículas carregadas de sua superfície (na sua maioria elétrons), as quais se deslocam para a magnetosfera onde são aceleradas. Se o eixo do campo magnético estiver na nossa linha de visão quando o pulsar gira, será visto um pulso de radiação eletromagnética, análoga à luz de um farol (Figura G.5).

Figura G.5. Representação das linhas de campo magnético de um pulsar com o feixe de radiação sendo ejetado pelos polos magnéticos.



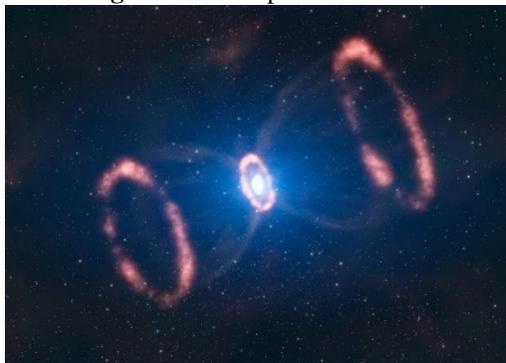
Fonte: Wikipedia. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Pulsar#/media/Ficheiro:Pulsar_schematic.jpg>

Radiação cósmica de fundo em micro-ondas: é uma forma de radiação eletromagnética. Sua existência foi prevista teoricamente por George Gamow (1904-1968), sendo descoberta experimentalmente em 1965 por Arno Penzias (1933) e Robert Woodrow Wilson (1936). Esta radiação se caracteriza por apresentar um espectro térmico de corpo negro com intensidade máxima na faixa de micro-ondas. Basicamente, a radiação cósmica de fundo em micro-ondas é o fóssil da luz, resultante de uma época em que o Universo era quente e denso, apenas 380 mil anos após o Big Bang.

Sol: é a estrela central do Sistema Solar. Todos os outros corpos do Sistema Solar como planetas, asteroides, cometas e poeira, e satélites associados a ele giram ao seu redor.

Supernova: é uma explosão resultante da morte de uma estrela (veja Figura G.6). É a maior explosão que ocorre no espaço que se tem conhecimento. Uma supernova acontece quando o núcleo de uma estrela entra em colapso. Isto pode acontecer de duas maneiras: 1) em sistemas binários de estrelas. Estrelas binárias são duas estrelas que orbitam em torno de um mesmo ponto. Quando uma das estrelas é uma anã branca, a qual é composta por carbono-oxigênio, extrai matéria da estrela parceira. Assim, a anã branca vai acumulando muita matéria, e o excesso de matéria faz com que a estrela exploda resultando em uma supernova; 2) O segundo tipo de supernova acontece no fim da vida de uma única estrela. Quando o combustível nuclear da estrela vai se esgotando, parte da sua massa se desloca para o núcleo da estrela, resultando num núcleo mais massivo, chegando a um instante em que a massa é tão grande que a estrela não pode mais suportar a sua própria atração gravitacional. O núcleo entra em colapso, originando uma imensa explosão.

Figura. G.6. Supernova 1987A



Fonte: ESO/L. Calçada. Disponível em: <sociofísica.com.br/enciclopedia/supernova/>.

Bibliografia

JANOTTI, Aldo. **Origens da universidade: a singularidade do caso português**. EdUSP, 1992. ISBN 9788531400858

KRAGH, Helge. **Cosmology and Controversy: The Historical Development of Two Theories of the Universe**. Princeton University Press, 1999. ISBN 9780691005461.

BURGIERMAN, Denis Russo. VENTUROLI, Thereza. **Astronomia feita em casa**. Superinteressante: Editora Abril, 1999. Disponível em: <<https://super.abril.com.br/ciencia/astronomia-feita-em-casa/>> Acesso em 19 fev. 2022.

CANTARINO, Carolina. **Profissionais e amadores no universo da astronomia**. ComCiência, 2007. Disponível em: <<https://comciencia.br/comciencia/handler.php?section=8&edicao=27&id=316>> Acesso em 19 fev. 2022.

UNSÖLD, Albrecht. BASCHEK, Bodo. BREWER, Wp. **The New Cosmos: An Introduction to Astronomy and Astrophysics**. Springer, 2001. ISBN 9783540678779.

COX, Arthur N. **Allen's Astrophysical Quantities**. Springer-Verlag, 2000. ISBN 0387987460.

SHU, Frank H. **The Physical Universe: An Introduction to Astronomy**. University Science Books, 1982. ISBN 0935702059.

WHY Infrared Astronomy is a Hot Topic: Science & Exploration. European Space Exploration (ESA). Disponível em: <https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Herschel/Why_infrared_astronomy_is_a_hot_topic>. Acesso em 19 fev. 2022.

MOORE, Patrick. **Atlas of the Universe**. Philip's, 2003. ISBN 0540082422.

COSMIC Rays. HyperPhysics, 2003. Disponível em: <<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Astro/cosmic.html>> Acesso em 19 fev. 2022.

TAMMANN, G. A. Thielemann, F. K., D. **Opening new windows in observing the Universe**. Europhysics News, 2006. Disponível em <<https://doi.org/10.1051/epn:2003208>> Acesso em 19 fev. 2022.

CASTELVECCHI, Davide. WITZE, Alexandra. **Einstein's gravitational waves found at last**. Nature News, 2016. Disponível em <<https://www.nature.com/articles/nature.2016.19361>> Acesso em 19 fev. 2022.

ABBOTT, B. P. et al. (LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration). **Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger**. Physical Review Letters, 2016. Disponível em: <<https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.116.061102>> Acesso em 19 fev. 2022.

GRAVITATIONAL waves detected 100 years after Einstein's prediction NSF. National Science Foundation, 2016. Disponível em: <https://nsf.gov/news/news_summ.jsp?cntn_id=137628>. Acesso em 19 fev. 2022.

OVERBYE, Dennis. **Physicists Detect Gravitational Waves, Proving Einstein Right.** New York Times, 2016. Disponível em: <<https://www.nytimes.com/2016/02/12/science/ligo-gravitational-waves-black-holes-einstein.html>>. Acesso em 19 fev. 2022.

WOLSZCZAN, A. FRAIL, D. A. **A planetary system around the millisecond pulsar PSR1257+12.** Nature, 1992. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/355145a0>>. Acesso em 19 fev. 2022.

LANGLOIS, Alexandre. **Rig-Véda, ou Livre des hymnes.** Librairie d'Amérique et d'Orient Jean Maisonneuve. ISBN 2-7200-1029-4.

LERNER, K. Lee. LERNER, Brenda Wilmoth. **Environmental issues: essential primary sources.** Thomson Gale. ISBN 1414406266

HORVATH, J. E. **O ABCD da Astronomia e Astrofísica.** São Paulo: Editora Livraria da Física, 2008. ISBN 978-85-7861-005-0.

STEINER, João E. **Astronomia no Brasil.** Cienc. Cult., 2009. Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252009000400015&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 19 fev. 2022.

ASTRÔNOMO amador brasileiro registra impacto em Júpiter. Diário de Pernambuco, 20 set. de 2021. Disponível em: <<https://www.diariodepernambuco.com.br/noticia/brasil/2021/09/astronomo-amador-brasileiro-registra-impacto-em-jupiter.html>>. Acesso em 19 fev. 2022.

TORRES, Wyllian. **Quais são os principais instrumentos usados para a observação do espaço?.** Canal Tech. Disponível em: <<https://canaltech.com.br/espaco/quais-sao-os-principais-instrumentos-usados-para-observacao-do-espaco-181487/>> Acesso em 19 fev. 2022.

STERN, D. P. PEREDO, M. **The Exploration of the Earth's Magnetosphere.** NASA. Disponível em: <<https://pwg.gsfc.nasa.gov/Education/Intro.html>> Acesso em 19 fev. 2022.

SCARINCI, Anne Louise. PACCA, Jesuína Lopes de Almeida. **Um curso de astronomia e as pré-concepções dos alunos.** Revista Brasileira de Ensino de Física, 2006. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbef/a/Bg4vQRD3kmKPRkVMq9tstLC/?lang=pt>>. Acesso em 19 fev. 2022.

MILONE, André de Castro, et al. **Introdução à Astronomia e Astrofísica.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2018. Disponível em: <http://www.inpe.br/ciaa2018/arquivos/pdfs/apostila_completa_2018.pdf>. Acesso em 19 fev. 2022.

JÚNIOR, Joab Silas da Silva. **O que é eclipse?**. Brasil Escola. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-eclipse.htm>>. Acesso em 19 fev. 2022.

SUPERNOVA. Só Científica, 2022. Disponível em: <<https://socientifica.com.br/enciclopedia/supernova/>> Acesso em 19 fev. 2022.

SANTIAGO, Emerson. **Espetroscopia**. InfoEscola, 2012. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/fisica/espectroscopia/>> Acesso em 19 fev. 2022.

JÚNIOR, Joab Silas da Silva. **O que é espectro eletromagnético?**. Brasil Escola. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-espectro-eletromagnetico.htm>> Acesso em 19 fev. 2022.

ANDRADE, Cláudia Jraige de. **Classificação Espectral**. UFRGS. Disponível em: <https://ppgenfis.if.ufrgs.br/mef008/mef008_02/Claudia/classificacaoespectral.html> Acesso em 19 fev. 2022.

RESOLUÇÃO n°038/2020 – CEPE**ANEXO**

APÊNDICE ao TCC

Termo de autorização de publicação de produção acadêmica

A estudante CINDY LISIANI SALES BORGES do Curso de **Licenciatura em Física**, matrícula 2018.2.0018.0021-3, na qualidade de titular dos direitos autorais, em consonância com a Lei nº 9.610/98 (Lei dos Direitos do autor), autoriza a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a disponibilizar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado **Estudo Sobre a Radiação Térmica**, gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5 (cinco) anos, conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial de computadores, no formato especificado (Texto (PDF); Imagem (GIF ou JPEG); Som (WAVE, MPEG, AIFF, SND); Vídeo (MPEG, MWV, AVI, QT); outros, específicos da área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da produção científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 30 de junho de 2022.

Assinatura do autor: *Cindy L. S. Borges*

Nome completo do autor: Cindy Lisiani Sales Borges

Assinatura do professor-orientador:



Nome completo do professor-orientador: Clóves Gonçalves Rodrigues