

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO

Júpiter Cirilio da Roza da Silva

CALENDÁRIO CÓSMICO COMO
CONTEXTUALIZAÇÃO PARA ABORDAR TÓPICOS
DE FÍSICA NUCLEAR NO ENSINO MÉDIO

Passo Fundo

2019

Júpiter Cirilio da Roza da Silva

CALENDÁRIO CÓSMICO COMO
CONTEXTUALIZAÇÃO PARA ABORDAR TÓPICOS
DE FÍSICA NUCLEAR NO ENSINO MÉDIO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática do Instituto de Ciências Exatas e Geociências da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática, sob a orientação da professora Dra. Cleci Teresinha Werner da Rosa e coorientação do prof. Dr. Johnny Ferraz Dias.

Passo Fundo

2019

CIP – Catalogação na Publicação

S586c Silva, Júpiter Cirilo da Roza da

Calendário Cósmico como contextualização para abordar tópicos de física nuclear no ensino médio / Júpiter Cirilo da Roza da Silva. – 2019.

121 f. : il. color ; 30 cm.

Orientadora: Profa. Dra. Cleci Teresinha Werner da Rosa.

Coorientador: Prof. Dr. Johnny Ferraz Dias.

Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade de Passo Fundo, 2019.

1. Física – Ensino médio. 2. Física nuclear – Estudo e ensino. 3. Teoria da aprendizagem. 4. Prática de ensino.
I. Rosa, Cleci Teresinha Werner da, orientadora. II. Dias, Johnny Ferraz, coorientador. III. Título.

CDU: 539.1

Catálogo: Bibliotecária Juliana Langaro Silveira - CRB 10/2427

Júpiter Cirilio da Roza da Silva

CALENDÁRIO CÓSMICO COMO
CONTEXTUALIZAÇÃO PARA ABORDAR TÓPICOS
DE FÍSICA NUCLEAR NO ENSINO MÉDIO

A Banca Examinadora abaixo, em 26 de abril de 2019, APROVA a Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática – Mestrado Profissional da Universidade de Passo Fundo como parte da exigência para obtenção do grau de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática, na linha de pesquisa Fundamentos teórico-metodológicos para o ensino de Ciências e Matemática.

Profa. Dra. Cleci Teresinha Werner da Rosa – Orientadora
Universidade de Passo Fundo

Prof. Dr. Johnny Ferraz Dias – Coorientador
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Profa. Dra. Sandra Denise Prado
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Profa. Dra. Aline Locatelli
Universidade de Passo Fundo

Prof. Dr. Jucelino Cortez
Universidade de Passo Fundo

AGRADECIMENTOS

Primeiro a Deus, permitindo momentos como este.

À minha família pela compreensão nos tempos em que não pude me fazer presente pelo desenvolvimento dessa dissertação e do produto educacional.

Em especial, quero agradecer a paciência, a atenção, o apoio e a contribuição da professora Dra. Cleci Werner da Rosa durante a orientação. Suas contribuições me auxiliaram a finalizar mais uma etapa de meus estudos. E, particularmente, quero agradecer por acreditar em mim e, sobretudo, confiar no meu trabalho nesses dois anos.

Ao professor Dr. Johnny Ferraz pela coorientação, estando disponível para esclarecer dúvidas, indicando correções, sugestões e análises durante esta etapa.

Aos professores e colegas do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, proporcionando oportunidades de reflexão e alegria. Ainda, quero agradecer ao Cassiano e ao Neleto, que, neste tempo, contribuíram com a construção e elaboração de diversos trabalhos, estendendo o agradecimento ao professor Dr. Carlos Ariel Samudio Pérez, que, sempre disposto, auxiliou no estudo desenvolvido.

Ao curso de Física-L da Universidade de Passo Fundo por acreditar e possibilitar que este trabalho fosse realizado.

Aos integrantes dos projetos de extensão “Astronomia na Educação Básica” e “Ciências, Comunidade e Formação” por todas as trocas de ideias e discussões, pelos ensinamentos e, principalmente, pela amizade. Também àqueles que participaram deste estudo e aos acadêmicos do Curso de Física-L pela dedicação, pelo interesse e pela participação em nossos encontros.

Ao grupo Saturno pela amizade e, essencialmente, pelo apoio, energia e força. Agradeço por permanecer perto nos mais diversos momentos, tristes e alegres, ação que tem um valor inimaginável.

Agradeço aos amigos do grupo cultural Anime Tchê pelos os diversos momentos alegres, de risadas e *nerdices*. Esses momentos me fortaleceram, me deram alento e me inspiraram.

Ao meu time do coração, Grêmio, atuando como uma válvula de escape, proporcionando momentos de alegria que nunca esquecerei.

E, por fim, a todos que, de uma forma ou outra, me fizeram seguir em frente, nos mais diferentes momentos, nas mais incomuns horas da vida, transmitindo motivação e confiança de que tudo ficaria bem.

Um gênio criativo não pode ser treinado. Não existem escolas para criatividade. Um gênio é, precisamente, um homem que desafia todas as escolas e regras, que se desvia dos caminhos tradicionais da rotina e abre novos caminhos através de terra inacessíveis antes. Um gênio é sempre um professor, nunca um aluno; ele é sempre feito por si mesmo.

Ludwig von Mises

RESUMO

O estudo parte do entendimento de que, em linhas gerais, os conteúdos de Física Nuclear, assim como os de Astronomia, são pouco explorados nos cursos de formação inicial de professores de Física e relegados a um segundo plano quando se trata do Ensino Médio. De modo particular, o estudo se situa no campo da Física Nuclear neste nível de escolarização, que representa um tema próximo a questões sociais, econômicas, ambientais e ao desenvolvimento tecnológico de um país, sendo, portanto, fundamental para a formação dos jovens. Além disso, o estudo se apoia na identificação de que os jovens têm se afastado das carreiras científicas, demonstrando um desinteresse por aprender Ciências, o que pode estar relacionado com o modo como ela se faz presente na Educação Básica, incluindo metodologias e currículos pouco atrativos. Tais constatações levaram a aventar a possibilidade didática de contemplar tópicos de Física Nuclear de modo contextualizado a partir do Calendário Cósmico proposto por Carl Sagan. Nessa direção e tomando como referencial um curso de licenciatura em Física como forma de operacionalização de propostas didáticas inovadoras, o presente estudo buscou responder à seguinte pergunta: qual a viabilidade de uma proposta didática que toma o Calendário Cósmico como suporte de contextualização dos conteúdos de Física Nuclear presente no Ensino Médio? O intuito é o de oportunizar que os licenciandos se sintam seguros em termos dos conteúdos específicos e, ao mesmo tempo, motivados para abordar a temática com seus futuros alunos. Dessa forma, o objetivo geral do trabalho situa-se na perspectiva de analisar como licenciandos de Física acolhem a associação da Física Nuclear com eventos astronômicos enquanto proposta de ensino voltada a melhorar a sua compreensão conceitual, bem como possibilidade didática para seu exercício profissional futuro. Para tanto, o estudo elegeu como *locus* de investigação um curso de formação inicial de professores de Física e desenvolveu um módulo didático para discutir tal possibilidade. Além disso, tomou como referência teórica as discussões relacionadas ao processo de contextualização no ensino. O módulo didático, integralizado por um texto de apoio, teve como instrumentos de avaliação junto ao público investigado o uso de pré e pós-testes e a realização de entrevistas do tipo semiestruturadas. Os resultados, apresentados de forma distinta para cada instrumento, foram analisados a partir de referenciais da área de ensino de Física. De forma geral, os resultados apontaram que os acadêmicos ampliaram seus conhecimentos no campo da Física Nuclear e manifestaram aceitação e aprovação em relação à proposta didática desenvolvida, sugerindo possibilidades para sua utilização no Ensino Médio. Como produto educacional decorrente do estudo, foi estruturado um material de apoio para professores do Ensino Médio, contendo os tópicos abordados no curso realizado com os licenciandos e estando disponibilizado na página do programa e no portal eduCapes <<http://educapes.capes.gov.br/handle/capes/432903>>.

Palavras-chaves: Ensino de Física. Contextualização. Proposta didática. Produto educacional.

ABSTRACT

The study is based on the understanding that, in general, the topics of Nuclear Physics, as well as those of Astronomy, are little explored in the initial training courses of Physics teachers and relegated to the background when it comes to High School. In particular, the study is located in the field of Nuclear Physics at this level of schooling, which represents a theme close to social, economic, environmental and technological development of a country, and is therefore fundamental for the training of students. In addition, the study is based on the identification that young people have moved away from scientific careers, showing a lack of interest in learning science, which may be related to the way it is present in basic education, including unattractive methodologies and curricula. These findings led us to explore the didactic possibility of contemplating topics of Nuclear Physics in a contextualized way from the Cosmic Calendar proposed by Carl Sagan. In this direction and taking as reference a degree course in Physics as a form of operationalization of innovative didactic proposals, the present study sought to answer the following question: what is the feasibility of a didactic proposal that takes the Cosmic Calendar as a support of contextualization of the contents of Physics Nuclear present in high school? The aim is to make it possible for students to feel secure in terms of their specific contents and, at the same time, motivated to approach the subject with their future students. Thus, the general objective of the work is to analyze how physicist graduates welcome the association of Nuclear Physics with astronomical events as a teaching proposal aimed at improving their conceptual understanding, as well as a didactic possibility for their future professional practice. To do so, the study chose as a locus of research an initial training course for physics teachers and developed a didactic module to discuss such possibility. As well, it took as theoretical reference the discussions related to the process of contextualization in the teaching. The didactic module, supplemented by a supporting text, had as instruments of evaluation with the public investigated the use of pre-tests and post-tests and the conduction of semi-structured interviews. The results, presented in a different way for each instrument, were analyzed from the reference points of the Physics teaching area. In general, the results pointed out that the academics expanded their knowledge in the field of Nuclear Physics and expressed their acceptance and approval regarding the didactic proposal developed, suggesting possibilities for their use in High School. As an educational product resulting from the study, a support material for high school teachers was structured, containing the topics covered in the course with students and being made available on the program page and the eduCapes portal <<http://educapes.capes.gov.br/handle/capes/432903>>.

Keywords: Physics teaching. Contextualization. Didactic proposal. Educational product.

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 - Tese e dissertações que compõem o <i>corpus</i> dos estudos relacionados. | 20 |
| Quadro 2 - Eventos destacados do CC | 46 |
| Quadro 3 - Descrição das atividades realizadas no curso de extensão. | 48 |
| Quadro 4 - Questão 1 do pré-teste e 2 do pós-teste com as respectivas respostas. | 61 |
| Quadro 5 - Questão 2 do pré-teste com as respostas. | 62 |
| Quadro 6 - Questão 3 do pré-teste e do pós-teste com as respectivas respostas. | 62 |
| Quadro 7 - Questão 4 do pré-teste e do pós-teste com as respectivas respostas. | 63 |
| Quadro 8 - Questão 5 do pré-teste e 6 do pós-teste com as respectivas respostas. | 64 |
| Quadro 9 - Questão 6 do pré-teste e 5 do pós-teste com as respectivas respostas. | 65 |
| Quadro 10 - Questão 7 do pré-teste e 1 do pós-teste com as respectivas respostas. | 67 |
| Quadro 11 - Questão 7 do pós-teste com as respostas..... | 68 |
| Quadro 12 - Questão 8 do pré-teste e do pós-teste com as respectivas respostas. | 68 |
| Quadro 13 - Questão 9 do pré-teste e do pós-teste com as respectivas respostas. | 69 |
| Quadro 14 - Questão 10 do pré-teste e do pós-teste com as respectivas respostas. | 70 |
| Quadro 15 - Questão 11 do pré-teste e do pós-teste com as respectivas respostas. | 71 |
| Quadro 16 - Questão 12 do pré-teste e do pós-teste com as respectivas respostas. | 72 |
| Quadro 17 - Questão 13 do pré-teste e do pós-teste com as respectivas respostas. | 73 |
| Quadro 18 - Questão 14 do pré-teste e do pós-teste com as respectivas respostas. | 74 |
| Quadro 19 - Questão 15 do pré-teste e do pós-teste com as respectivas respostas. | 75 |
| Quadro 20 - Categorias de análise estruturadas a partir das entrevistas..... | 76 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Calendário Cósmico apresentado por Carl Sagan (1934-1996), no episódio 1 “Os Limite dos Oceanos Cósmicos” de Cosmos..... | 45 |
| Figura 2 - Nuvem de palavras relacionada a FN e Astronomia..... | 50 |
| Figura 3 - Calendário Cósmico apresentado por Neil deGrasse Tyson, no episódio 4 “Um céu cheio de fantasmas” de Cosmos: uma odisséia no espaço-tempo..... | 52 |

LISTA DE ABREVIATURAS

| | |
|--------|--|
| AS | Astronomia |
| BNCC | Base Nacional Curricular Comum |
| CAPES | Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior |
| CC | Calendário Cósmico |
| CTS | Ciência, Tecnologia e Sociedade |
| DCNEM | Diretrizes Curriculares para o Ensino Médio |
| EF | Ensino Fundamental |
| EM | Ensino Médio |
| ES | Ensino Superior |
| FMC | Física Moderna e Contemporânea |
| FN | Física Nuclear |
| LDBEN | Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional |
| PCN | Parâmetros Curriculares Nacional |
| PCN+ | Parâmetros Curriculares Nacional + |
| PCNEM | Parâmetros Curriculares Nacional para o Ensino Médio |
| PIBID | Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência |
| PPECM | Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática |
| PUC-MG | Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais |
| RCF | Radiação Cósmica de Fundo |
| UEPB | Universidade Estadual da Paraíba |
| UFF | Universidade Federal Fluminense |
| UFRGS | Universidade Federal do Rio Grande do Sul |
| UFRJ | Universidade Federal do Rio de Janeiro |
| UFSC | Universidade Federal de Santa Catarina |
| UPF | Universidade de Passo Fundo |
| USP | Universidade de São Paulo |
| VREAC | Vice-Reitoria de Extensão e Assuntos Comunitários |

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|--|------------|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 12 |
| 2 | ESTUDOS RELACIONADOS | 19 |
| 2.1 | Seleção dos estudos | 19 |
| 2.2 | Relato dos estudos | 20 |
| 3 | A CONTEXTUALIZAÇÃO COMO FERRAMENTA DIDÁTICA | 30 |
| 3.1 | Significado no ensino de Ciências..... | 30 |
| 3.2 | Diálogo com autores nacionais | 33 |
| 3.3 | Entendimento no estudo..... | 41 |
| 4 | ELABORAÇÃO E APLICAÇÃO DO MATERIAL DIDÁTICO | 44 |
| 4.1 | Material didático: o Calendário Cósmico como referencial | 44 |
| 4.2 | <i>Locus</i> de aplicação e caracterização dos sujeitos | 46 |
| 4.3 | O curso de extensão | 47 |
| 4.4 | Descrição das atividades desenvolvidas nos encontros..... | 48 |
| 4.4.1 | <i>Primeiro encontro - “Nucleossíntese primordial”</i> | 49 |
| 4.4.2 | <i>Segundo encontro - “Qual a origem dos elementos químicos?”</i> | 53 |
| 4.4.3 | <i>Terceiro encontro - “Qual a idade da Terra?”</i> | 55 |
| 4.4.4 | <i>Quarto encontro.....</i> | 56 |
| 5 | METODOLOGIA..... | 58 |
| 5.1 | Aportes teóricos da pesquisa..... | 58 |
| 5.2 | Instrumentos | 59 |
| 5.3 | Análise do pré-teste e pós-teste | 60 |
| 5.4 | Análise das entrevistas | 76 |
| 6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 86 |
| | REFERÊNCIAS | 90 |
| | APÊNDICE A - Termo de autorização do curso de Física - UPF | 94 |
| | APÊNDICE B - Curso de extensão cadastrado na UPF | 95 |
| | APÊNDICE C - Modelo de Termo de Consentimento Livre e Esclarecido | 97 |
| | APÊNDICE D - Pré-teste | 98 |
| | APÊNDICE E - Slides do primeiro encontro | 99 |
| | APÊNDICE F - Slides do segundo encontro | 104 |
| | APÊNDICE G - Slides do terceiro encontro | 109 |
| | APÊNDICE H - Slides do quarto encontro | 115 |

| | |
|---|------------|
| APÊNDICE I - Pós-teste | 120 |
| APÊNDICE J - Guia de Entrevista..... | 121 |

1 INTRODUÇÃO

A ideia de pesquisar possibilidades de aproximações entre a Astronomia e a Física Nuclear (FN) teve origem em minha formação como professor de Física e no meu envolvimento com as duas temáticas durante o curso¹. As atividades que desenvolvi na graduação, na forma de projeto de extensão (Astronomia), e o trabalho de conclusão de curso (Física Nuclear), permitiram identificar a potencialidade que ambas apresentam para abordar conceitos de Física e, ao mesmo tempo, identificar que elas têm sido relegadas a um segundo plano do Ensino Médio.

Durante toda a graduação, estive envolvido e participando ativamente das ações desenvolvidas pelo Grupo de Astronomia da Universidade de Passo Fundo, ligado ao curso de Física-L. Além disso, fui bolsista extensionista no projeto “Astronomia na Educação Básica”, realizando trabalhos de divulgação científica em diferentes níveis de ensino. O foco do grupo e dos projetos a ele agregados é fomentar debates sobre Astronomia, Cosmologia, Astrofísica, Física e outros campos. Além disso, o grupo desenvolve atividades que buscam auxiliar docentes da área de Ciências com cursos de extensão e preparação de recursos didáticos para abordar os temas relacionados à Astronomia, especialmente, no Ensino Fundamental. Tais vivências possibilitaram verificar que os estudantes, dos mais diferentes níveis de ensino, apresentam uma curiosidade aguçada em temas relacionados à Astronomia e que ela, como mostra Iachel et al. (2009), pode ser um agente forte de discussão do conhecimento científico, devido ao seu poder de aproximar e despertar a curiosidade nos estudantes.

No mesmo período em que participei do Grupo de Astronomia mencionado, integrei o Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID), que apresenta como objetivo a iniciação do acadêmico nas atividades escolares de modo a aproximar a escola da formação dos futuros professores. Sob orientação de um professor titular da escola (professor-supervisor) e de um docente da licenciatura (professor-coordenador), o programa contribuiu significativamente para minha formação, proporcionando a minha iniciação à docência. A experiência vivenciada no PIBID e, principalmente, a realidade observada nas escolas, permitiram identificar que há lacunas no processo escolar e que o sistema, como um todo, carece de melhorias e qualificação, como inovações didáticas, defendidas por Langhi e Nardi (2007) e objetos de discussão do presente trabalho.

¹ A fim de tomar o tom da escrita mais pessoal, opto, em algumas partes do texto, pelo emprego da primeira pessoa do singular.

Acrescento à experiência vivenciada durante o curso a pesquisa desenvolvida na forma de Trabalho de Conclusão de Curso. Neste trabalho, procedi com a análise em livros didáticos de Física indicados pelo Plano Nacional do Livro Didático 2015 (SILVA, 2016) para identificar a forma como o tópico de FN estava estruturado didaticamente e que assuntos contemplava cada obra. Tal estudo permitiu a identificação da existência de pouca contextualização dos conteúdos de FN nos livros didáticos, evidenciando uma carência em termos de relações com outros conteúdos de Física e outras disciplinas, como é o caso da Química e da Biologia, ou mesmo em discutir aspectos sociais e ambientais que são inerentes à utilização da energia nuclear, aspecto central nas discussões da FN.

O processo formativo narrado nos parágrafos iniciais pautou a criação da problemática que levou a procurar um curso de mestrado profissional e que subsidia a elaboração desta dissertação e seu respectivo produto educacional. Dessa forma, destaco que os dois temas que integraram a minha formação acadêmica, Astronomia e Física Nuclear, representam motes instigantes e que despertam interesse e curiosidade nos alunos, além de que representem conhecimentos presentes no cotidiano e que influenciam as mais diferentes ações dos sujeitos e, por isso, precisam estar contemplados no Ensino Médio. Todavia, sua abordagem nos livros didáticos, no mínimo, tem sido problemática, para não dizer desestimulante àqueles que desejam estudar esta temática, e reforçam a observação oriunda da experiência no PIBID de que a escola carece de novas propostas metodológicas.

Em termos do livro didático e em relação aos conteúdos de Astronomia, por exemplo, Darroz, Bagestan e Rosa (2017) revelam que, no Ensino Médio, os conteúdos são poucos explorados e estão diluídos ao longo dos três anos, muitas vezes, ficando restritos a textos complementares, nem sempre contemplando a abordagem necessária à sua compreensão. Tal problemática se torna mais acentuada quando são analisadas as orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio, os PCN+ (BRASIL, 2002), e identifica-se que ambos os tópicos integram os conteúdos recomendados para esse nível de escolarização e, portanto, deveriam estar nos currículos de Física. Essa situação é corroborada também na Base Nacional Comum Curricular, BNCC (BRASIL, 2018), que aponta para aspectos associados a esses conteúdos. Dessa forma, ao ler o documento, verificamos que a FN e a Astronomia estão presentes em todas as três competências específicas da BNCC.

No caso da FN, foco deste trabalho, percebemos sua presença em diferentes passagens do texto, especificamente, em se tratando das competências que devem ser desenvolvidas nos alunos. Em relação à primeira competência, vinculada à “analisar fenômenos naturais e

processos tecnológicos, com base nas relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições” (BRASIL, 2018, p. 540) temos a indicação de que a área de Ciências deve abarcar conteúdos como os relatados a seguir:

Nesta competência específica os fenômenos naturais e os processos tecnológicos são analisados sob a perspectiva das relações entre matéria e energia, possibilitando, por exemplo, a avaliação de potencialidades e de limites e riscos do uso de diferentes materiais e/ou tecnologias para tomar decisões responsáveis e consistentes diante dos diversos desafios contemporâneos. Dessa maneira, podem mobilizar estudos referentes a: estrutura da matéria; transformações químicas; leis ponderais; cálculo estequiométrico; princípios da conservação da energia e da quantidade de movimento; ciclo da água; leis da termodinâmica; cinética e equilíbrio químicos; **fusão e fissão nucleares**; espectro eletromagnético; efeitos biológicos das radiações ionizantes; mutação; poluição; ciclos biogeoquímicos; desmatamento; camada de ozônio e efeito estufa; entre outros (BRASIL, 2018, p. 540, grifo nosso).

Segue o documento e, na terceira competência, novamente, há menção ao tema FN. Esta competência está vinculada a “analisar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza” (BRASIL, 2018, p. 540). Nessa competência, está especificado que, para o seu desenvolvimento, é importante mobilizar conhecimentos relacionados a:

[...] aplicação da tecnologia do DNA recombinante; identificação por DNA; emprego de células-tronco; produção de armamentos nucleares; desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias de obtenção de energia elétrica; estrutura e propriedades de compostos orgânicos; agroquímicos; controle biológico de pragas; conservantes alimentícios; mineração; herança biológica; darwinismo social, eugenia e racismo; mecânica newtoniana; equipamentos de segurança (p. 544)

Os exemplos mencionados e extraídos da legislação atual enfatizam que, mais do que apenas integrar uma lista de conteúdos, a questão posta à reflexão é a forma como elas podem ser abordadas e o potencial desses conteúdos no processo de formação dos estudantes no Ensino Médio. Ou, ainda, como mencionado em uma passagem da BNCC anterior às mencionadas acima:

No Ensino Médio, é possível unificar essas duas temáticas, de modo que os estudantes compreendam de forma mais ampla os processos a elas relacionados. Isso significa considerar a complexidade relativa à origem, evolução e manutenção da Vida, como também às dinâmicas das interações gravitacionais. Implica, ainda, considerar modelos mais abrangentes ao explorar algumas aplicações das reações nucleares, a fim de explicar, por exemplo, processos estelares, datações geológicas e formação da matéria e da vida (p. 538).

Em termos da FN, o mencionado é reforçado pela literatura especializada ao relatar a importância de propor alternativas didáticas para abordar a FN no Ensino Médio. Nessa revisão de estudo, constatamos que a temática tem sido pouco investigada e menos ainda são as propostas didáticas oferecidas aos professores para sua inserção nas escolas. No caso da Física Moderna e Contemporânea (FMC), da qual a FN faz parte, a presença tímida dos conteúdos nos currículos decorre, conforme mencionado por Brockington e Pietrocola (2005), de fatores como insegurança no domínio dos conteúdos, extensão do currículo, horários restritos, cumprimento dos programas e preparação para o vestibular. Até mesmo o tamanho das turmas é uma circunstância que dificulta a inserção dos temas referentes à FMC, como a mecânica quântica, a relatividade e a FN. Dessa forma, os autores mostram que, se o conteúdo é pouco abordado, por consequência, são poucas as propostas de inovações didáticas.

Os resultados dessas pesquisas, que serão aprofundadas no primeiro capítulo, somados às percepções vivenciadas na formação e relacionados à potencialidade da Astronomia como tema instigador para discutir Ciência, subsidiaram a reflexão sobre a necessidade de buscar alternativas para aproximar esses dois tópicos dentro de um ensino contextualizador. Tal perspectiva didática tem sido apontada como alternativa no ensino, especialmente, em se tratando da Educação Básica. Silva (2013) mostra que um ensino contextualizador proporciona aos estudantes a visualização dos conteúdos a partir de sua relação com o cotidiano, mostrando a estreita relação entre o mundo vivencial e os conteúdos escolares.

Movida por essas constatações e, particularmente, pelo desejo de que os conteúdos de FN se façam presentes no Ensino Médio, surge a indagação sobre a possibilidade de estabelecer uma relação entre a Astronomia e a FN presentes no Ensino Médio. No recorte do estudo, partimos da possibilidade de utilizar o Calendário Cósmico (CC) como referencial de discussão e contextualização de tópicos de FN, particularmente selecionados pela sua identificação como integrante dos conteúdos de Ensino Médio. O CC que será detalhado no quarto capítulo foi proposto por Carl Sagan para representar a idade do Universo, em sua totalidade, na forma de um calendário. O objetivo do Sagan estava em abordar o Universo dentro de uma escala de uso cotidiano e possibilitar uma melhor compreensão de sua extensão.

Para tanto, com base no desejo de um processo que favoreça a formação de jovens críticos e atuantes na sociedade contemporânea, buscamos desenvolver um material didático e analisar sua pertinência na apropriação dos conceitos. Tendo esse cenário como norteador do estudo, surge o questionamento sobre o qual nos debruçamos na busca por respostas e que está elucidado pela seguinte pergunta: qual a viabilidade de uma proposta didática que toma o

Calendário Cósmico como suporte contextualizador dos conteúdos de Física Nuclear presente no Ensino Médio?

Tal questionamento, formulado com a intencionalidade de estabelecer diálogos entre dois temas que integram os conteúdos de Física no Ensino Médio, levou a investigar a sua pertinência em termos conceituais e didáticos. Nesse sentido, o estudo estabeleceu como *locus* de investigação um grupo de futuros professores de Física, a fim de que analisassem a proposta didática elaborada em termos das contribuições para a apropriação dos conceitos e como estratégia didática. Em outras palavras, selecionamos um grupo de sujeitos que não teve contato com o conteúdo de FN, por não fazer parte de sua formação, mas que está na iminência de ser professor e, portanto, em tese, capacitado para uma análise didática.

Sobre a presença de disciplinas de FN nos cursos de formação inicial de professores de Física, destacamos que, em uma análise das grades curriculares dos cursos no estado do Rio Grande do Sul, identificamos que, em um universo de 20 cursos, entre presenciais e Ensino à Distância (EaD) de licenciatura em Física, apenas três apresentam uma disciplina específica voltada a esse campo de conhecimentos². Nos demais cursos, esta área está incluída em disciplinas relacionadas, por exemplo, à Física Moderna e à Estrutura da Matéria. Embora não seja o foco do presente estudo, é importante destacar que tal identificação remete a uma análise mais aprofundada como forma de repensar a formação inicial dos professores de Física, uma vez que esse tópico integra a lista dos conteúdos do Ensino Médio no componente curricular Física.

Tendo como pano de fundo o que foi mencionado, inferimos que o objetivo do estudo consiste em **analisar como licenciandos de Física acolhem a associação da Física Nuclear com eventos astronômicos enquanto proposta de ensino voltada a melhorar a sua compreensão conceitual, bem como possibilidade didática para seu exercício profissional futuro.**

À luz desse objetivo geral, temos os seguintes objetivos específicos:

- Realizar uma revisão dos estudos envolvendo o ensino de FN;
- Discorrer sobre a importância da contextualização como prática pedagógica;
- Elaborar um material didático para professores do Ensino Médio que contemple tópicos de FN, apoiado na estrutura de um CC.

² Os dados referentes aos cursos de licenciatura em Física no estado do Rio Grande do Sul foram obtidos na página do Ministério da Educação (MEC) (<http://emec.mec.gov.br/>). A partir da identificação dos cursos, buscou-se, nas páginas institucionais das respectivas universidades, as grades curriculares e ementa das disciplinas.

A importância de estudar a FN no Ensino Médio reside no fato de sua contribuição para a alfabetização científica dos jovens, fornecendo elementos para que compreendam e dialoguem com o mundo em que vivem. A presença da FN no cotidiano dos estudantes faz com que a escola inclua em suas propostas pedagógicas a discussão de questões científicas associadas aos perigos, impactos sociais e benefícios de sua utilização.

Assim, a sua importância de abordar esses conteúdos no Ensino Médio decorre da sua presença em diversas áreas que fazem parte do cotidiano dos alunos, como medicina, indústria, agricultura e produção de energia. Além disso, os conhecimentos nesse campo se revelam essenciais quando se trata dos perigos que a manipulação de equipamentos e dispositivos atrelados a eles podem ocasionar quando não se tem conhecimentos mínimos na área, situação evidenciada em acidentes nucleares como o de Chernobyl, em 1986, e o de Goiânia, em 1987, assim como podemos mencionar as corridas armamentistas em busca do aperfeiçoamento da bomba atômica após o término da Segunda Guerra Mundial, em 1945.

Outro momento que podemos mencionar, e mais recente, é no Japão em 2011. Sendo o último acidente radiológico registrado até então, o país insular foi balado no início de 2011 por um maremoto. Este maremoto por sua vez deu a origem a um tsunami que acabou por atingir a usina de Fukushima. Este fenômeno foi responsável por danificar o sistema de resfriamento da usina e contribuir para a proliferação de material radioativo. Junto com Chernobyl, o acidente nuclear em Fukushima também é considerado um dos piores já ocorridos e o segundo a chegar a nota 7 na escala de acidentes nucleares. Mas devido a competência das autoridades, os protocolos de segurança seguidos, as consequências do acidente foram mínimas em comparação à Chernobyl.

Esses são exemplos que ilustram a importância de abordar a FN no Ensino Médio e que tem se revelado um problema a partir da identificação de que ela tem sido pouco contemplada nesse nível de escolarização.

Essa situação que é pontuada por Souza e Dantas (2010, p. 138-139) ao mencionarem que:

A Física Nuclear tem papel de destaque no cenário científico atual, e até mesmo na política econômica internacional no que concerne ao enriquecimento de urânio para fins militares ou produção de energia elétrica, o que a torna um assunto relevante do ponto de vista educacional.

Outro aspecto que justifica a presente pesquisa está na utilização do CC como aspecto estruturante e contextualizador dos conteúdos de FN. A aposta feita neste estudo decorre da

importância de abordar os conteúdos a partir de temas que são instigantes dentro de um processo que permite visualizar os conteúdos em um universo para além do tópico em estudo. Desta maneira, recorre-se a um elemento da Astronomia como propulsor de um ensino que busca ser atrativo e significativo para os estudantes.

A partir do apresentado e tomando como referencial a necessidade de dialogar com futuros professores, adotamos uma pesquisa qualitativa, apoiada no uso de pré e pós-testes como forma de discutir as contribuições para a apropriação dos conceitos e entrevista semiestruturada com os participantes com objetivo de avaliar a proposta em termos didáticos. Os resultados foram analisados à luz do referencial construído e buscam responder ao questionamento principal desta pesquisa.

O presente texto está estruturado de forma a apresentarmos, no segundo capítulo, a revisão de estudos na temática ensino de FN, desde uma análise em teses e dissertações brasileiras. A seguir, a título de referencial teórico didático, discutimos a importância da contextualização como estratégia de ensino, sob a qual se buscou alicerçar o material elaborado e as atividades desenvolvidas. Na sequência do texto, relatamos a forma como o material didático foi estruturado e o modo como foram desenvolvidos os encontros com os futuros professores de Física. No último capítulo, apresentamos a metodologia de pesquisa destacando suas características e as escolhas dos instrumentos selecionados para a coleta dos dados, bem como apresentamos os resultados do estudo. No fim, inferimos as considerações finais do estudo a título de conclusão, de modo a refletir sobre o realizado e apontar novas perspectivas de estudo.

2 ESTUDOS RELACIONADOS

O presente capítulo tem como objetivo apresentar estudos desenvolvidos no âmbito do ensino de FN. Para isso, foi tomado por referência a análise das teses e dissertações da área, a partir do procedimento de revisão das produções disponibilizadas. Dessa forma, o foco central está em investigar e obter informações sobre o modo como a temática do ensino de FN vem sendo tratada na literatura especializada, nesse caso, especificamente nas dissertações e teses brasileiras.

2.1 Seleção dos estudos

Para compor o estudo proposto, selecionamos como base de dados o catálogo de teses e dissertações da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), disponibilizado eletronicamente e de acesso público. Nesse catálogo, utilizamos o descritor “Física Nuclear” como forma de identificar os estudos acerca da temática. Ainda, objetivando a delimitação ou o refinamento da amostra, selecionamos o período de 2003 a 2018, o que corresponde aos últimos 15 anos e, finalmente, estabelecemos como área do conhecimento o campo do “Ensino de Ciências e Matemática”.

Os referidos recortes resultaram no montante de 1.505 trabalhos, os quais foram analisados ao longo do ano de 2017 até início do ano de 2018. Selecionamos aqueles trabalhos pertinentes ao ensino de FN ou que possuíam alguma relação direta com esse tema. Seguindo essa linha investigativa, do conjunto de trabalhos identificados na base de dados, executamos a leitura de seu título, das palavras-chave e do resumo, de modo a identificar os que apresentavam uma relação direta com o estudo em desenvolvimento nesta dissertação. Além disso, sempre que a análise investigativa deixou alguma dúvida, fomos investigar o texto completo para verificar sua pertinência à amostra, selecionando-o ou descartando-o após a realização dessa análise mais aprofundada.

A atividade de seleção das dissertações e das teses permitiram identificar sete trabalhos, sendo uma tese e seis dissertações, cujas identificações estão descritas no Quadro 1 a seguir. Nele, são apresentadas as informações que compõem estruturalmente os sete trabalhos, como o título, o autor, o ano da defesa, o tipo de estudo (teses ou dissertações) e a instituição em que foi realizado o estudo. Assim, na sequência, são descritos os sete estudos identificados com suas especificações.

Quadro 1 - Tese e dissertações que compõem o *corpus* dos estudos relacionados.

| Título | Autor | Ano | Tipo de estudo | Instituição |
|--|----------------------------|------|----------------|-------------|
| Espaços da Física Moderna e Nuclear nos contextos curriculares e na pesquisa | Ligia Valente de Sá Garcia | 2015 | Tese | USP |
| Poluição Nuclear: a inserção da Educação Ambiental no Ensino Médio na perspectiva globalizante via enfoque CTS | Marco Aurélio de Souza | 2005 | Dissertação | UFSC |
| Energia Nuclear e Radioatividade na escola de Nível Médio: um olhar a partir dos acidentes nucleares | Marcella Campos de Araújo | 2013 | Dissertação | PUC-MG |
| O Legado de Madame Curie - Uma abordagem CTS para o Ensino da Radioatividade | Jucelino Cortez | 2014 | Dissertação | UFRGS |
| Episódios Históricos no contexto do ensino de Ciências: a Energia Nuclear e a sua utilização | José Adauto Andrade Junior | 2015 | Dissertação | UEPB |
| Desenvolvimentos de recursos e estratégias para o ensino-aprendizagem de Radioatividade | Fábio Marques de Oliveira | 2016 | Dissertação | UFF |
| Física das Radiações: um enfoque CTS para alunos do Ensino Médio da área industrial | Suelen Pestana Cardoso | 2017 | Dissertação | UFRJ |

Fonte: pesquisa (2018).

O conjunto de trabalhos apresentado no quadro são relatados na continuidade.

2.2 Relato dos estudos

Para o relato dos estudos, optamos por sua apresentação a partir da consideração da seguinte estrutura: tipo de estudo (dissertação ou tese), autor, orientação, instituição do estudo, ano de defesa, título do trabalho, objetivo, referencial teórico, ambiente da pesquisa e os resultados obtidos.

O primeiro trabalho apresentado refere-se a uma tese de doutorado, de autoria de Ligia Valente de Sá Garcia, orientada pela Dra. Maria Regina Dubeux Kawamura. O trabalho foi desenvolvido no Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências (Doutorado) - Modalidade Física, Química e Biologia - da Universidade de São Paulo, no ano de 2015. Sob o título de “Espaços da Física Moderna e Nuclear nos contextos curriculares e na pesquisa”, o trabalho teve como objetivo investigar o “percurso” no qual o conhecimento científico se transforma em conhecimento escolar. Em outras palavras, o estudo buscou analisar a forma como os conteúdos de FMC e FN estão sendo selecionados e organizados para serem abordados no Ensino Médio e Superior. Em conjunto a isso, levou em conta a discussão dos temas, sua evolução e transformação nos diferentes níveis. Todavia, o destaque ficou por conta do tema FN.

Nas palavras da autora:

Em última análise, esse tipo de compreensão pode contribuir para identificar que tratamento deve ser dado à FMC na formação inicial, de tal forma que os professores venham a poder ter autonomia suficiente para elaborar, eles mesmos, propostas de inserção dos conteúdos da FMC no EM (GARCIA, 2015, p. 17).

Desta forma, inicialmente, o estudo buscou procurar subsídios em referenciais teóricos para orientação e discussão conceitual sobre os elementos de currículo, conhecimento escolar, disciplinas escolares e análise de livros didáticos. A partir destas considerações, a autora buscou, em primeira parte, o surgimento, evolução e consolidação dos conteúdos da FMC nos livros do Ensino Superior, bem como nos currículos do ES de Física. Em segunda parte, a presença atual da FMC nos livros didáticos e nos currículos de ES de Física. Na terceira parte, o estudo se deteve à presença da FMC e FN no EM, bem como a análise dos livros didáticos. Por fim, a última parte foi designada a um estado da arte relatando os trabalhos realizados na área da FMC até então.

Os resultados obtidos pela autora revelam que, no Ensino Superior, os conhecimentos são transformados e disponibilizados de forma disciplinar e, após a sua consolidação, parte deles é inserida de forma aleatória e celular no EM. Desta forma, uma transposição didática não é capaz de suprir a procura de uma formação adequada, o que leva, muitas vezes, a não contemplar a FN.

O segundo trabalho selecionado está vinculado a uma dissertação de mestrado, de autoria de Marco Aurélio de Souza, orientado pela Dra. Sônia Maria S. C. de Souza Cruz. A dissertação foi desenvolvida no curso de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina, no ano de 2005. Com o título de “Poluição nuclear: a inserção da Educação Ambiental no Ensino Médio na perspectiva globalizante via enfoque CTS”, o objetivo principal do trabalho foi realizar uma reflexão sobre a inserção da Educação Ambiental na Educação Básica, pautando-se especialmente pela Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS).

O tópico Poluição Nuclear, conceito utilizado pelo autor, está incluído dentro da área da FN, uma vez que este tipo de poluição tem origem em materiais radioativos. O lixo radioativo é produto do final do processo das usinas term nucleares, que tem como combustível material físsil. Resguardando-se, especialmente, nos documentos legais, o autor defende a Educação Ambiental sob a perspectiva de capacitar o indivíduo em formação a se posicionar frente às questões ambientais, incrementando, dessa forma, as possibilidades de compreensão e participação do indivíduo na sociedade em geral.

Conforme suas palavras:

O exercício da cidadania, como propõem o PCN+, implica que o meio ambiente seja abordado no contexto educacional segundo uma perspectiva global, onde o homem e suas peculiaridades culturais, sociais e econômicas estejam inseridos no contexto das questões ambientais (SOUZA, 2005, p. 6).

Sobre a escolha do referencial teórico associado ao enfoque CTS, o autor afirma que:

Os estudos CTS são apontados como um caminho viável para a prática da Educação Ambiental dentro da citada concepção, dados suas características metodológicas e objetivos educacionais que abordam o trinômio: ciência, tecnologia e sociedade. A Poluição Nuclear foi adotada como tópico programático, pelo fato de permitir o estabelecimento de múltiplas relações entre política, economia, ciência, tecnologia e ambiente (SOUZA, 2005, p. 6).

Desta maneira, inicialmente, o autor buscou uma compreensão de Educação Ambiental a partir de pesquisadores da área e investigou a evolução e concepção sobre o meio ambiente para obter um panorama da problemática e, partindo disso, obter uma visão de como este tema é encarado pela população e pelos educadores. No segundo momento, traçou os elementos e o contexto e justificou a escolha pelo enfoque CTS, tendo em vista que representa uma ferramenta que auxilia um entendimento mais global por parte do indivíduo, a fim de que ele possa estabelecer uma relação maior do tema com a sua vida, com a sociedade e a tecnologia. No estudo, também consta uma discussão conceitual sobre ecologia, poluição e, em específico, sobre poluição nuclear. Além disso, o estudo analisa livros didáticos de Física, Química e Biologia.

Dispondo de toda esta reflexão, como resultado, o autor propõe que a abordagem deste tema se faça presente de uma maneira globalizante e defende a necessidade de um entrelaçamento de disciplinas, possibilitando que o tema seja explorado, superando o isolamento em uma única disciplina curricular. Desta forma, o estudante pode ver o mesmo tema por diversas perspectivas e perceber as diversas relações, causas e consequências.

Como terceiro trabalho, mencionamos a dissertação de mestrado desenvolvida por Marcella Campos de Araújo, com orientação da Dra. Adriana Gomes Dickman. A dissertação foi realizada junto ao Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, no ano de 2013. Sob o título de “Energia Nuclear e Radioatividade na escola de Nível Médio: um olhar a partir dos acidentes nucleares”, teve como propósito elaborar um produto educacional relacionado à produção de material didático.

Inicialmente, a autora confeccionou um estado da arte das publicações da área de Ensino de FMC no EM, no período entre 1970 e 2012. Na sequência, a análise foi estendida para a área

da Física Nuclear e Radiações, foco do estudo. Também foram analisados livros didáticos de Física do EM, numa busca para perceber como esta área é transposta para essas obras, identificando problemas e indicando soluções.

O referencial teórico abordado no estudo se centra, inicialmente, nas ideias de Paulo Freire sobre a apropriação dos conteúdos, a dimensão epistemológica e a dimensão educativa. Após uma reflexão conceitual destes assuntos, a autora se utiliza dos Três Momentos Pedagógicos propostos por Demétrio Delizoicov e colaboradores. Partindo desse marco referencial, juntamente com a análise de um questionário aplicado com professores do EM, a autora elaborou o material didático. O questionário teve como finalidade a obtenção de informações sobre a formação dos mesmos, sua prática docente e os seus conhecimentos pertinentes ao tema “Energia Nuclear e Radioatividade”. Desta forma, buscando sanar as lacunas existentes, o estudo buscou ferramentas que permitissem auxiliar na estruturação de um material didático, tais como livros, imagens, filmes e documentários. Sobre esse material, Araújo (2013, p. 16) menciona:

O material é organizado em seis módulos: o primeiro para nivelamento dos conhecimentos básicos de Física Nuclear; o segundo para discutir alguns acidentes ocorridos por ignorância dos envolvidos; o terceiro e o quarto para tratar especificamente dos dois últimos grandes acidentes nucleares (Chernobyl e Fukushima), o quinto para contextualizar a tecnologia nuclear histórica, social, econômica e politicamente e o sexto para discussão dos riscos e benefícios associados a essa tecnologia e síntese da discussão.

Por fim, a autora indica que, a partir dos dados do questionário, a maioria dos professores que sente dificuldades de lecionar estes temas não é formada na área específica e sente falta de materiais didáticos com linguagem acessível, objetivos atraentes e discussões vastas. Desta forma, o produto educacional construído teve a pretensão de englobar todos esses indicativos, podendo ser usado parcialmente ou de forma integral.

O quarto trabalho identificado foi a dissertação de mestrado de autoria de Jucelino Cortez e sob orientação da Dra. Sandra Denise Prado. O estudo foi desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, no ano de 2014. Com o título “O Legado de Madame Curie: uma abordagem CTS para o ensino da Radioatividade”, a pesquisa teve como objetivo abordar o conteúdo de Radioatividade de forma ampla e significativa. O estudo parte dos pontos de vista de que a Física no EM não é contemplada nas escolas em toda a sua plenitude, de existe a predominância da abordagem da Física Clássica e de que os conteúdos referentes à Física Moderna têm a sua introdução

fragmentada. Em especial, o autor enfatiza a Radioatividade, que aparece no terceiro ano do EM e, muitas vezes, é esquecida pelos professores.

Os referenciais teóricos que subsidiaram a estruturação da proposta didática estiveram associados à abordagem CTS e à psicologia cognitiva, especialmente, aos trabalhos de Lev Semenovich Vygotsky, David Paul Ausubel e Marco Antonio Moreira, em termos da perspectiva sociointeracionista, da Aprendizagem Significativa e da Aprendizagem Significativa Crítica, respectivamente.

A opção pela abordagem CTS é assim descrita pelo autor:

[...] optamos por utilizar a abordagem CTS como motivação, na expectativa de que uma abordagem interdisciplinar ampla, que coloque ciência, tecnologia e sociedade em um mesmo patamar, pudesse criar condições para que os estudantes com diferentes aptidões, interesses e motivações, pudessem perceber o valor da ciência e o quanto esse saber é importante na concepção da sociedade moderna. Somos todos iguais – em direitos - e todos diferentes - em aptidões. A abordagem CTS permite ao professor trabalhar um conteúdo por diferentes perspectivas, fazendo com que alunos com diferentes habilidades possam contribuir de modo significativo na construção de saberes (CORTEZ, 2014, p. 9).

A partir desses entendimentos, o trabalho foi realizado com a participação de 15 estudantes do terceiro ano do EM e teve como mote orientador o desenvolvimento de um projeto denominado “O Legado de Madame Curie”. Nesse projeto, o autor faz uso da cientista Marie Curie como fonte de motivação para o ensino da Radioatividade, abordando aspectos peculiares à sua vida como pesquisadora e contribuições dadas ao desenvolvimento da Radioatividade, bem como recorre a informações, imagens e notícias relacionada ao tema. Como recurso didático estratégico, o projeto envolve consulta a especialistas, pesquisas, construção de mapas conceituais e outros.

No fim, o autor enfatiza que os objetivos do trabalho foram alcançados e que foi possível perceber que o desinteresse e irrelevância pela área da Física, apresentados pelos alunos no início, deram lugar ao interesse e a uma construção abrangente das relações matemáticas, dos conceitos e das leis da ciência.

A quinta obra selecionada é o trabalho de dissertação de mestrado de autoria de José Aduino Andrade Junior, sob a orientação do Dr. Marcelo Gomes Germano. O estudo foi desenvolvido junto ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Estadual da Paraíba, em 2015, sob o título da dissertação “Episódios históricos no contexto do ensino de Ciências: a Energia Nuclear e a sua utilização”. Como objetivo, o autor destaca a necessidade de proporcionar habilidades de compreensão, participação e consciência crítica da realidade aos estudantes. Usando como referencial teórico o enfoque

CTS, essencialmente o trabalho buscou, a partir da utilização de episódios históricos, descrever e discutir a concepção de estudantes da Educação Básica acerca da energia nuclear e de sua utilização.

Partindo disso, o autor organizou uma intervenção em sala de aula em que

[...] foram trabalhados dois episódios históricos que marcaram o começo da era da energia nuclear: o Projeto Manhattan e o lançamento das bombas em Hiroshima e Nagasaki. Tais eventos foram escolhidos a partir do pressuposto de terem sido a vitrine responsável em avisar ao mundo sobre os riscos envolvidos na utilização deste tipo de energia (ANDRADE JUNIOR, 2015, p. 21).

Dessa maneira, foram elaborados três textos históricos com o objetivo de criar debates entre os estudantes e o professor, que atuou como interlocutor e orientador das discussões, de modo a proporcionar condições aos estudantes de exercerem habilidades cognitivas e argumentativas e levarem em conta o contexto do conteúdo. A intervenção foi realizada com estudantes do terceiro ano do EM e desenvolvida e analisada com as seguintes ferramentas: questionário estruturado subjetivo; entrevista semiestruturada; diário de pesquisa. O uso de tais ferramentas teve como objetivos estruturar o caminho da proposta, verificando os conhecimentos anteriores e a sua evolução, e registrar os dados com vistas a uma análise mais profunda e significativa.

Sobre os textos, o primeiro, intitulado “A ascensão de Hitler e o exílio dos Físicos”, teve como objetivo expor aos estudantes a perspectiva dos cientistas naquele contexto e como eles eram tratados, bem como as repercussões ocasionadas pela guerra. O segundo texto, designado “O Projeto Manhattan”, teve como foco a descrição do projeto e os recursos mobilizados para isso, especialmente, financeiros e tecnológicos. Por fim, o último texto, denominado “Um recado aos soviéticos - Little Boy e Fat Man vão à guerra”, buscou provocar reflexões sobre o uso das bombas atômicas, relacionando sua motivação, objetivos e as consequências.

Os resultados são assim expressos pelo autor:

Com estes três questionamentos pode-se notar que foram obtidos indicativos de pontos positivos em relação à utilização dos episódios históricos. Por outro lado, temos que ressaltar que ocorreram apenas três encontros, somando um total de 300 minutos, o que é relativamente pouco considerando os nossos objetivos iniciais de pesquisa. Também devemos reconhecer que o modelo escolar ainda orientado para os vestibulares, dificulta quaisquer tipos de intervenção dissonante com os objetivos estabelecidos pela escola. As dificuldades para formar um grupo de estudos em um contra turno foram grandes, o que, de certo modo, prejudicou os objetivos iniciais do trabalho. Ainda assim, a partir da descrição de algumas situações, podemos constatar que os educandos avançaram de um pensamento inicial mais simplista até alcançarem uma posição mais crítica diante do fenômeno (ANDRADE JUNIOR, 2015, p. 106).

O sexto e penúltimo trabalho selecionado foi o “Desenvolvimentos de Recursos e Estratégias para o Ensino-Aprendizagem de Radioatividade”, de autoria de Fábio Marques de Oliveira e orientado pela Dra. Eluzir Pedrazzi Chacon. A obra, desenvolvida junto ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências da Natureza da Universidade Federal Fluminense, foi concluída no ano de 2016. O estudo apoiou-se no Movimento CTS e nas ideias de Paulo Freire, buscando a produção, aplicação e a avaliação de uma sequência didática para o conteúdo de Radioatividade.

Em termos da escolha desse referencial teórico, o autor defende os critérios de seleção:

O movimento CTS surge como uma alternativa ao ensino tradicional pautado na transmissão-recepção de conteúdo, o qual Freire (2014) denomina de “educação bancária”, fazendo referência a operações bancárias de depósito – neste caso, de conteúdo – e de retiradas – por meio de provas, onde os professores “sacariam” aquilo que foi depositado. A aproximação entre esse movimento e a teoria freireana é defendida por alguns autores, como Auler (2007) e Auler e Delizoicov (2006). A principal filosofia de Freire é a da educação problematizadora, que tem o objetivo de libertar os homens (oprimidos) da “opressão”, realizada quando a prática hegemônica é a da educação bancária. Assim como o movimento CTS, Freire almeja a formação de um ser pensante, crítico e que possa tomar decisões e fazer escolhas (OLIVEIRA, 2016, p. 19).

Particularmente, a escolha pelo tema Radioatividade partiu do próprio autor, em especial, na experiência ao ministrar este tema de forma tradicional, o que gerou certo descontentamento e preocupação, pois, na sua perspectiva, os resultados atingidos não eram consideráveis. Dessa forma, buscando soluções para este problema, o autor desenvolveu o estudo que culminou na sua dissertação e na produção de uma sequência didática, trabalhada com uma turma de terceiro ano do EM, no município de Nova Iguaçu.

Tendo embasamento nos referenciais CTS e na concepção de Paulo Freire, a sequência didática teve como questão social a ser debatida a crise hídrica - escassez energética -, uma vez que, em caso de escassez de água, usinas hidroelétricas têm a sua produção reduzida, o que impõe a necessidade de planejamento de uma alternativa para suprir a demanda. Uma das alternativas é o uso de usinas term nucleares. Porém, existem prós e contras sua utilização. Um ponto favorável é a produção em larga escala e com poucos recursos quando comparada a outras possibilidades. Um contrário é a quantidade de resíduos radioativos derivados deste processo.

Sintetizando a sequência didática elaborada no estudo em cinco momentos, tem-se: a) a questão social: crise hídrica; b) solução alternativa: energia nuclear; c) conteúdo a ser abordado: radioatividade; d) ferramenta tecnológica: usinas term nucleares; e) debate sobre a ferramenta tecnológica: “Usinas nucleares: mocinhas ou vilãs?”. Assim, neste processo, os estudantes

tiveram de desenvolver uma visão crítica, não simplista e nem ingênua, sobre o tema para uma tomada de decisão sobre o uso da energia nuclear.

Em outras palavras, o autor justifica que:

Este material está organizado de maneira a abordar inicialmente a questão problema (crise hídrica), seguido da abordagem histórica acerca do conteúdo Radioatividade. O texto histórico tem por objetivo situar os alunos temporalmente sobre o desenvolvimento desta área da Ciência e relacioná-los com aspectos sociais dominantes naquela época. A seguir, o conteúdo é desenvolvido, perpassando pelos pontos principais a serem debatidos sobre o conteúdo: fenômenos de estabilização do núcleo a partir de emissão de partículas e energia, tempo de meia-vida e radioisótopos, aplicações práticas da Radioatividade, benefícios e malefícios da mesma. Por fim, os aspectos sociais relacionados ao conteúdo, como os contextos de guerras mundiais e acidentes nucleares foram abordados (OLIVEIRA, 2016, p. 45-46).

Para coleta de dados, foram elaborados questionários com perguntas abertas e fechadas, usados como pré e pós-testes. A avaliação foi realizada por meio de uma prova discursiva, que englobou as questões trabalhadas. Além disso, um teatro na forma de júri simulado foi utilizado, estabelecendo um momento de debate e discussão sobre o tema.

Das conclusões do autor, destacam-se:

Além das avaliações formais, um teatro na forma de um júri simulado foi realizado com a turma, no qual os alunos eram responsáveis por tomar uma posição contra ou a favor da utilização da energia nuclear para produção de energia elétrica. Para isto, os educandos deveriam apresentar as características supracitadas, mostrando-se entendedor dos conteúdos científicos e suas implicações. Para a tomada de decisão, os alunos deveriam ter consciência dos riscos e benefícios. Esta atividade foi de extrema importância e muito bem aceita pelos alunos, uma vez que toda a turma participou da atividade e puderam desenvolver suas capacidades argumentativas, colocadas em prática na avaliação discursiva, realizada posteriormente ao teatro (OLIVEIRA, 2016, p. 72).

O autor menciona, ainda, que seu objetivo foi cumprido. No entanto, alerta sobre a forma de avaliação, pois, dentro desta metodologia, a avaliação e o processo devem estar em mesma concordância. Segundo ele, de nada adianta o processo ser conduzido de tal forma se a avaliação não o acompanhar. Os dois quesitos não podem se contrapor. O autor também ressalta que são pontos a serem considerados a disposição dos alunos para a aprendizagem e a abertura das escolas para outras metodologias.

O sétimo e último trabalho selecionado é de autoria de Suelen Pestana Cardoso, com a orientação da. Dra. Deise Miranda Vianna. O trabalho, que tem como título “Física das radiações: em enfoque CTS para alunos do Ensino Médio da área Industrial”, foi produzido no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro, em 2017. O estudo tem como objetivo a apresentação de uma proposta didática sobre Física das

Radiações e, como o título sugere, toma como subsidio teórico o enfoque CTS, aliando-se com os PCN. A proposta teve como *locus* de aplicação uma turma do curso técnico em Mecânica Industrial.

As razões para a realização do trabalho pautaram-se pelo fato de que os concluintes deste curso irão atuar em indústrias que, possivelmente, utilizam radiação em seus processos produtivos, algo concreto e cotidiano na indústria brasileira, e pela valorização do desenvolvimento, no aluno, de habilidades associadas à capacidade de argumentar. Desta maneira, a escolha de um enfoque CTS se sustenta por:

A escolha por tais referenciais justifica-se pela necessidade de desenvolver um ensino de Física que não seja meramente pautado na transmissão de informações, a partir da apresentação de fórmulas, descrições e leis. É preciso trabalhar a Física em sala de aula de maneira que o aluno seja capaz de fazer uso dos conceitos físicos em outros contextos, mostrando a eles a oportunidade de utilizar estas teorias científicas na resolução de problemas concretos, pertencentes ao seu cotidiano (CARDOSO, 2017, p. 22).

Procurando almejar os objetivos propostos, a autora desenvolveu uma proposta didática dividida em quatro blocos. No primeiro, a atividade consistiu na exibição de um documentário e uma mesa redonda sobre o Acidente Radiológico de Goiânia. No segundo bloco, foram abertas atividades investigativas sobre o tema e, a partir disso, abordadas questões sobre o conteúdo. No terceiro bloco, foram organizadas duas visitas técnicas a indústrias com atividades envolvendo o uso de radiação. No quarto bloco, foram realizadas aulas expositivas sobre aplicação industrial da Física das Radiações. Inicialmente, foi oferecida a leitura de uma notícia para articular a curiosidade nos estudantes e, na sequência, apresentados processos usados nas indústrias que utilizam a radiação, em especial, a técnica de gamagrafia.

A partir da análise da autora, a proposta atingiu os objetivos apontados, sendo as atividades investigativas uma opção válida em detrimento de uma abordagem tradicional. No entender da autora, foi possível verificar, a partir das gravações das falas dos estudantes, que as atividades desenvolvidas “promoveram uma maior interação entre os discentes e o professor; relações que foram enriquecidas pelos relatos de suas experiências individuais” (CARDOSO, 2017, p. 165). Além disso, foi possível perceber, de acordo com a autora, “uma construção do conhecimento fortemente baseada na observação, na análise do problema com suas causas e efeitos, formando uma base para argumentação e posicionamento crítico com relação a temas polêmicos envolvendo o uso de radiação na sociedade atual” (CARDOSO, 2017, p. 165).

Ao findar a apresentação dos estudos, mencionamos que eles apontam para uma preocupação em relação à inserção dos conteúdos de FN, especialmente, a radioatividade nos

currículos do Ensino Médio. Entre os aportes teóricos, o mais presente é o enfoque CTS. As discussões, de modo geral, evidenciam como as intervenções realizadas fornecem indicativos de sua pertinência em termos didáticos e de como conteúdo instiga a curiosidade, ampliando os conhecimentos dos estudantes em Física.

Todavia, foi possível identificar uma lacuna em termos de discussões envolvendo a formação de professores e a importância de abordar o conteúdo de FN, desde propostas didáticas que permitam sua utilização no futuro exercício profissional. Tal percepção embasa o presente estudo e passa a ser objeto de discussão dos próximos capítulos.

3 A CONTEXTUALIZAÇÃO COMO FERRAMENTA DIDÁTICA

Os estudos apresentados no capítulo anterior apontaram a carência de investigações junto a cursos de formação de professores, particularmente a discussão com esse público de propostas didáticas que permitam a sua utilização no EM. A partir disso, tomando como objetivo promover a contextualização da temática FN, o presente capítulo é direcionado a discussões sobre os entendimentos de contextualização e as razões que levam a tomá-la como referencial teórico do presente estudo.

3.1 Significado no ensino de Ciências

A contextualização dos conteúdos escolares é um dos princípios organizadores do currículo do Ensino Médio, de acordo com as Diretrizes Curriculares para o Ensino Médio – DCNEM (BRASIL, 1999). Em especial, no artigo 6, são identificados os princípios pedagógicos que orientaram a estrutura dos currículos nesse nível de escolarização. É apontada, além da contextualização, a necessidade de estruturar currículos e situações didáticas a partir da interdisciplinaridade, buscando promover a autonomia da aprendizagem. Todavia, é no artigo 9 do documento que a contextualização delineada:

Art. 9º Na observância da Contextualização as escolas terão presente que: I - na situação de ensino e aprendizagem, o conhecimento é transposto da situação em que foi criado, inventado ou produzido, e por causa desta transposição didática deve ser relacionado com a prática ou a experiência do aluno a fim de adquirir significado; II - a relação entre teoria e prática requer a concretização dos conteúdos curriculares em situações mais próximas e familiares do aluno, nas quais se incluem as do trabalho e do exercício da cidadania; III - a aplicação de conhecimentos constituídos na escola às situações da vida cotidiana e da experiência espontânea permite seu entendimento, crítica e revisão (BRASIL, 1999, p. 103).

Com relação específica à contextualização, percebemos que sua conceptualização se revela nevrálgica e imbuída de diferentes entendimentos, especialmente, quando se trata de entendê-la a partir das pesquisas nacionais. Neste sentido, é importante conhecer essas distintas interpretações, sobretudo, em se tratando do ensino de Ciências e, com isso, poder localizar a perspectiva sob a qual o presente trabalho se assenta.

Iniciamos pela discussão da palavra “contextualização”, que deriva de “contexto” e tem origem do latim *contextu*. Nessa perspectiva, ela significa “ação ou resultado de contextualizar, colocando em uma circunstância particular, ou ainda, a vinculação do conhecimento com a sua origem ou aplicação” (AULETE; GEIGER, 2011). De outra forma, Bueno (1996) aponta como

uma conexão de ideias de um texto, isto é, a ligação de diferentes partes de um todo entre si. Dentro da Gramática associada à Língua Portuguesa, tem-se que contextualizar pode ser entendido como o enquadramento sintagmático de um argumento e/ou de um discurso, sendo que o sentido do conteúdo se altera com a alternância dos elementos contidos nele.

Os significados semântico e lexical da palavra fornecem uma ideia sobre a utilização do termo, mas não proporcionam indicativos sobre a concepção e entendimento apreendido a eles no campo da Educação em Ciências e aspectos estruturantes dos currículos ou referencial metodológico no caso de propostas didáticas. Dessa forma, destacamos que a contextualização representa uma ação ligada a “contexto”, que ganha significados diversos, dependendo das aproximações teóricas realizadas. Tal diversidade, identificada como característica polissêmica, não representa um demérito para sua compreensão, mas, sim, significa que o termo carece de discussões e esclarecimentos que permitam compreendê-lo dentro de um processo permeado de intencionalidades e concepções pedagógicas.

Além disso, contextualizar, no sentido de construir significados dos conhecimentos científicos, acaba por ter diferentes interpretações, dependendo dos aspectos que estão associados à ação. Rego (2015), ciente disso, menciona que o contexto está associado a aspectos de diferentes naturezas, podendo ser analisado a partir de distintas perspectivas. Para elucidar essas diferenças, o autor estruturou, a partir de trabalhos apresentados no XIII Science Education Research For Evidence-based Teaching and Coherence in Learning – ESERA, realizado em 2013³, uma classificação com o objetivo de esclarecer as perspectivas presentes no contexto educacional. Assim, tais perspectivas e seus aportes teóricos, que têm impacto no ensino de Ciências, são descritos na continuidade tomando-se por referência o estudo de Rego (2015).

A primeira perspectiva apontada foi a epistemológica, na qual Rego (2015), apoiando-se em Adúriz-Bravo (2013), identifica três possibilidades apontadas em distintos trabalhos. A primeira, uma ideia neopositivista, entende o contexto como um quadro que proporciona sentido epistemológico a alguns pontos da atividade científica. Neste sentido, o contexto é visto como um palco onde diversos processos científicos ocorrem. Consequentemente, esta ideia concebe que estas atividades carregam objetivos e valores plurais. Contudo, a síntese do processo culmina em um objetivo comum: conhecer o mundo natural. Trazendo para o âmbito escolar, no ensino de Ciências, diante da existência de diversos contextos epistêmicos, a Ciência pode ganhar uma ideia de atividade que “identifica e separa seus vários objetivos, dando uma

³ Disponível em: <<https://bit.ly/2OcnBfl>>. Acesso em: 23 abr. 2018.

personalidade própria ao que Izquierdo-Aymerich e Adúriz-Bravo (2003) chamam de atividade da ciência escolar” (REGO, 2015, p. 28).

A segunda ideia, de característica pós-positivista, consiste na dinâmica da visão teórica de um indivíduo. Esta visão é modelada, limitada e condicionada por diversos fatores exercidos no indivíduo. Assim, a atividade de um cientista é comparável à de um professor, visto que ambos são produções de indivíduos influenciados por estes fatores.

Na terceira e última ideia, com rosto antipositivista, são levadas em conta, em maior proporção, as visões historicistas e externalistas. Com isso, os frutos da ciência são analisados considerando a influência do contexto sobre eles. Assim, podemos entender que, nesta abordagem, também são analisadas as justificativas teóricas, a linguagem, a formulação e o teste.

Para a perspectiva cultural, Rego (2015), inicialmente, tece uma definição para cultura, apoiado em Geertz (1989) e Cobern e Aikenhead (1998). Esta definição assume a característica de um conjunto de significados e símbolos em torno da interação social, a qual tem origem no próprio indivíduo. Desta maneira, a Ciência seria uma subcultura por apresentar as mesmas características mencionadas anteriormente e por ser específica. Um exemplo disso é a academia onde os indivíduos compartilham de significados e símbolos. Cobern e Aikenhead ainda defendem que a Ciência escolar tem como um dos objetivos a transmissão desta subcultura.

Nas palavras de Rego (2015, p. 30):

Cobern e Aikenhead (1998) afirmam em seu trabalho que transmitir uma subcultura científica para estudantes pode ser favorável ou prejudicial. Se a subcultura da ciência de um modo geral está em harmonia com a cultura cotidiana do(a) aluno(a), o ensino de ciências tenderá a apoiar a visão do(a) aluno(a) sobre o mundo, e o resultado é a enculturação. Quando a enculturação ocorre, o pensamento científico reforça o pensamento cotidiano de uma pessoa. Mas se a subcultura da ciência está, de um modo geral, em desacordo com o mundo cotidiano do(a) aluno(a), o ensino de ciências tenderá a perturbar a sua visão de mundo, forçando-o a abandonar ou marginalizar seu modo inicial do saber e reconstruir em seu lugar uma nova forma (científica) de saber. O resultado é o que os autores chamam de assimilação, que tem uma conotação altamente negativa por conta de reflexões que envolvem noções de ideologia e hegemonia. Quando a assimilação ocorre, o pensamento científico domina o pensamento cotidiano de uma pessoa.

Dessa maneira, Rego (2015), a partir das definições apresentadas, reforça que o ensino de Ciências tem a propriedade de ser intercultural, uma vez que se envolve com a lida de diversas culturas e tem como objetivo a aproximação delas. O que está em sintonia com o apontado por Cobern e Aikenhead, ao defenderem que o cruzamento desta fronteira representa um elemento importante para a aprendizagem, são: as instruções dirigidas a um estudante; as

subculturas que envolvem o âmbito dele; os limites geográficos; e as subculturas da própria Ciência e Ciência escolar.

Para a perspectiva pedagógica, Rego (2015) faz uso de Gilbert (2006), pautando-se na discussão de *fazer o conhecimento científico fazer sentido*, tendo referências no construtivismo, na aprendizagem situada e no sociointeracionismo. Em resumo, as ideias defendidas são: o envolvimento ativo do aluno; o respeito às ideias; a consideração pelo conhecimento já existente do estudante; a visão da Ciência como construção humana; a interação professor-estudante; e a transição do conhecimento perante diferentes situações.

Ainda, o autor traz, conjuntamente, Espinet (2013), que faz uso das ideias de Gilbert (2006) e sugere um novo arranjo, que resulta, assim, em um novo modelo. Este modelo proposto por Espinet (2013) constrói relações com os de contexto estruturados e as perspectivas de aprendizagem mencionadas anteriormente. O produto disso é um modelo que leva em consideração, bem nítida, o contexto, as suas complexidades e as diversidades do ensino.

A última perspectiva apresentada pelo autor é a discursiva. E ele traz, especificamente, Martins (2013) com diversos autores para construir a sua abordagem. A primeira ideia levantada é a interdependência do texto e o contexto, pois existe uma mobilização da concepção de contexto quando se trata da análise das formas verbais e as práticas sociais. Rego (2015, p. 35) lembra de Malinowski ao defender a importância da “(i) da descrição das características espaço-temporais de situações de uso da linguagem e (ii) do conhecimento sobre as relações entre os participantes e sobre o caráter da história da cultura das situações”. Ainda que o autor utilize outros teóricos, a concepção do contexto sempre fica voltada ao indivíduo e suas relações, e isto torna a concepção instável.

Diante do exposto, percebe-se que nenhuma das abordagens admite a independência ou a autonomia do significado sobre o contexto. Ao ler um texto, há um conjunto de relações (sociais) que influenciam na repercussão de certos significados, por serem capazes de construir uma realidade com um poder maior do que outros significados (REGO, 2015, p. 36).

3.2 Diálogo com autores nacionais

A partir das perspectivas apontadas, buscamos, na literatura nacional, autores que tenham discutido a temática “contextualização e ensino de Ciências”, identificando os trabalhos que assumem relevância nesse contexto. Como primeiro autor e um dos mais referenciados nas pesquisas em ensino de Ciências no Brasil, está Elio Ricardo, pesquisador e professor da Faculdade de Educação na Universidade de São Paulo. Ricardo tornou-se referência nos estudos

sobre contextualização a partir de sua tese de doutorado, concluída no ano de 2005, na qual discutiu o significado desse termo, assim como os de competência e interdisciplinaridade junto às Diretrizes Nacionais para o Ensino Médio - DCNEM e aos Parâmetros Curriculares Nacionais – PCN em suas duas versões 2000 e 2002 (PCN+). O foco do trabalho estava em identificar as compreensões e concepções apreendida nesses documentos, especialmente, nos volumes destinados à área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias. No trabalho, o autor destaca que buscou realizar

uma análise crítica sobre as noções de competências, interdisciplinaridade e contextualização presentes nas Diretrizes Curriculares Nacionais para o ensino médio e nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN e PCN+), além de outros pressupostos contidos nesses documentos. Busca aprofundar esse entendimento a partir de entrevistas semiestruturadas realizadas com os autores dos Parâmetros Curriculares, a fim de resgatar suas intenções e expectativas no contexto de elaboração dos PCN e dos PCN+. Foram entrevistados também os formadores dos futuros professores de biologia, física, matemática e química de três instituições públicas de ensino superior, a respeito de suas opiniões e compreensões acerca daqueles documentos, bem como a forma como estão sendo trabalhados na formação inicial (RICARDO, 2005, p. 5).

Em termos específicos da contextualização, o autor aponta que, nos PCN, ela aparece ligada a uma aprendizagem que tenha relevância para o estudante, isto é, uma aprendizagem onde o aluno consiga relacionar o seu conhecimento dentro e fora da escola. Em outras palavras, a contextualização aparece como possibilidade para promover uma aprendizagem que seja significativa e que possa romper a distância tradicionalmente presente entre os conteúdos e o cotidiano do aluno.

Nas DCNEM, por sua vez, Ricardo (2005) infere que a contextualização é identificada como um modo de ampliar a interação entre disciplinas e áreas e, também, criar uma correspondência entre os elementos envolvidos (sujeito e objeto) com o conhecimento. O autor considera, ainda, que, nesse documento, o conhecimento da escola é reconhecido como aquele que sofreu uma transposição didática. Portanto, a linguagem tem um papel indispensável e precisa estar próxima do aluno. Sobre isso, o autor assinala que existe uma preocupação epistemológica referente à contextualização e que a noção sobre a transposição didática não está bem clara. Ricardo tece críticas que acabaram resultando na estruturação pelo governo federal de novo documento denominado “Orientações Curriculares para o Ensino Médio”, publicado em 2006, em que a noção de transposição didática foi esclarecida e tornou-se referência para orientar a aplicação do apreendido nos PCN.

Retomando e analisando os dois documentos investigados por Ricardo (2005), percebe-se que as DCNEM indicam que, ao aproximar os conteúdos do contexto em que estão inseridos,

torna-se pertinente dar relevância ao que se pretende ensinar. Essa contextualização ou contexto, como o autor infere, no caso das Ciências da Natureza e suas Tecnologias, pode ocorrer no sentido de aproximar os conteúdos do trabalho, da saúde, do corpo, do meio ambiente e da cidadania. Afirmam as DCNEM:

Se bem trabalhado permite que, ao longo da transposição didática, o conteúdo do ensino provoque aprendizagens significativas que mobilizem o aluno e estabeleçam entre ele e o objeto do conhecimento uma relação de reciprocidade. A contextualização evoca por isso áreas, âmbitos ou dimensões presentes na vida pessoal, social e cultural, e mobiliza competências cognitivas já adquiridas (BRASIL, 2000, p. 78).

Ricardo (2005) destaca, ainda, que o contexto do trabalho é aquele que mais se sobressai, ganhando um enfoque especial durante todo o discurso presente no documento. Ancoradas pela Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDBEN), Lei nº 9.394/1996, as DCNEM afirmam de forma especial que o trabalho é o contexto mais significativo a ser explorado nesse nível de escolarização, o que pode ser visualizado na passagem destacada a seguir:

O significado desse destaque deve ser devidamente considerado: na medida em que o Ensino Médio é parte integrante da Educação Básica e que o trabalho é princípio organizador do currículo, muda inteiramente a noção tradicional de educação geral acadêmica ou, melhor dito, academicista. O trabalho já não é mais limitado ao ensino profissionalizante. Muito ao contrário, a lei reconhece que, nas sociedades contemporâneas, todos, independentemente de sua origem ou destino sócio profissional, devem ser educados na perspectiva do trabalho enquanto uma das principais atividades humanas, enquanto campo de preparação para escolhas profissionais futuras, enquanto espaço de exercício de cidadania, enquanto processo de produção de bens, serviços e conhecimentos com as tarefas laborais que lhes são próprias (BRASIL, 2000, p. 79).

Em segundo lugar, o autor afirma estar o contexto da cidadania, como realçado no documento. Nas palavras de Ricardo (2005, p. 28):

O exercício da cidadania é considerado outro contexto relevante, que deverá permear todo o currículo e articular-se às práticas sociais, culturais e políticas, além do cotidiano, da vida pessoal e da convivência. Isso envolve também o desenvolvimento de projetos que contemplem aspectos técnicos, políticos e éticos. O ambiente das relações sociais, da informação, da comunicação de massa e científico, segundo as DCNEM, teria que ser priorizado e o cotidiano é apontado como o meio privilegiado para dar significado ao que se pretende ensinar.

Por outro lado, é importante destacar que as DCNEM também alertam para o cuidado em não fazer uso equivocado da contextualização:

[...] é possível generalizar a contextualização como recurso para tornar a aprendizagem significativa ao associá-la com experiências da vida cotidiana ou com os conhecimentos adquiridos espontaneamente. É preciso, no entanto, cuidar para que essa generalização não induza à banalização, com o risco de perder o essencial da aprendizagem escolar que é seu caráter sistemática, consciente e deliberado. Em outras palavras: contextualizar os conteúdos escolares não é liberá-los do plano abstrato da transposição didática para aprisioná-los no espontaneísmo e na cotidianidade (BRASIL, 2000, p. 81).

Com relação aos PCN, por sua vez, e referindo-se particularmente à área das Ciências da Natureza e suas Tecnologias, Ricardo (2005) relata que a proposta enfatizada é a interdisciplinaridade, não se opondo, no entanto, à disciplinaridade dos conteúdos. Neste caso e ao buscar desenvolver competências e habilidades, a indicação do texto é desenvolver uma organização dos currículos a fim de privilegiar um processo de ensino-aprendizagem contextualizado. Isso é inferido a partir da menção de que o conhecimento científico faz parte do cotidiano da sociedade e, por consequência, deve ser ensinado de modo a aproximar o mundo teórico dos livros com o mundo cotidiano e extremamente prático dos estudantes. O foco, neste caso, é que os conhecimentos passam a subsidiar as demandas da vida de cada sujeito, e fornecem a ele condições para buscar solução aos problemas de seu entorno. Além disso, o texto identifica que esse conhecimento deve fornecer um potencial para fomentar o desenvolvimento de conhecimentos mais ricos, abrangentes e abstratos.

Ricardo (2005) discorre, ainda, sobre o texto alusivo à área da Física, onde a direção apontada pelos PCN é um ensino no qual exista a superação do tradicional (automatização e memorização) pela formação de uma cultura científica. Desta maneira, aponta para a necessidade de um redimensionamento no ensino da Física de modo a torná-lo mais relevante, mais significativo e menos dogmático.

Nos PCN+ (BRASIL, 2002), a contextualização está associada à interdisciplinaridade, que assume o protagonismo. No documento, há intencionalidade de que a contextualização deve vir acompanhada de uma interdisciplinaridade de modo a promover competências e habilidades, o que está mais claro do que nos textos anteriores e o torna mais orientativo para a estruturação de práticas pedagógicas. A organização pedagógica das disciplinas seria de cunho interdisciplinar, articulando o trabalho para o progresso das competências. Além disso, o texto aponta para dois aspectos considerados importantes para que a interdisciplinaridade possa ser considerada nas propostas didáticas e currículos: o primeiro é o de que ela é dependente do contexto, remetendo que interdisciplinaridade e contextualização caminhem juntas; o outro atribui uma ligação com a coletividade, isto é, a relação entre disciplinas e um objetivo que possuem em comum (RICARDO, 2005).

Na continuidade de seu trabalho, o autor tece algumas considerações sobre a contextualização, a indicando como uma área “nebulosa” e em escassez na literatura. Por consequência, aponta que há uma deformação no uso e compreensão do termo. Exemplifica mencionando a oscilação no entendimento da contextualização presente nas DCNEM. Nas palavras de Ricardo (2005, p. 213):

Uma das fontes de equívoco talvez sejam as próprias DCNEM, ao afirmarem que ‘é possível generalizar a contextualização como recurso para tornar a aprendizagem significativa ao associá-la com experiências da vida cotidiana ou com os conhecimentos adquiridos espontaneamente’ (BRASIL, 1999a, p. 94). Na sequência, as Diretrizes Curriculares recorrem a Vygotsky [...], para evitar a falsa impressão de que a passagem do senso comum ao conhecimento elaborado é linear. Entretanto, há pouca explicação sobre isso e tal ausência leva a compreensões simplificadas da contextualização ou mesmo a críticas, compreendendo-a como simples ilustração ou mera motivação para iniciar o estudo de um assunto.

Por fim, o que se tem do que foi apresentado por Ricardo (2005) é que a contextualização se revelou sombria e pouco profunda nos documentos analisados, carecendo de mais estudos e aprofundamento para a constituição de um referencial teórico consensual entre os pesquisadores. Entretanto, sua importância não é questionada, como exemplificado por Santos (2007) ao analisar a primeira versão dos PCN. Para o autor, há uma recomendação específica para cada área do conhecimento, mas em todas está inclusa a necessidade de contextualizar. Segue ele mencionando que a relação do conhecimento científico com o cotidiano do estudante, muitas vezes, não está presente nas práticas pedagógicas, o que resulta em um ensino dogmático, baseado na memorização e algorítmica. Na ânsia de melhorar isso, muitos professores têm recorrido ao conceito de contextualização. Entretanto, alguns o fazem de forma equivocada.

Nas palavras do autor:

Muitos professores consideram o princípio da contextualização como sinônimo de abordagem de situações do cotidiano, no sentido de descrever, nominalmente, o fenômeno com a linguagem científica. Essa abordagem é desenvolvida, em geral, sem explorar as dimensões sociais nas quais os fenômenos estão inseridos. Assim, se ensina nomes científicos de agentes infecciosos e processos de desenvolvimento das doenças, mas não se reflete sobre as condições sociais que determinam a existência de muitos desses agentes em determinadas comunidades (SANTOS, 2007, p. 4).

A explicação leva a entender que, muitas vezes, os professores têm se restringido a realizar associação simplista, com meras citações de algo presente na vida cotidiana dos estudantes e denominam isso de ensino contextualizado. Esta ação pode ser encarada como uma máscara que encoberta a continuidade de um ensino tradicional, permeado de fórmulas,

nomenclaturas e conteúdos com pouco significado para os alunos, como mencionado anteriormente.

No entender de Santos (2007, p. 5):

Compreender as diferentes funções da abordagem de aspectos sociocientíficos permite uma compreensão de que formar cidadãos não se limita a nomear cientificamente fenômenos e materiais do cotidiano ou explicar princípios científicos e tecnológicos do funcionamento de artefatos do dia-a-dia. Assim, a contextualização pode ser vista com os seguintes objetivos: 1) desenvolver atitudes e valores em uma perspectiva humanística diante das questões sociais relativas à ciência e à tecnologia; 2) auxiliar na aprendizagem de conceitos científicos e de aspectos relativos à natureza da ciência; e 3) encorajar os alunos a relacionar suas experiências escolares em ciências com problemas do cotidiano.

Fica nítido que, na compreensão do autor, o uso de episódios cotidianos deve ocorrer no sentido de formular situações problematizadoras e, com isso, instigar nos alunos a curiosidade e o desejo pelo conhecimento. Isso se choca com a visão de que contextualizar significa ilustrar e que isso pode ser feito ao final da atividade. Ao iniciar por uma situação-problema que está ligada ao mundo vivencial, fica claro que o objetivo do ensino é abordar conhecimentos que possam subsidiar a busca por solução a problemas. Isso acaba em fornecer conhecimentos mais próximos das necessidades dos alunos e também favorece que aprendam a resolver problemas.

Sobre a necessidade apontada por Santos (2007) de que contextualizar no ensino envolve discutir questões sociais, dentro de um ensino que envolve os problemas da comunidade, tem-se que:

[...] a contextualização no currículo poderá ser constituída por meio da abordagem de temas sociais e situações reais de forma dinamicamente articulada que possibilite a discussão, transversalmente aos conteúdos e aos conceitos científicos, de aspectos sociocientíficos concernentes a questões ambientais, econômicas, sociais, políticas, culturais e éticas (SANTOS, 2007, p. 6).

Do exposto, verificamos que, para Santos (2007), a contextualização está relacionada a apresentar situações-problema vinculadas ao entorno social dos alunos e para as quais devem buscar soluções. Nesta concepção, o autor mostra que o objetivo de contextualizar é responder a problemas, não ilustrar conceitos.

Disso, identifica-se haver discussões e possibilidades em torno do que é contextualizar. De um lado, Ricardo (2005) mostra que, de acordo com as DCNEM e os PCN 2000 e 2002, contextualizar significa realizar interdisciplinaridade e que ela se aproxima de uma visão de coletividade, a partir da qual busca-se que disciplinas caminhem para um objetivo comum. Já no entender de Santos (2007), a contextualização deve ser orientada a problemas sociais e

inserida na prática pedagógica a partir da apresentação e de situações-problemas presentes no mundo vivencial dos estudantes.

Tais compressões podem ser complementadas por trabalhos como os desenvolvidos por Lopes, Gomes e Lima (2003), que abordam a noção de contextualização tal como é mencionada nos documentos que orientam a educação nacional, remetendo a uma recontextualização. Baseando-se em Basil Bernstein, os autores relatam que, entre os textos oficiais produzidos e os textos referenciais, existe uma recontextualização, isto é, a transferência de um contexto a outro. Dentro do processo da recontextualização, existe a descontextualização, oriunda da seleção dos textos pelo autor e de seu próprio contexto, e o desfecho disso é um texto com um reposicionamento e uma refocalização. Ou seja, “[...] o texto é simplificado, condensado e reelaborado, em meio aos conflitos entre os diferentes interesses que estruturam o campo de recontextualização” (LOPES; GOMES; LIMA, 2003, p. 48).

Os autores ainda ressaltam que o processo de recontextualização pode se constituir num ponto de atuação ideológica e, desta maneira, na formação de um princípio recontextualizador, isto é, na construção e apropriação de outros discursos. Este princípio recontextualizador tem capacidade de marcar e alterar todo o discurso instrucional (o saber a ser ensinado nas escolas), bem como toda a produção pedagógica. Desta forma, por consequência, a contextualização é identificada como um dos elementos participantes deste princípio.

A partir disto tudo, Lopes, Gomes e Lima (2003, p. 63) avaliam que:

Como foi analisado, a concepção de contexto dos PCNEM é decorrente da recontextualização de concepções decorrentes da valorização do cotidiano, dos saberes populares e das experiências dos alunos, associadas ao pensamento de Dewey, à perspectiva crítica de currículo e às perspectivas mais contemporâneas da pesquisa em ensino de Ciências. Dessa forma recontextualizada a finalidade conferida à contextualização é a de atuar como princípio integrador. Como podemos concluir, porém, pela análise dos diferentes contextos nos documentos disciplinares, a contextualização mostra-se diversificada e fragmentada. Cada disciplina é apresentada com aspectos contextuais que reforçam sua estrutura como tal. Ainda que possam contribuir para a valorização das relações do conhecimento escolar com a vida dos alunos, pouco contribuem para uma interpretação mais integrada do conhecimento.

Esse posicionamento dos autores remete a outros que, igualmente, proporcionam reflexões para compreender o entendimento de contextualização, especialmente, a partir de sua aparição como elemento norteador nas DCNEM e nos PCN. Esse é o caso do trabalho de Wartha e Faljoni-Alário (2005), que partem da ideia de que se faz necessária, para a formação de um sujeito analítico e presente nas tomadas de decisões, uma abordagem dos conhecimentos escolares que esteja associada com a sua construção e transformação com o passar do tempo.

Para isso os autores analisaram como é apresentada a contextualização nos livros de Química e buscaram identificar as concepções acerca da contextualização.

A partir disso, a concepção dos autores para a contextualização é:

[...] significa incorporar vivências concretas e diversificadas, e também incorporar o aprendizado em novas vivências. Contextualizar é uma postura frente ao ensino o tempo todo, não é exemplificar. É assumir que todo conhecimento envolve uma relação entre sujeito e objeto. Contextualizar é construir significados e significados não são neutros, incorporam valores porque explicitam o cotidiano, constroem compreensão de problemas do entorno social e cultural, ou facilitam viver o processo da descoberta. Buscar o significado do conhecimento a partir de contextos do mundo ou da sociedade em geral é levar o aluno a compreender a relevância e aplicar o conhecimento para entender os fatos, tendências, fenômenos, processos que o cercam. Contextualizar o conhecimento no seu próprio processo de produção é criar condições para que o aluno experimente a curiosidade, o encantamento da descoberta e a satisfação de construir o conhecimento com autonomia, construir uma visão de mundo e um projeto com identidade própria (WARTHA; FALJONI-ALÁRIO, 2005, p. 43-44).

Neste trabalho realizado pelos pesquisadores, fora identificado que, nos livros didáticos de Química, a contextualização se faz de forma rasa, segundo suas palavras. Essa conclusão é algo próximo ao que Santos (2007) havia feito referência em termos de sua percepção sobre a prática pedagógica de muitos professores da área de Ciências.

Wartha e Faljoni-Alário (2005) identificaram que, nos livros didáticos de Química, há uma significativa variedade no uso de termos e expressões para contextualizar o conteúdo. Sobre isso, os autores apontam que:

O que deveria servir de base para a contextualização do conhecimento químico assume apenas função ilustrativa, da curiosidade, da informação jornalística, da mera citação da aplicação tecnológica de determinados princípios ou ainda da simples compreensão dos conceitos químicos relacionados aos temas, sem uma discussão crítica das suas implicações sociais (WARTHA; FALJONI-ALÁRIO, 2005, p. 46).

Frente a esse contexto, os autores indicam que, para um efetivo uso da contextualização, devemos utilizar uma abordagem que contemple temas sociais, compreendendo as dimensões do conhecimento científico e os aspectos sociais, corroborando o defendido por Santos (2007). Além disso, a investigação indicou a existência de diferentes pareceres acerca da contextualização, em específico, nos livros didáticos de Química. No entender dos autores, há, nessas obras, uma inclinação a compreender a contextualização como a descrição de fatos e como estratégia de ensino e aprendizagem (WARTHA; FALJONI-ALÁRIO, 2005).

Por fim, apresentamos o entendimento de contextualização na BNCC para o Ensino Médio, publicada em 2018 pelo Ministério da Educação (MEC). Esse documento tem o intuito

de normatizar e orientar os rumos da Educação Básica no país e, com isso, nortear a elaboração dos currículos presentes nas escolas. Já nas primeiras páginas do texto, identificamos que o tema contextualização assume relevância ao identificar que, entre os aspectos orientadores para elaboração dos currículos, está o de “introduzir à concepção do conhecimento curricular contextualizado pela realidade social e individual da escola e do seu alunado (BRASIL, 2018, p. 11). Na sequência o texto retoma o conceito de contextualização apresentado na DCN, e enfatiza a importância de que os currículos envolvam a realidade de cada comunidade na qual os alunos estão imersos. Nesse sentido, entende-se que os currículos, a partir do envolvimento das famílias e comunidade, devem possibilitar ações voltadas a “contextualizar os conteúdos dos componentes curriculares, identificando estratégias para apresentá-los, representá-los, exemplificá-los, conectá-los e torná-los significativos, com base na realidade do lugar e do tempo nos quais as aprendizagens estão situadas” (p. 16).

Na especificação de cada componente curricular, a contextualização assume relevância e é destacada como uma prática que necessita ser contemplada no Ensino Médio. Na área de Ciências da Natureza e suas tecnologias, temos expresso, já em seu primeiro parágrafo, que a área “deve contribuir com a construção de uma base de conhecimentos contextualizada, que prepare os estudantes para fazer julgamentos, tomar iniciativas, elaborar argumentos e apresentar proposições alternativas, bem como fazer uso criterioso de diversas tecnologias” (p. 537).

Assim, a leitura do documento converge, novamente, com Ricardo (2005), quando o autor “propõe a superação da fragmentação radicalmente disciplinar do conhecimento” (p. 15), trazendo a interdisciplinaridade. Também, é relacionada a Santos (2007), quando o pesquisador fala sobre o “estímulo à sua aplicação na vida real, a importância do contexto para dar sentido ao que se aprende e o protagonismo do estudante em sua aprendizagem e na construção de seu projeto de vida” (p. 15), envolvendo as questões sociais como situação-problema.

3.3 Entendimento no estudo

Após realizar a incursão por diferentes estudos que mostram que o tema contextualização se revela presente nos documentos que regem a educação nacional, sob diferente enfoques e concepções, salientamos que o presente estudo busca estruturar uma proposta didática que contemple o entendimento de que contextualizar significa integrar disciplinas na busca pela compreensão do mundo vivencial. Seu objetivo se concentra em favorecer a aprendizagem, tornar os conteúdos mais significativos, despertar a curiosidade e o

gosto pela Ciência e enaltecer a importância de um processo educacional que promova a alfabetização científica dos estudantes. Tal apontamento está baseado nas discussões presentes nas DCNEM e nos PCN, versões 2000 e 2002, e reforçadas pela BNCC.

Do exposto, destacamos que contextualizar aproximando o conteúdo do mundo vivencial não pode ser limitado às situações sociais e próximas fisicamente dos sujeitos, mas deve se estender a questões que favoreçam a compreensão do mundo, como é o caso da Astronomia. Os acontecimentos do mundo remoto fazem parte da vida dos indivíduos e, por vezes, são extremamente instigantes e necessários de serem discutidos e servirem de referência para embasar propostas didáticas. Pensando nisso, podemos fazer um paralelo da Astronomia com a ficção científica, por exemplo, pois as duas áreas têm temas que despertam a curiosidade, trazendo dimensões para serem exploradas no abstrato, na imaginação e na extrapolação. Piassi (2007, p. 142, grifos do autor) defende o uso de livros de ficção científica para o ensino de Ciências, mencionando que:

Dessa forma, um dos critérios para considerar uma obra de ficção científica como de elevada qualidade é verificar em que medida ela inova ao lançar luzes sobre as questões que afetam nosso modo de vida, questões essas, pelo próprio caráter do gênero, vinculadas à ciência e à tecnologia. Tais obras acabam por se tornar uma referência simbólica, repercutindo em diversos âmbitos da cultura humana. Exemplos de obras deste tipo poderiam ser, entre outras, **A máquina do tempo** de H. G. Wells, **Admirável Mundo Novo**, de Aldous Huxley, **Eu, Robô** de Isaac Asimov e **2001: Uma Odisseia no espaço**, o filme de Stanley Kubrick. Cada uma a seu modo, todas elas produziram questionamentos e repercussões ao estabelecerem novos modos de pensar sobre determinadas questões. Por conta disso, são obras que deveriam, de alguma forma, fazer parte da cultura escolar, particularmente nas disciplinas científicas.

Outro aspecto a ser considerado no entendimento desse estudo é que os conteúdos precisam instigar os alunos na busca pelo conhecimento. Nesse caso, mais uma vez, a Astronomia tem servido de referência, como mostra Langhi (2004, p. 86):

Uma primeira justificativa para o ensino da Astronomia é que ela por si só provoca curiosidades nas crianças, e as pessoas, de modo geral, gostam do assunto. Os próprios alunos chegam a sugerir tópicos de Astronomia para suas aulas, quando questionados a respeito do que desejam estudar em Ciências (OSTERMANN; MOREIRA, 1999). Por isso, Tignanelli (1998) mostra que a Astronomia é um ‘motor poderoso o suficiente para permitir ao docente [...] aproveitar a sua curiosidade por essa ciência para não somente desenvolver conceitos básicos, mas favorecer o desenvolvimento de outros pertencentes a diferentes disciplinas’. Conforme Fraknoi (1995), filmes classificados como sendo de ficção científica que mostram mundos estranhos, alienígenas canibais e naves espaciais explodindo, provocam perguntas nas mentes das crianças sobre o Universo, aguçando sua curiosidade. Com o avanço tecnológico, um número cada vez maior de novas descobertas astronômicas, propagadas pela mídia, levanta questões que até mesmo os adultos alfabetizados não sabem responder.

Em termos da alfabetização científica, mencionamos que a contextualização é favorecedora desse processo à medida que oportuniza visualizar os conhecimentos discutidos em situações reais e que necessitam de interpretação e aplicação desses saberes. Apesar de o tema alfabetização científica ser outro aspecto nebuloso e diversificado na literatura, entendemos que a compreensão dada por esse estudo é a de que a alfabetização representa um “processo que permite o estabelecimento de conexões entre o mundo em que a pessoa vive e a palavra escrita; e de tais conexões nascem os significados e as construções de saberes” (SASSERON; CARVALHO, 2016, p. 61).

Nessa perspectiva, alfabetizar cientificamente está relacionado a um processo que parte da linguagem, da experiência de vida dos sujeitos e remete às suas capacidades de ler, compreender e discutir assuntos de caráter científico. No caso do presente estudo, conhecer a forma como o universo foi se constituindo - pelo menos, na forma como o concebemos hoje -, a nomenclatura e os fenômenos associados à FN e se apropriar da linguagem e de conhecimentos da área podem permitir que os sujeitos se sintam capacitados para lerem uma notícia ou efetuarem escolhas conscientes em relação ao tema. Esse é o desejo de um processo educacional voltado à formação de cidadãos comprometidos consigo mesmos e com o mundo em que vivem.

Para finalizar, destacamos que esses aspectos foram basilares na estruturação do produto educacional coadjuvante desta dissertação, cujas apresentação e aplicação junto a um curso de formação de professores de Física serão debatidas na sequência.

4 ELABORAÇÃO E APLICAÇÃO DO MATERIAL DIDÁTICO

Este capítulo empenha-se em descrever o material didático elaborado para o estudo e que caracteriza o produto educacional que acompanha essa dissertação, bem como descreve a forma como ele foi operacionalizado junto a um grupo de futuros professores de Física.

4.1 Material didático: o Calendário Cósmico como referencial

O material didático elaborado para o estudo parte da problemática apresentada na introdução deste estudo, vinculada à falta de materiais instrucionais e da importância da contextualização como elemento didático. Além disso, apoia-se no que fora mencionado no fim da apresentação dos estudos relacionados, que identificaram a ausência de propostas didáticas para cursos de formação de professores. Tais elementos justificam e orientam a estruturação do material elaborado, que tem a pretensão de subsidiar a ação didática de professores que atuam no Ensino Médio. O material didático que representa o produto educacional está disponibilizado em formato digital (arquivo pdf), para acesso livre, no site do Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade de Passo Fundo, bem como no eduCapes - portal de objetos educacionais abertos. O endereço de acesso do material é <<http://educapes.capes.gov.br/handle/capes/432903>>.

O texto que integra o material de apoio para professores do Ensino Médio toma como inspiração o uso do Calendário Cósmico (CC) na forma como descrito por Carl Sagan (1934-1996), no livro *Os Dragões do Éden*, e, posteriormente, apresentado na série televisiva *Cosmo*, exibida na década de 1980. O CC tem a concepção inicial de representar a idade do Universo, em sua totalidade, na forma de um calendário. Essa é uma tentativa didática de abordar o Universo dentro de uma escala de uso cotidiano.

O ponto de partida é o calendário Gregoriano e, assim, a idade do Universo fica estruturada em 12 meses, com 365 dias. Ou seja, cerca de 13,8 bilhões de anos ficam divididos em 12 partes. Dentro desta escala, o mês possui aproximadamente 1,2 bilhões de anos, o dia em torno de 40 milhões de anos e um segundo de tempo é equivalente a 500 anos. Nessa abordagem, toda a produção de conhecimento que o ser humano produziu até os dias atuais aconteceu em um segundo. O calendário tem início em primeiro de janeiro, com o *Big Bang*, e termina em 31 de dezembro, o que corresponde à atualidade.

Dentro dessa escala, no dia primeiro de janeiro, à zero hora, ocorre o *Big Bang* e, com isso, o Universo surge a partir de uma grande expansão. As primeiras estrelas aparecem quase

no término da segunda semana de janeiro e a Via Láctea começa a se formar na última semana do mesmo mês, tomando a forma final em meados de maio. Na primeira semana de setembro o Sistema Solar é formado, e na semana seguinte a Terra. A vida começa no primeiro dia de outubro. Os dinossauros aparecem e são extintos na mesma semana, a última de dezembro. A aparição do homem fica reservada para o dia de 31 de dezembro, em torno das 21 horas. Os últimos 12 segundos do último dia do ano representam 6 mil anos e comportam toda a história registrada da humanidade.

A Figura 1, a seguir, ilustra uma linha do tempo associada ao CC, destacando os fatos anteriormente mencionados:

Figura 1 - Calendário Cósmico apresentado por Carl Sagan (1934-1996), no episódio 1 “Os Limite dos Oceanos Cósmicos” de Cosmos.



Fonte: Cosmos, “Os Limite dos Oceanos Cósmicos”, 1980.

O calendário tem a potencialidade de colocar à discussão diversas áreas, como a Cosmologia, a Astrofísica, a Astronomia e, claro, a Física Nuclear. A FN é abordada, especialmente, em três momentos distintos: durante a nucleossíntese estelar, quando se utiliza a fusão nuclear; a estimativa da idade da Terra pela datação radioativa; e a criação das bombas nucleares originárias da fissão nuclear. Respeitando a cronologia dos fatos, o material didático inicia discorrendo sobre as origens do Universo e das partículas subatômicas, as primeiras porções de átomos e das estrelas. Na sequência, aborda as galáxias, a origem do Sol, os planetas e a Terra, a vida, as eras e os períodos. O desfecho disso são os últimos 12 segundos do

calendário, momento em que são retratadas as primeiras comunidades. Nesse tempo, são adicionados os primeiros conhecimentos envolvendo a Astronomia e descritos o período antigo com os gregos, a idade medieval e a época renascentista. Ainda, são inseridos a idade moderna, com as revoluções filosóficas, sociais e científicas, e os dias atuais, com a informática e a tecnologia.

Os eventos identificados no CC e que serviram de referência para as discussões sobre FN estão representados no quadro 2, a seguir.

Quadro 2 - Eventos destacados do CC

| Mês | Dia | Hora | Evento |
|----------|-----|--|---------------------------|
| Janeiro | 01 | 00 hora, 00 minuto, 00 segundo | Big Bang |
| | 12 | 17 horas, 44 minutos, 46 segundos | Primeiras estrelas |
| | 26 | 10 horas, 55 minutos, 14 segundos | Primeiras galáxias |
| Setembro | 02 | 05 horas, 56 minutos, 48 segundos | Formação do Sistema Solar |
| | 05 | 10 horas, 24 minutos, 25 segundos | Formação dos planetas |
| | 08 | 02 horas, 07 minutos, 26 segundos | Formação da Lua |
| Outubro | 01 | 10 horas, 49 minutos, 54 segundos | Origem da vida |
| Dezembro | 06 | 19 horas, 45 minutos, 07 segundos | Primeiros seres complexos |
| | 31 | 06 horas, 00 minuto, 00 segundo | Primeiros macacos |
| | | 21 horas, 00 minuto, 00 segundo | Primeiros homínídeos |
| | | 23 horas, 59 minutos, 00 segundo | Pré-história |
| | | 23 horas, 59 minutos, 48 segundos | Nascimento da astronomia |
| | | 23 horas, 59 minutos, 54 segundos | Antiguidade |
| | | 23 horas, 59 minutos, 59 segundos | Idade moderna |
| | | 23 horas, 59 minutos, 59 segundos ad infinitum | Idade contemporânea |

Fonte: pesquisa (2018).

Os eventos destacados no Quadro 2 representam pontos que guiam a viagem pelo CC e a colocação no quadro visa explicitar a escala de tempo de um evento para o outro. No primeiro momento com a formação da matéria mais simples e depois mais complexa (*Big Bang* - Estrelas). No próximo, as suas interações (Primeiras galáxias - Sistema Solar). Na continuidade, o aumento da complexidade (Origem da vida) e, por fim, a própria civilização (Nascimento da astronomia).

4.2 *Locus* de aplicação e caracterização dos sujeitos

O produto educacional mencionado na seção anterior foi operacionalizado na forma de uma proposta didática desenvolvida com um grupo de estudantes do curso de Física-L da Universidade de Passo Fundo (UPF), localizada ao norte do estado do Rio Grande do Sul. A instituição, que completou, em 2018, 50 anos de existência, é comunitária, filantrópica e constituída por cursos de graduação (licenciaturas e bacharelados), tecnólogos e pós-graduação.

A instituição⁴ tem aproximadamente 18 mil estudantes, matriculados em 60 cursos de graduação, 70 especializações, MBA e residências, 15 mestrados (três profissionais) e 6 doutorados.

O curso de Física-L foi criado em 2003, por meio da Resolução Consun nº 01/2003 e da Portaria SESU 286, de 21/12/2012. Teve sua primeira turma de ingressantes no ano de 2004. Atualmente, é composto por nove semestres letivos e conta com aproximadamente 80 acadêmicos matriculados. No curso, a FN não é contemplada como disciplina integrante da matriz curricular, sendo abordada como um tópico na disciplina de Física Moderna, presente no oitavo semestre do curso.

Para a realização do estudo, inicialmente, foi apresentada a proposta ao coordenador do curso, que formalizou o aceite para o desenvolvimento da pesquisa (APÊNDICE A). Na sequência, o projeto foi cadastrado como um curso de Extensão Universitária, possibilitando ofertar aos participantes um certificado, expedido pela Vice-Reitoria de Extensão e Assuntos Comunitários (VREAC). O cadastro do curso, denominado “Calendário Cósmico e Física Nuclear”, foi feito pela professora, que, membro do corpo docente de Física-L, coordenou e orientou esta dissertação. A partir disso, o curso de extensão foi ofertado aos licenciandos de Física e realizado em turno diferente ao funcionamento das aulas da graduação. A sua estruturação foi de 20 horas de atividades, sendo 16 desenvolvidas na Universidade e quatro extraclasse.

Após a divulgação do curso junto aos graduandos de Física da UPF, bem como a explicitação de seus dias e horário das atividades, 12 acadêmicos realizaram inscrição via sistema UPF. Desse total de licenciandos, três estavam no segundo nível, quatro no quarto, três no sexto nível e dois no oitavo nível. Cinco eram do sexo feminino e sete do masculino. Além disso, todos os participantes pertenciam a projetos de extensão e/ou de pesquisa desenvolvidos no curso.

4.3 O curso de extensão

O curso de extensão, denominado “Calendário Cósmico e Física Nuclear”, foi estruturado em quatro encontros presenciais, atingindo as 16 horas, e quatro horas de atividades a serem realizadas extraclasse. O Quadro 3 ilustra os tópicos contemplados em cada encontro e que estão associados ao produto educacional.

⁴ Dados referentes ao segundo semestre do ano de 2018 e obtidos na Revista Universo UPF. Disponível em: <<https://www.upf.br/comunicacao/upfrevista>>.

Quadro 3 - Descrição das atividades realizadas no curso de extensão.

| Encontro | Horas-aula ⁵ | Atividade |
|----------|-------------------------|--|
| 1 | 4 | Apresentação da proposta de estudo e assinatura do termo de consentimento. Realização do pré-teste. Questionamentos iniciais Introdução à FN – aspectos históricos; Resgate de conhecimentos em Astronomia; Apresentação do Calendário Cósmico; Nucleossíntese primordial |
| 2 | 4 | Radiação cósmica de fundo; Era da recombinação; Primeiras estrelas Formação estelar; Fator: Massa; Fusão nuclear; Evolução estelar; Morte das estrelas; Radiação Hawking |
| 3 | 4 | Formação do Sistema Solar; Sol - A nossa estrela; Componentes do Sistema Solar; Formação da Terra; Formação da Lua; Datação radioativa Elementos radioativos; Origem da Radioatividade; Interação nuclear Decaimentos radioativos; Meia-vida |
| 4 | 4 | Formação da vida; Evolução biológica; Eras geológicas; Astronomia e ciência moderna; Radioatividade artificial; Fissão nuclear; Bombas atômicas; Acidentes radiológicos; Protocolos de segurança; Aplicações da FN. Realização do pós-teste. Entrevista com os participantes. |

Fonte: pesquisa (2018).

A essas atividades, somam-se as atividades extraclasse de leitura dos textos indicados em cada um dos encontros.

4.4 Descrição das atividades desenvolvidas nos encontros

A seguir, descrevemos as atividades desenvolvidas nos encontros e que tiveram como ferramentas didáticas imagens, animações e vídeos, organizadas em apresentações no software *Power Point* e projetadas com recurso técnico de multimídia. Além disso, os encontros foram permeados por uma dinâmica que envolveram a participação dos acadêmicos por meio da utilização de questionamentos, o que propiciou a exposição das ideias e discussões durante todas as ações. Os questionamentos estiveram associados aos debates e tomaram como referência a importância de que, ao realizar uma indagação, os sujeitos põem em movimento uma estrutura de pensamento que permite torná-los cognitivamente ativos. Indagar representa uma possibilidade de levar os alunos a buscar respostas, e isso perpassa pela formulação de hipóteses. Esse último elemento é entendido como a possibilidade de os estudantes resgatarem suas concepções prévias e confrontarem com os saberes advindos do tema em discussão.

Além disso – e por conta disso –, as hipóteses levantadas durante as discussões tiveram o intuito de mobilizar os conhecimentos, construindo-os e reconstruindo-os de forma contínua e progressiva. As hipóteses indicavam que havia “algo” a ser testado ou verificado no

⁵ Cada hora-aula corresponde a 50 minutos, porém para efeitos de certificado contabiliza-se uma hora-aula como uma hora-relógio.

transcorrer das atividades, representando uma oportunidade de os licenciandos dialogarem com seus conhecimentos e suas constatações. Tal entendimento pedagógico compôs os encontros, conforme expresso na continuidade.

4.4.1 Primeiro encontro - “Nucleossíntese primordial”

O primeiro encontro teve como título “Nucleossíntese primordial” e contou com a participação de 15 acadêmicos. A primeira parte do encontro ficou dedicada à apresentação da proposta, relatando a motivação, o tema e o objetivo do estudo. Ainda nessa primeira parte do encontro, mencionamos a estrutura, a metodologia e o cronograma, bem como entregamos o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido para assinatura (APÊNDICE C).

Após este primeiro momento, realizamos o pré-teste com intuito de verificar quais os conhecimentos prévios dos acadêmicos em relação à FN e à Astronomia (APÊNDICE D). O teste, com 15 questões, foi respondido pelos acadêmicos em um tempo aproximado de 40 minutos. O questionário, que será analisado no próximo capítulo, juntamente com o pós-teste, pode ser descrito como uma combinação de questões com graus diferenciados de dificuldade. As questões consideradas de menor dificuldade (fáceis) foram formuladas de maneira simples e direta, enquanto as questões com maior grau de dificuldade (difíceis) necessitavam de conhecimento mais especializado na temática.

Registramos que os acadêmicos evidenciaram dificuldades para responder o questionário, deixando várias questões sem respostas. Além disso, mencionamos que, após a entrega do pré-teste ao pesquisador, os acadêmicos iniciaram uma discussão envolvendo os itens apresentados no material, gerando perguntas que levaram a um debate em sala de aula, provocando interesse e curiosidade por aquilo que seria abordado nos próximos encontros. Nessa discussão, foram sendo expostos pelo pesquisador e fomentados pelos acadêmicos aspectos que possibilitaram introduzir os temas a serem abordados. As concepções e entendimentos compartilhados pelos licenciandos se aproximavam do senso comum e se revelaram elementos a serem retomados e discutidos ao longo dos encontros.

Ainda com relação a esse momento inicial, relatamos a solicitação feita pelo pesquisador para que os participantes expressassem palavras que eles identificavam como relacionadas à FN e à Astronomia. O objetivo era mapear, com a técnica de *brainstorming*, os conhecimentos prévios dos participantes. O mecanismo *brainstorming* (ou “tempestade de ideias”) consiste em uma dinâmica na qual são apresentadas várias ideias e expressões para resolver um problema, desenvolver um projeto e reunir informações.

Após esta dinâmica, as palavras mencionadas pelos participantes foram coletadas e inseridas em um software de nuvem, denominado *Word Clouds*⁶, que reproduziu a Figura 2 a seguir, a qual expõe as expressões e palavras mais mencionadas pelos licenciandos.

A Figura 2 mostra a nuvem de palavras elaborada a partir da fala dos participantes.

Figura 2 - Nuvem de palavras relacionada a FN e Astronomia.



Fonte: dados da pesquisa, 2018.

A imagem relata que a visão dos participantes referentes às duas áreas era associada, de certa forma, ao senso comum. Na área da FN, os termos utilizados não refletem um conhecimento mais especializado, mas vinculam o tema com os acidentes radiológicos e as bombas atômica. Na Astronomia, percebemos a relação com as estrelas, o *Big Bang* e a cosmologia em geral.

Em seguida, iniciamos a abordagem do tema FN, ancorada pelo CC, realizando uma retomada de seus aspectos introdutórios, cujos slides relacionados às discussões integram o Apêndice E. Para a retomada dos eventos associados ao período de 1896 a 1950, iniciamos pela contextualização da descoberta do raio x, a conjuntura de Boltzmann e os raios Becquerel. Na sequência, como maneira de ressaltar a importância dos trabalhos de Henri Becquerel (1852-1908) e das pesquisas do casal Curie, foi introduzido o termo “radioatividade” e lembrada a descoberta dos átomos de polônio e rádio. Ainda, foi abordado o reconhecimento desses estudos, que obtiveram prêmios Também nessa introdução, como forma de contextualizar o conhecimento, caracterizamos as radiações alfa, beta e gama. Relatamos eventos marcantes, como o Projeto Manhattan, na década de 1940, com a criação das bombas atômicas, elucidando

⁶ Disponível em: <<https://www.wordclouds.com/>>.

a fissão nuclear, o acidente nuclear de Chernobyl, em 1986, e o acidente radiológico civil ocorrido em Goiânia, em 1987.

Na sequência, ainda com relação a esse momento introdutório, abordamos aspectos concernentes à Astronomia. Iniciamos pela época da sua origem, na Mesopotâmia, em torno de 4.000 anos antes de Cristo, e o período de 1915 a 1950, citando a Grécia Antiga e a Idade Moderna. Entretanto, o foco estava na era contemporânea, com os trabalhos de Albert Einstein, Edwin Powell Hubble, Alexander Alexandrovich Friedmann e Georges-Henri Édouard Lemaître. A relevância dessa discussão era situar os acadêmicos num processo de relação entre os tópicos de Astronomia e FN, elucidando o contexto histórico que permeou essas duas áreas e que serviriam de base para as discussões dos demais encontros.

Depois dessa contextualização, passamos a discutir com os acadêmicos o surgimento dos elementos químicos. Para tanto, como metodologia dos encontros, optamos pela apresentação de questionamentos e, a partir deles, fomentamos a discussão do tema em estudo. O questionamento inicial foi apresentado com o intuito de buscar uma relação entre a FN e a Astronomia, justificando o tema de estudo desta dissertação. A reflexão foi assim estruturada:

“Qual a origem dos elementos químicos?”

A pergunta feita aos participantes suscitou respostas diretas, como “das estrelas” ou “do Big Bang”. Na sequência, para contextualizar o questionamento realizado, apresentamos a obra do astrofísico Neil deGrasse Tyson (1958-) intitulada *Astrofísica para apressados*. O autor, que é o apresentador da versão atual da série televisiva *Cosmos: uma odisséia no Espaço-Tempo*, relata, no capítulo sete desta série (“O cosmos na tabela”), que essa foi uma das perguntas que ele realizou ao seu professor de Química na escola, cuja resposta lhe foi insatisfatória. Conforme descrito na sua obra:

Perguntas triviais algumas vezes demandam conhecimento profundo e amplo do cosmos para que sejam respondidas. Na aula de química do colégio perguntei ao meu professor de onde vinham os elementos da Tabela Periódica. Ele respondeu: da crosta terrestre. Eu aceito isso. Certamente é de onde os laboratórios os conseguem. Mas como a crosta terrestre os obteve? A resposta tem de ser astronômica. Mas nesse caso, você realmente precisa conhecer a origem e a evolução do universo para responder à pergunta? Sim, precisa (TYSON, 2017, p. 97).

A passagem mencionada enaltece a pergunta realizada aos acadêmicos e fornece o elo entre as duas áreas. Como forma de propor uma solução a essa pergunta, apresentamos aos licenciandos o CC. Essa não era a solução do questionamento, mas uma ferramenta didática

que permitiu discutir possibilidades de como chegar à resposta frente a um processo didático, que subsidiou discussões e pode contribuir, inclusive, no exercício profissional futuro, uma vez que se trata de professores em processo inicial de formação. O uso desse calendário oportuniza uma organização de ideias e poderá favorecer a compreensão dos conhecimentos.

Para apresentar o CC, inicialmente, traçamos sua origem, que remonta ao trabalho de Carl Sagan (1934-1996), seu idealizador. Na obra *Os Dragões do Éden*, publicada em 1977, Sagan apresenta esse calendário como forma de representar a idade do Universo e, com isso, oportunizar uma melhor noção da dimensão do tempo em relação aos eventos. A criação deste calendário foi muito significativa em termos de seus propósitos, ganhando, na década de 1980 ganhasse espaço na televisão para apresentação de uma série, intitulada de *Cosmos*, como já mencionado.

Após a apresentação do CC, passamos a discutir o seu funcionamento mencionando que a ideia estava em compactar toda a vida do Universo em uma escala de tempo de um ano, adotando o calendário Gregoriano como referência - um ano 12 meses e 365 dias. Dentro desta escala, cada mês possui cerca de 1,2 bilhões de anos, cada dia cerca de 40 milhões de anos e cada segundo corresponde a 500 anos. Nesse contexto foi apresentado aos alunos que o CC inicia em primeiro de janeiro, com o *Big Bang* e termina em 31 de dezembro, representando os dias atuais.

A Figura 3, a seguir, ilustra o CC apresentado aos acadêmicos.

Figura 3 - Calendário Cósmico apresentado por Neil deGrasse Tyson, no episódio 4 “Um céu cheio de fantasmas” de *Cosmos: uma odisseia no espaço-tempo*.



Fonte: *Cosmos: Uma odisseia no espaço-tempo*, “Um céu cheio de fantasmas”, 2014.

Na sequência, iniciamos a viagem pelo CC, tendo como ponto de partida os primeiros dia, hora, minuto e segundo do mês de janeiro. Vale ressaltar que, nesse momento, foi discutido com os acadêmicos os trabalhos de Stephen Hawking (1942-2018) e Roger Penrose (1931-) que demonstraram na década de 1970, que a noção de tempo antes da origem do Universo e até mesmo dentro de um buraco negro não existe. À vista disso, questões referentes ao que se passa antes do início do Universo se restringem ao campo filosófico, não ao físico. Por conseguinte, a idade do Universo é datada em 13,8 bilhões de anos, obtida a partir do satélite Planck.

Na continuidade do encontro, foram discutidos o *Big Bang*, num debate que perpassou pelas diferentes eras, pela separação das forças fundamentais, pelos processos de produção-aniquilação, pela criação das primeiras subpartículas e partículas, pelo surgimento dos primeiros átomos, chegando, por fim, à Era da Recombinação e as primeiras estrelas.

O foco da discussão esteve atrelado à nucleossíntese primordial, isto é, quando o Universo alcança três minutos de vida. Neste momento, foi destacada aos participantes a possibilidade de formar os primeiros átomos, como hidrogênio, hélio, lítio e berílio. Essa discussão possibilitou abordar a fusão nuclear, chegar à relação $E = MC^2$ para elucidar a energia convertida no processo e, assim, descrever como são formados os primeiros átomos.

Como conclusão desse primeiro encontro, mencionamos a Era da Recombinação, ou seja, o período onde, no Universo, a temperatura atinge cerca de 3 mil kelvins e temos a Radiação Cósmica de Fundo (RCF), tópicos que irá continuar a viagem pelo CC e iniciar o próximo encontro.

4.4.2 Segundo encontro - “Qual a origem dos elementos químicos?”

O segundo encontro teve a participação de 11 acadêmicos e seus objetivos foram dar prosseguimento ao estudo sobre a fusão nuclear e abordar a presença dos demais elementos químicos da Tabela Periódica. Os slides desse encontro estão dispostos no Apêndice F. No encontro anterior, o último ponto analisado foi a nucleossíntese primordial e a presença de quatro elementos químicos: hidrogênio, hélio, lítio e berílio. Partimos dessa retomada, apresentamos a pergunta norteadora do segundo encontro:

“Qual a origem dos elementos químicos?”

Continuando o caminho pelo CC, chegamos à Era da Recombinação, cuja localização no CC está em 1º de janeiro, às 0 horas, 12 minutos e 40 segundos. Dessa forma, o ponto de

partida do segundo encontro foi associado ao momento em que o Universo possuía 380 mil anos de idade, tendo como um dos aspectos vinculados a ele a Radiação Cósmica de Fundo (RCF). Tais discussões foram acrescidas do relato dos trabalhos desenvolvidos por Arno Allan Penzias (1933-) e Robert Woodrow Wilson (1936-), relacionados à descoberta da RCF e sua apreciação com o prêmio Nobel.

O próximo ponto discutido na atividade desenvolvida com os licenciandos foram os acontecimentos vinculados ao dia 12 de janeiro, às 17 horas, 44 minutos e 46 segundos. No CC, tais eventos estão relacionados a 480 milhões de anos a partir do Big Bang, que correspondem à formação das primeiras estrelas. Nesse momento, apresentamos aos acadêmicos a formação estelar, partindo da nebulosa e suas características, como o disco de acreção e a formação da proto-estrela.

Com relação às discussões sobre as estrelas propriamente ditas, avançamos no CC, chegando a 14 de janeiro, às 13 horas, 36 minutos e 21 segundos. Nessa localização, iniciamos as descrições sobre as estrelas, tendo como pontos de início a apresentação de uma definição para estes objetos, a discussão sobre a origem da sua energia e a apresentação de algumas suas características, como cor, temperatura, desfecho, tempo de vida e luminosidade. Nesse momento, buscamos recorrer a relações matemáticas simplificadas que pudessem determinar essas características.

Com o uso do fator massa, foram analisadas as diferentes estrelas, começando pelas de menores massas e progredindo para as mais massivas. Nessa perspectiva, percorremos, primeiramente, pelas anãs marrons até chegarmos nas *Wolf-Rayet*. Na explanação, elucidamos os processos da origem da sua energia como o ciclo p-p nas mais simples, o ciclo CNO naquelas um pouco mais massivas e ciclo triplo-alfa. Ao mesmo tempo, acompanhando os processos de energia, abordamos as transformações que as estrelas sofrem, isto é, o momento em que uma estrela troca de estágio. As mudanças foram exemplificadas nas etapas de gigante vermelha ou supergigante vermelha. Por fim, falamos sobre as distintas possibilidades de desfecho de vida, como uma anã branca, uma estrela de nêutrons e um buraco negro.

Associado a isso, contemplamos as discussões envolvendo os fenômenos da supernova, o buraco negro, a radiação Hawking, o limite de Chandrasekhar, o limite de massa para uma anã branca e uma estrela de nêutron e o problema do ferro⁵⁶. Esse último tópico foi apenas mencionado com os acadêmicos, resultando numa proposta para que eles pesquisassem a temática a fim de discuti-la no próximo encontro.

Dessa forma, esclarecendo os processos envolvidos, buscamos resposta para a questão que guiou o encontro e que foi amplamente discutida pelos licenciandos.

4.4.3 Terceiro encontro - “Qual a idade da Terra?”

O terceiro encontro teve como objetivo abordar o tema “radioatividade” e contou com a participação de 10 acadêmicos. A apresentação realizada no encontro e seus slides encontram-se no Apêndice G. Antes de iniciarmos a abordagem do tema, retomamos as discussões do último encontro, particularmente, em relação à proposta de atividade de pesquisa no que tange ao problema do ferro⁵⁶. Cabe destacar que alguns dos participantes pesquisaram e trouxeram contribuições para a discussão, apresentando como resposta ao problema a incapacidade de uma estrela realizar fusão nuclear com o ferro.

Na continuidade, foi dado prosseguimento às atividades planejadas para o terceiro encontro, onde inicialmente foi apresentado aos presentes o questionamento que guiou esse encontro:

“Como podemos medir a idade da Terra?”

Tomando como referência a viagem pelo CC, realizamos um salto de tempo, indo das formações das estrelas, em janeiro, para a formação do Sistema Solar, no mês de setembro. A partir desse salto, discorreremos sobre a constituição do Sol, a formação dos planetas, do Sistema Solar e dos demais objetos menores que fazem parte dele.

Chegamos à formação da Terra e da Lua e, enfim, na análise da idade do planeta, retomando o questionamento principal desse terceiro encontro. Para tanto, nos localizamos no período geológico Hadeano, quando ocorreu a formação da Terra, da Lua e das rochas. Este período data aproximadamente em 4,3 bilhões de anos, quase conjuntamente com o início da formação do planeta. O dado foi obtido a partir da descoberta do fragmento de zircão na Austrália, aplicado à técnica de datação radiológica. Esse processo consistiu em medir as frações relativas de urânio e chumbo, uma vez que a sequência radioatividade do urânio termina no elemento chumbo.

Após isso, foram abordados os fenômenos que os núcleos atômicos sofrem. Esse resgate possibilitou chegar à radioatividade, à interação nuclear pelo *méson pi*, à instabilidade dos núcleos grandes e aos decaimentos alfa, beta e gama. Portanto, esses tópicos foram mencionados de modo a elucidar o processo da datação do zircão e também evidenciar a origem da radioatividade.

No fim do encontro, apresentamos os conceitos de meia-vida, a lei de decaimento e a sequência da cadeia radioativa.

4.4.4 Quarto encontro

O último encontro foi destinado às atividades de finalização do CC e à realização do pós-teste, tendo a participação de nove acadêmicos. Os slides utilizados no encontro estão disponibilizados no Apêndice H.

Os últimos pontos do CC abordados foram: o início da vida na Terra, a partir dos fósseis mais antigos encontrados; a passagem pelos períodos geológicos da Terra; e, a forma e evolução dos seres vivos até os mamíferos, bem como a sua evolução. Nessas discussões, contemplamos períodos de extinções em massa, como o Permiano-Triássico e o Cretáceo-Paleogeno.

Chegando ao dia 31 de dezembro, último dia no CC, especificamente na época do Eoceno, onde estamos localizados, relatamos aos participantes que, nessa época, houve uma explosão de variedades de espécimes, com predomínio dos mamíferos. Nesse tempo, podemos encontrar ancestrais dos cavalos, rinocerontes, camelos e alguns lêmures. No relato, enfatizamos que, às 6 horas do dia 31, surgiram os primeiros macacos, que, vivendo entre galhos de árvores, se alimentavam de pequenos insetos, comportamento que passou a sofrer alterações com os crescimentos dos ossos e do cérebro desses animais. Aproximadamente em torno das 21 horas deste último dia do CC, localizamos o aparecimento dos primeiros hominídeos, cujas características de corpo e cabeça se assemelhavam às de um chimpanzé. Duas das diferenças são que não andavam por longos períodos e não se balançavam entre galhos de árvore, como faziam os macacos.

Tais explicações levaram ao relato de que o começo do desenvolvimento do ser humano aconteceu há 2 milhões de anos. Os primeiros do gênero *Homo* são o *Homo Habilis*, que, devido à habilidade manual, ganharam este nome. Essa capacidade oportunizou a confecção de ferramentas, que, inicialmente, foram produzidas a partir de ossos e pedra. Na sequência, mencionamos que o *Homo Erectus* é considerado o primeiro hominídeo que soube lidar com o fogo e que o *Homo Neanderthalensis* é tido como uma subespécie do homem, surgido há aproximadamente 400 mil anos e desaparecendo há cerca de 35 mil. Por fim, chegamos ao *Homo Sapiens*, do latim “homem sábio”, cujo surgimento na Terra data em torno de 200 mil anos.

Ao chegar no último minuto do nosso calendário, como conclusão da atividade desenvolvida, retomamos a origem da Astronomia, as primeiras cidades-estados, a invenção da escrita, a Idade Média, a ciência moderna, a Revolução Industrial e o século XX. Com breves pinceladas, estes momentos tiveram como foco evidenciar a noção da escala e contextualizar e finalizar o CC.

Como último ponto de discussão, destacamos a radioatividade artificial, as reações nucleares, a fissão nuclear, as bombas atômicas e o Projeto Manhattan, as usinas termonucleares e os acidentes radiológicos de Chernobyl e Goiânia. O intuito desta explanação era destacar momentos que sempre são lembrados quando se fala em FN, refletir sobre os perigos e contextos dos acontecimentos.

Para finalizar o encontro, realizamos o pós-teste (APÊNDICE I), seguindo a programação elaborada para a atividade. As discussões deste pós-teste, bem como as do pré-teste e da entrevista realizada com os licenciandos, constituem objeto do próximo capítulo.

5 METODOLOGIA

O presente capítulo apresenta os aspectos metodológicos associados à pesquisa que acompanha a aplicação do produto educacional, desenvolvida nos encontros descritos no capítulo anterior. Esse módulo é destinado ao levantamento dos referenciais teórico-metodológicos que subsidiam o estudo, dos instrumentos utilizados para coleta dos dados e dos resultados obtidos com a aplicação dos pré e pós-teste e entrevistas.

5.1 Aportes teóricos da pesquisa

A pesquisa desenvolvida classifica-se como de natureza qualitativa e apoia-se na abordagem referente a um estudo de caso. A opção pela pesquisa qualitativa decorre da busca por analisar e compreender os fenômenos a partir de uma avaliação mais global, sem se prender a dados estatísticos (TRIVIÑOS, 1987). Ela busca verificar e estudar dados que não podem ser mensurados numericamente, mas que devem ser identificados a partir da natureza subjetiva da pesquisa. A ênfase está em identificar as peculiaridades e experiências individuais dos sujeitos investigados.

Sobre essa abordagem metodológica, Bogdan e Biklen (1994) mencionam que ela se torna a mais adequada quando se busca compreender a realidade educacional, particularmente, quando o desejo é envolver processos decorrentes da leitura subjetiva de materiais. Tal análise ocorrerá por meio das relações humanas que estão presentes no campo educacional, ao qual destinamos um olhar com o propósito de detectar elementos que permitam refletir o problema de investigação. Temos consciência de que, em virtude da complexidade existente nas questões educacionais, não podemos ter a pretensão de buscar respostas definitivas, mas elementos que permitam embasar discussões e reflexões.

Além da identificação de uma pesquisa qualitativa, temos, como indicado por Gil (2008), uma investigação do tipo “estudo de caso”, uma vez que o objetivo está em explorar situações da vida real, onde os limites não estão muito bem estabelecidos. Também são focos descrever a situação do contexto em que está sendo feita a pesquisa e explicar as variáveis causais do fenômeno, que, em situações muito complexas, que pode ser executado a partir da utilização de levantamentos e experimentos. Além disso, o estudo de caso constitui essa dissertação por se tratar de uma investigação que estabelece como recorte um grupo de estudantes, cuja participação nas atividades didáticas é peculiar a eles.

Gil (2008) ainda caracteriza que o estudo de caso refere-se a uma análise profunda e exaustiva, que permite a sua compreensão vasta e minuciosa. No entanto, o autor alerta para algumas questões, como, por exemplo, o rigor metodológico, já que um enviesamento pode comprometer a qualidade dos resultados, e a dificuldade de uma generalização, pois o propósito do estudo não é de apresentar resultados precisos e definitivos, e, sim, o de expandir proposições teóricas.

5.2 Instrumentos

Como instrumentos para coleta de dados, recorreremos aos pré e pós-testes e às entrevistas do tipo semiestruturadas com os licenciandos. A escolha dessas ferramentas foi pensada primordialmente a partir da possibilidade de elas fornecerem dados de maneira qualitativa. Nesse sentido, especificamente, buscamos obter resultados acerca da eficácia da proposta didática.

Os pré e pós-testes são questionários constituídos de perguntas abertas sobre os temas FN e Astronomia. Estes questionários foram aplicados em dois momentos distintos: o pré-teste no primeiro encontro, logo após a entrega do termo de Consentimento Livre e Esclarecido; e o pós-teste no quarto encontro, como última atividade. Tais testes são similares, uma vez que buscam analisar a pertinência em termos da apropriação e ampliação do conhecimento nas áreas.

Ainda como instrumento para coleta de dados, recorreremos às entrevistas realizadas com os licenciandos no fim das atividades. De acordo com Gil (2008, p. 109), a entrevista é “a técnica em que o investigador se apresenta ao investigado e lhe formula perguntas, com o objetivo de obtenção dos dados que interessam à investigação”. Assim, o autor a qualifica como uma forma de interação social. É por meio do diálogo que se instauram duas partes: uma que busca coletar dados; e a outra que se apresenta como fonte. Gil (2008) ainda descreve as vantagens e desvantagens do uso da técnica, como: a obtenção de dados sobre diversos aspectos sociais e a facilidade de se conseguir respostas como vantagens; e a má compreensão das perguntas e o fornecimento de respostas falsas por razões conscientes ou inconscientes como desvantagens.

Portanto, a escolha por entrevistas semiestruturadas ocorre, sobretudo, ao grau de liberdade concedida ao entrevistador e ao entrevistado. Ainda, buscamos Trivinos (1987, p. 146) para especificar e definir a entrevista semiestruturada:

Podemos entender por entrevista semi-estruturada, em geral, aquela que parte de certos questionamentos básicos, apoiados em teorias e hipóteses, que interessam à pesquisa, e que, em seguida, oferecem amplo campo de interrogativas, fruto de novas hipóteses que vão surgindo à medida que se recebem as respostas do informante. Desta maneira, o informante, seguindo espontaneamente a linha de seu pensamento e de suas experiências dentro do foco principal colocado pelo investigador, começa a participar na elaboração do conteúdo da pesquisa.

A entrevista teve como intuito avaliar a perspectiva didática da proposta na voz dos futuros professores. Nesse sentido, entre os itens, incluímos perguntas relacionadas à: importância que os licenciandos atribuem à contemplação de tópicos de física nuclear na licenciatura em Física; abordagem didática utilizada nos encontros para contextualizar a física nuclear a partir da astronomia; avaliação das atividades realizadas a fim de contribuir para a apropriação dos conteúdos; possibilidade e importância de abordar tópicos de Física na Educação Básica.

5.3 Análise do pré-teste e pós-teste

Como forma de avaliar a viabilidade da proposta em termos da compreensão conceitual, analisaremos as respostas dos acadêmicos aos questionários realizados no primeiro e no último encontro. O questionário realizado na etapa inicial – pré-teste (APÊNDICE D) – se distingue do realizado na última etapa – pós-teste (APÊNDICE I) –, uma vez que o objetivo do primeiro era identificar os conhecimentos prévios dos participantes e o do segundo verificar os adquiridos. Embora as perguntas nos dois testes possam ser consideradas como equivalentes ou próximas, elas foram estruturadas de forma diferenciadas entre si. As exceções, por conta da equivalência nas perguntas, são as questões de número 2 do pré-teste de número 7 do pós-teste, que contêm caráter exclusivo e, portanto, são analisadas separadamente.

O pré-teste foi respondido por 15 acadêmicos e o pós-teste por nove. Considerando que as questões eram subjetivas, decidimos apresentar os resultados e as análises entre os dois questionários. Ou seja, a análise é feita com base em um comparativo entre as respostas coletadas nos dois testes. Para isso, entendendo que as perguntas eram distintas, embora equivalentes, recorreremos a quadros como forma de possibilitar a visualização das respostas obtidas em cada umas das questões. Na sequência de cada quadro, são realizadas as respectivas análises.

O quadro 4, a seguir, é composto, inicialmente, pela questão do pré-teste, tendo, ao lado, as respostas obtidas. O mesmo ocorre com a questão do pós-teste e suas respectivas respostas. O termo entre parênteses indica a repetição da resposta pelos licenciandos.

Quadro 4 - Questão 1 do pré-teste e 2 do pós-teste com as respectivas respostas.

| PRÉ-TESTE | RESPOSTAS |
|---|--|
| Qual é a origem da energia do Sol? | <i>“Fusões nucleares”</i> <i>“Entropia”</i> <i>“Com a fissão nuclear dos elementos leves para mais pesados”</i> <i>“A transformação de hidrogênio e hélio”</i> <i>“Pela fusão nuclear do hidrogênio e do hélio”</i> <i>“Fusão nuclear → hidrogênio em hélio”</i> <i>“Interação entre as partículas subatômicas”</i> <i>“Fissão nuclear. Quebra do átomo de He em H e energia liberada”</i> <i>“Por meio de fusão nuclear dos átomos de H, a qual libera energia”</i> <i>Em branco (1)</i> |
| PÓS-TESTE | RESPOSTAS |
| Qual a origem da energia derivada do processo de fusão nuclear? | <i>“Radiação”</i> <i>“Do colapso gravitacional, no caso, do núcleo das estrelas”</i> <i>“A partir da divisão do núcleo atômico num processo de fissão nuclear”</i> <i>“Energia nuclear”</i> <i>“A colisão entre dois núcleos gera um novo elemento e nesse processo ocorre uma ‘sobra’ de energia”</i> <i>“É da união de dois elementos químicos que libera muita energia”</i> <i>“Radioativa”</i> <i>“A quebra do átomo e liberação de energia residual”</i> <i>Em branco (1)</i> |

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

O objetivo da questão do pré-teste era esclarecer se os licenciandos tinham a noção do fenômeno da fusão nuclear e o conhecimento da sua ocorrência dentro do núcleo das estrelas. Enquanto isso, a questão do pós-teste teve como propósito verificar se havia clareza do processo. Quanto às respostas do pré-teste, podemos perceber que os estudantes apresentaram conhecimento sobre o fenômeno da fusão nuclear, considerando o número de respostas corretas, o que não é percebido no pós-teste, pois, atentando às respostas obtidas, os alunos mostraram pouco conhecimento sobre o processo. Um conceito que ficou evidenciado no pré-teste foi o de “defeito de massa” (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2013), o qual dá origem à energia do processo. No pós-teste, o mesmo não ficou evidente.

Este ponto foi abordado no segundo encontro, quando tratamos do nascimento das estrelas dentro do CC. Nele, foi mencionado o fator da massa como sendo um componente importante para uma estrela, podendo definir seu tempo de vida, luminosidade, desfecho de vida e outras características. Nesse encontro, como forma de ilustrar o debate, foi realizado um exercício para calcular o quanto de energia é possível ter no processo de fusão de um próton-nêutron. O procedimento foi comparar a soma das massas do próton e nêutron com a massa do deutério, o que evidenciou que a massa do deutério é um pouco menor do que a soma das massas do próton e nêutron. Esta pequena porção de massa faltante, caracterizada como *defeito de*

massa, é o que se converteu em energia – radiação. Na sequência, foram utilizadas relações simples para determinar o tempo de vida de uma estrela com uma massa solar.

Quadro 5 - Questão 2 do pré-teste com as respostas.

| PRÉ-TESTE | RESPOSTAS |
|--|---|
| Qual o processo que se realiza em usinas termelétrica para se obter energia? | <p><i>“Não sei explicar, mas acredito que há uma troca de calor que gera uma atividade mecânica”</i></p> <p><i>“Queima de combustível para ebulir a água”</i></p> <p><i>“Queima-se materiais inflamáveis, como carvão e madeira, e através de uma caldeira, ferve-se água que gira um eletroímã, que gera eletricidade”</i></p> <p><i>“Usa-se algum processo térmico de geração de calor para aquecer a água e, assim, o vapor, sob pressão, move as turbinas”</i></p> <p><i>“Também fusão nuclear, porém de átomos mais instáveis”</i></p> <p><i>Em branco (5)</i></p> |

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

A segunda questão do pré-teste, expressa no quadro 5, não equivalente no pós-teste, teve o objetivo de verificar se os licenciandos apresentavam algum conhecimento sobre fissão nuclear, bem como acerca da produção de energia, cujo processo é comum em países como a França, onde 75% da sua energia tem origem (GONÇALVES; ALMEIDA, 2005).

Os resultados obtidos no pré-teste demonstram que os acadêmicos entendem que, para geração de energia nas usinas termelétricas, é utilizada a ebulição da água, que passa por turbinas e, depois, por geradores. Todavia, não está presente nas respostas a origem do calor para a ebulição, o qual utiliza, em alguns casos, a fissão nuclear. Esse tema foi assunto do quarto e último encontro, momento em que foram apresentados aos alunos a fissão nuclear, sua origem e aplicações, como nas bombas atômicas e nas usinas, e casos como os acidentes radiológicos.

Quadro 6 - Questão 3 do pré-teste e do pós-teste com as respectivas respostas.

| PRÉ-TESTE | RESPOSTAS |
|---|---|
| Caracterize os diferentes tipos de radiação | <p><i>“Radiação térmica e nuclear”</i></p> <p><i>“Radiação alfa, beta, gama/associada a energia transportada pela onda”</i></p> <p><i>“Alfa, beta e gama”</i></p> <p><i>“Raio x, infravermelho, luz visível, ultravioleta, rádio”</i></p> <p><i>“Radiação térmica, radiação Hawking”</i></p> <p><i>“Radiação térmica (emissão de ondas de calor), radiação nuclear (emitida pelo decaimento atômico)”</i></p> <p><i>“Eletromagnética, térmica, luminosa, gama, alfa, beta, Hawking”</i></p> <p><i>Em branco (3)</i></p> |
| PÓS-TESTE | RESPOSTAS |
| Quais os possíveis tipos de radiação que um elemento pode emitir? | <p><i>“Alfa, beta, gama” (7)</i></p> <p><i>“Alfa, beta, gama e Hawking” (2)</i></p> <p><i>“Sei lá” (1)</i></p> |

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

A questão 3 do pré-teste, apresentada no quadro 6, buscou identificar se os licenciandos apresentavam discernimento quanto às peculiaridades de cada radiação, como a alfa, composta por dois prótons e dois nêutrons (ou também He^4), ou a gama, considerada uma onda eletromagnética. As respostas apontam que os participantes mostravam conhecimentos sobre a questão, não havendo alteração significativa de conhecimento, conforme revelado no pós-teste.

Sobre isso, precisamos expor que a menção à radiação Hawking, tanto no pré como no pós-teste, pode estar relacionada a uma atividade realizada pelos licenciandos na semana anterior ao pré-teste, numa palestra realizada na semana Acadêmica, ou ao falecimento do físico Stephen Hawking (1942-2018), em 2018, que levou a mídia a divulgar muitos de seus trabalhos, especificamente, os vinculados a buracos negros e à radiação Hawking. Tais episódios podem ter contribuído para as respostas fornecidas pelos licenciandos, especialmente, no pré-teste.

Quadro 7 - Questão 4 do pré-teste e do pós-teste com as respectivas respostas.

| PRÉ-TESTE | RESPOSTAS |
|--|---|
| O que caracteriza um elemento químico como radioativo? | <p><i>“Quando este apresenta caráter instável, isto é, quando ‘facilmente’ mutar-se em outro elemento químico”</i></p> <p><i>“Quantidade de elétrons livres e instabilidade do átomo”</i></p> <p><i>“A emissão de partículas radioativas (alfa, beta e gama)”</i></p> <p><i>“Seus átomos são instáveis e sua cama decai com o tempo emitindo radiação”</i></p> <p><i>“Quando é modificado o núcleo, causando uma liberação de energia”</i></p> <p><i>“Quando ele ter um número atômico muito alto”</i></p> <p><i>“Ser instável, ter um número atômico alto, uma certa ‘vida’ e ser um grande emissor de partículas”</i></p> <p><i>“Ser instável a ponto de decompor-se, gerando outros elementos e emitindo radiação”</i></p> <p><i>Em branco (2)</i></p> |
| PÓS-TESTE | RESPOSTAS |
| Defina a Radioatividade | <p><i>“Energia emitida”</i></p> <p><i>“Eu sei que é nuclear, mas não sei definir”</i></p> <p><i>“Consiste num fenômeno que ocorre no núcleo do átomo onde há a emissão de energia desintegrando, ou estabilizando um determinado elemento químico”</i></p> <p><i>“Energia”</i></p> <p><i>“É emissão de energia do átomo”</i></p> <p><i>“Emissão de energia do núcleo do átomo”</i></p> <p><i>“É um tipo de energia que é emitida pelo núcleo do elemento químico que existe três tipos”</i></p> <p><i>Radiação alfa, beta e gama (1)</i></p> <p><i>“Energia emitida por átomo de núcleo instável”</i></p> <p><i>“A Radioatividade é uma energia decorrente da desintegração de átomos instáveis”</i></p> |

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

O quadro 7 apresenta as respostas dadas à quarta questão, cujo objetivo era buscar elementos que evidenciassem nas respostas a questão da instabilidade nuclear. Dadas as respostas, constatamos que a noção de elementos radioativos estava mais ligada a uma transmutação com liberação de radiação do que ao núcleo atômico instável. Este tema foi

tratado durante o terceiro encontro, quando exploramos a idade da Terra, discutindo o processo de datação por meios radioativos. No encontro, foi definido o conceito de radioatividade como:

A Radioatividade é um modo encontrado pelo átomo para se tornar estável, isto é, uma maneira de se desfazer de uma porção de energia (sendo em forma de partículas ou em ondas eletromagnéticas) e assim encontrando um equilíbrio entre as forças que agem sobre o núcleo. Chamamos de “radiação” a energia produzida pelo núcleo atômico, podendo ser de três maneiras, ou três tipos: a radiação alfa, beta e gama, sendo que para cada radiação existem uma característica específica (PRODUTO EDUCACIONAL, 2019, p. 51).

Nas respostas do pós-teste, percebemos uma pequena diferença em relação ao apresentado no pré-teste, especificamente em relação à menção de “instabilidade nuclear”. Foi mencionado que o processo ocorreu com a datação de um fragmento de zircão de 4,3 bilhões de anos, estimativa em virtude da presença de isótopos de urânio (U-238 e U-235) e tório (Th-232), dois elementos radioativos encontrados junto ao zircão. Em função da presença destes dois elementos (3 isótopos U-238, U-235, Th-232) e de acordo com o seu longo período de decaimento radioativo, o resultado final será a existência de dois isótopos de chumbo, Pb-206 e Pb-207 junto ao fragmento de zircão. A instabilidade nuclear foi explicada a partir da interação nuclear, do méson pi e do seu alcance limitado, definindo a radioatividade.

Quadro 8 - Questão 5 do pré-teste e 6 do pós-teste com as respectivas respostas.

| PRÉ-TESTE | RESPOSTAS |
|--|--|
| Cite diferentes partículas subatômicas e, se possível, aponte as suas diferenças (carga, spin, formação, interação). | <i>Prótons (7)</i> <i>Elétrons (7)</i> <i>Nêutrons (8)</i> <i>Pósitrons (1)</i> <i>Antiprótons (1)</i> <i>Neutrinos (2)</i> <i>Grávions (1)</i> <i>Quarks (7)</i> <i>Bósons (3)</i> <i>Mésons (1)</i> <i>Corda (1)</i> <i>Tau (1)</i> <i>Em branco (1)</i> |
| PÓS-TESTE | RESPOSTAS |
| Cite algumas partículas elementares, isto é, sem estrutura interna. | <i>Quark (7)</i> <i>Elétron (1)</i> <i>Bárions (2)</i> <i>Mésons (2)</i> <i>Gluons (1)</i> <i>Não sei (1)</i> <i>Em branco (1)</i> |

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Como mostrado no quadro 8, as partículas mais conhecidas – próton, nêutron e elétron – foram as mais citadas no pré-teste, sendo também mencionado o quark. Entretanto, percebemos que essas menções foram aleatórias, sem critérios, enquanto, no pós-teste, podemos identificar a existência de respostas criteriosas. Todavia, identificamos um equívoco nas menções aos bárions e mésons como partículas sem estrutura interna.

O tema foi tratado logo no primeiro encontro, no início da jornada pelo CC, quando excursionamos pelas primeiras eras. Logo após o *Big Bang*, temos a separação das forças elementares e, posteriormente, a formação da matéria. Ainda nesse encontro, foram relatados a primeira era, a de Planck, e o primeiro momento quando o Universo começa a ser estruturado. Ainda, mencionamos a gravidade como a primeira força elementar a se separar das outras, a força forte, a força fraca e o eletromagnetismo. Iniciando a era Quark, destacamos o início da formação da matéria elementar. Depois, a era Hadrônica, com estruturas um pouco maiores. Por fim, a era Leptonica, com as partículas que não experimentam a força nuclear forte. Em cada momento, foram discutidas as partículas e suas especificidades.

Quadro 9 - Questão 6 do pré-teste e 5 do pós-teste com as respectivas respostas.

| PRÉ-TESTE | RESPOSTAS |
|---|--|
| No Universo, existem 4 interações fundamentais, aponte quais são e as descreva. | <i>Força nuclear forte (7)</i> <i>Força nuclear fraca (7)</i> <i>Força gravitacional (6)</i> <i>Força eletromagnética (7)</i> <i>Em branco (3)</i> |
| PÓS-TESTE | RESPOSTAS |
| Como podemos explicar a interação que mantém o núcleo atômico coeso? | <i>“Troca de partículas”</i> <i>“A força nuclear ocorre devido a interação entre prótons e nêutrons”</i> <i>“Através da força forte, uma força maior, mais intensa que a eletromagnética”</i> <i>“Energia nuclear forte”</i> <i>“É a energia nuclear forte, onde faz com que a interação do próton faz com as outras partículas”</i> <i>“Interação entre os mésons Pi”</i> <i>“É através da força forte que faz a ligação entre os prótons e os nêutrons”</i> <i>“Nuclear forte”</i> <i>Núcleo atômico (1)</i> |

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

O quadro 9 apresentou as respostas fornecidas à questão 6, cujo objetivo estava relacionado à identificação dos conhecimentos dos acadêmicos sobre as forças fundamentais de interação que existem no Universo. O pré-teste revela que os acadêmicos tinham conhecimentos prévios sobre o assunto. Entretanto, ele foi ampliado no decorrer do curso, qualificando as respostas no pós-teste. As quatro interações fundamentais foram tema com

presença significativa em todo os encontros, sendo mencionado em diversos momentos, o que, provavelmente, justifica o fato de os participantes apresentarem entendimento sobre ele. Ainda sobre essa questão, vale registrar que, em função das respostas do pré-teste, no pós-teste ela foi reformulada para um nível maior de dificuldade, de modo a captar e contemplar os novos conhecimentos.

Este ponto também foi tratado no terceiro encontro, quando foi analisada a idade da Terra. Antes de definir um conceito para a Radioatividade, foi proposto verificar como ocorria a interação dentro do núcleo atômico. Novamente, foi mencionada a força nuclear forte como a responsável por manter o núcleo do átomo unido e foi introduzida a interação pelo mésons. Essas são as partículas responsáveis por transmitir a interação forte. Essa troca se dá somente no caso do núcleo, por prótons e nêutrons – especialmente, pelo *mésons pi* ou *píon*. Assim, utilizando as relações anteriores do princípio da incerteza – em termos de energia-tempo, $\Delta E \Delta t \geq \frac{1}{2} \hbar$ e equivalência massa-energia ($E = mc^2$) –, procuramos evidenciar particularidades deste fenômeno. A conclusão a que se chegou foi que a interação do méson pi tem alcance limitado e isso acarreta em uma instabilidade entre as forças forte e elétrica. Esse aspecto foi mencionado no encontro:

Com o crescimento do núcleo atômico, se necessita de mais elementos para manter a coesão nuclear. Então, em um núcleo muito grande a interação forte é inexistente com as partículas dos extremos. Tendo presença somente com partículas próximas. [...] um átomo grande enfileirado, as partículas dos extremos não interagem pelo meio da força forte, somente pela repulsão elétrica (PRODUTO EDUCACIONAL, 2019, p. 51).

Nas respostas obtidas com o pós-teste, identificamos alusões à “troca de partículas” e aos *mésons pi*, o que esteve vinculado ao encontro e foi descrito acima. Também obtivemos respostas mais diretas, mas não incorretas, sobre o mesmo fenômeno.

A sétima questão de ambos os questionários, e que está expressa no quadro 10, objetivou avaliar os conhecimentos dos licenciandos com relação à *anã branca*. As respostas apontam que os acadêmicos apresentavam algum conhecimento sobre o assunto. Porém, a partir das discussões do segundo encontro, quando analisamos a formação e a evolução estelar em função do seu fator principal – a massa –, podemos perceber que houve uma mudança nas respostas. No encontro, a sequência para a abordagem da formação e da evolução estelar ocorreu, inicialmente, a partir de uma nebulosa, passando pelo disco de acreção, a proto-estrela e, por fim, a estrela em si. Para a evolução das estrelas, utilizamos o fator massa como componente principal e a massa do Sol como parâmetro. Assim, iniciamos com uma pequena porção de massa – objetos astronômicos com até 10% da massa do Sol – e aumentando gradativamente,

isto é, entre 10% e 50%, 50%, até oito vezes, de 8 até 25 vezes e, assim, sucessivamente. Dessa maneira, fomos desenvolvendo a produção de átomos em seu interior – os elementos formados – e o seu possível término de vida.

Quadro 10 - Questão 7 do pré-teste e 1 do pós-teste com as respectivas respostas.

| PRÉ-TESTE | RESPOSTAS |
|---|--|
| Qual é a definição de uma “estrela anã branca”? | <p>“Quando uma estrela de massa inferior a 1 massa solar colapsa, após a expansão, ela se contrai e se condensa em uma esfera maciça, branca e pouco brilhante composta de carbono submetida à uma pressão intensa”</p> <p>“É o estágio final da vida de algumas estrelas de massa intermediária”</p> <p>“Seria como uma estrela de nêutrons, que tem uma massa/densidade muito grande”</p> <p>“Uma estrela pequena e fria”</p> <p>“É o fim de vida de uma estrela, ela é fria e pequena”</p> <p>“Relativamente ‘pequena’, extremamente brilhante e relativamente ‘fria’”</p> <p>Em branco (4)</p> |
| PÓS-TESTE | RESPOSTAS |
| Qual é o estágio final do Sol? | <p>Anã Branca (5)</p> <p>“Após tornar-se uma gigante vermelha, o Sol se tornará uma estrela anã branca e consumirá a energia até virar carvão”</p> <p>“O Sol se tornará uma gigante vermelha e após, uma anã vermelha”</p> <p>Anã Preta (1)</p> <p>Anã Vermelha (1)</p> |

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Para tanto, a fim de evidenciar as características de uma anã branca, fora utilizada a equação de limite para a massa de uma anã branca, isto é, a massa de Chandrasekhar. Este limite é definido como a pressão máxima exercida pela gravidade que os elétrons em níveis de energia degenerados conseguem suportar. Tal fenômeno é decorrente dos efeitos quânticos – princípio da incerteza – e relativísticos – velocidades relativísticas. A equação mostra que o limite para a massa de uma anã branca é 1,44 massas solares. Também fornecemos um subsídio para a resposta do pós-teste, definindo uma anã branca no encontro como:

As anãs brancas são o fim de vida de uma estrela, aquele momento quando não consegue mais produzir energia nuclear. Contudo, por ser remanescente do núcleo de uma estrela, as anãs brancas possuem uma densidade e temperatura extremamente alta. Seu tamanho é semelhante à Terra, porém sua massa é equivalente à do Sol. Ainda que exista temperaturas e pressões altíssimas nestas estrelas, ainda não é o suficiente para dar início às fusões nucleares. O que resta para estas estrelas ao longo de milhares e até bilhões de anos é brilharem, devido a energia interna restante, e esfriarem até o ponto de se tornarem anãs pretas (PRODUTO EDUCACIONAL, 2019, p. 29).

A relação do Sol com uma anã branca pode ser expressa pelo trecho do produto educacional, transcrita a seguir:

Projeta-se o seu fim [Sol] para daqui a 4,5 bilhões de anos, quando se tornará uma gigante vermelha. A sua fase de gigante vermelha terá uma duração de aproximadamente de 100 milhões de anos e depois desta fase, irá colapsar em uma supernova, formando uma nebulosa planetária com uma anã branca em seu centro, a qual poderá levar outros bilhões de anos até esfriar completamente (PRODUTO EDUCACIONAL, 2019, p. 40).

Percebemos que, no pré-teste, as respostas obtidas apresentam mais elementos para a definição de anã branca, como massa, tamanho, composição, embora quase a metade das respostas tenham sido em branco. No pós-teste, prevaleceu um retorno mais direto, isto é, somente “anã branca”, sem oferecer mais elementos.

Quadro 11 - Questão 7 do pós-teste com as respostas.

| PÓS-TESTE | RESPOSTAS |
|---|---|
| O que diferencia uma estrela anã branca de uma estrela de nêutrons? | <p>“A massa da estrela antes do colapso, sua composição final”</p> <p>“Anã branca é o estágio em que a estrela continua liberando energia”</p> <p>“Seu tamanho”</p> <p>“Seu brilho, massa e densidade”</p> <p>“A composição dela. A anã Branca é uma estrela concisa e massiva. Já a de nêutrons é basicamente constituída de nêutrons”</p> <p>Massa (2)</p> <p>Em branco (2)</p> |

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

O quadro 11 retrata a questão 7 do pós-teste, que foi estruturada para investigar os conhecimentos dos participantes sobre o que diferencia uma anã branca de uma estrela de nêutrons, tema tratado no segundo encontro. Nela, apontamos para três aspectos que podemos utilizar para diferenciar um objeto de outro: massa, densidade e composição. Havendo diferença entre massa e densidade, conseqüentemente, a gravidade e o seu tamanho também serão influenciados. Tais explicações foram utilizadas nas respostas dos acadêmicos.

Quadro 12 - Questão 8 do pré-teste e do pós-teste com as respectivas respostas.

| PRÉ-TESTE | RESPOSTAS |
|--|--|
| Qual é o elemento químico de maior número atômico natural? | <p>Urânio (3)</p> <p>Chumbo (1)</p> <p>“Número atômico 86, não lembro o nome” (1)</p> <p>Prométio (1)</p> <p>Em branco (4)</p> |
| PÓS-TESTE | RESPOSTAS |
| Qual é o elemento químico de menor número atômico natural? | Hidrogênio (9) |

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

As respostas apresentadas no quadro 12 ilustram o questionamento sobre a identificação de um elemento químico por meio do número de prótons em seu núcleo, o que é identificado como “número atômico”. As respostas evidenciam que, no pré-teste, essa informação não estava clara para todos os participantes, embora algumas respostas estivessem corretas. No pós-teste, por sua vez, a pergunta foi diferenciada, envolvendo não mais o maior número atômico, mas o menor número atômico, cujas respostas foram iguais e corretas para todos os participantes. Podemos atribuir a mudança ao fato de ter mencionado o tema diversas vezes no curso. O urânio, por exemplo, foi mencionado no estudo da fissão nuclear e, conseqüentemente, na produção de energia. Em outro momento ele esteve presente no relato sobre a produção das bombas atômicas na Segunda Guerra Mundial. Nesse encontro, foi mencionado que:

Usando a ideia de bombardeamento por nêutron, Otto Hahn (1879-1968) e Fritz Strassman (1902-1980) realizaram a fissão do urânio em Berlin. O urânio 235, quando bombardeado com nêutrons, dava origem a núcleos de criptônio e bário. Muito mais leves que o urânio, o processo também libertava nêutrons (PRODUTO EDUCACIONAL, 2019, p. 82).

O hidrogênio é o elemento mais simples e abundante do Universo e considerado o principal combustível nuclear, estando presente em todas as estrelas. Dentro das atividades realizadas, ele ganhou lugar de destaque quando abordamos a nucleossíntese primordial, a fusão termonuclear no interior das estrelas e discussões sobre a bomba de hidrogênio. Tais momentos podem ter sido significativos para os acadêmicos, uma vez que, em sua totalidade, responderam que o hidrogênio é o elemento químico de menor número atômico natural.

Quadro 13 - Questão 9 do pré-teste e do pós-teste com as respectivas respostas.

| PRÉ-TESTE | RESPOSTAS |
|--|---|
| Como é definido o primeiro estágio de vida de uma estrela? | <i>Colapso gravitacional</i> <i>“A gravidade faz com que a massa de acumule, aumentando a pressão e temperatura até que comece a ocorrer fusão nuclear”</i> <i>“É quando uma nuvem de poeira cósmica começa a se condensar e começa a criar o campo gravitacional”</i> <i>Nuvem de gases (1)</i> <i>Em branco (6)</i> |
| PÓS-TESTE | RESPOSTAS |
| O que é o período definido como “Sequência Principal”? | <i>“O período mais longo com as etapas da vida da estrela”</i> <i>“Principais eventos ocorridos no desenvolvimento do Universo”</i> <i>“É o tempo para que um elemento decaia numericamente atômico”</i> <i>“Primeira meia-vida”</i> <i>Não Sei (1)</i> <i>Em branco (4)</i> |

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

A questão 9, cujas respostas estão ilustradas no quadro 13, teve como objetivo verificar a compreensão sobre o principal período de vida de uma estrela. As respostas indicadas no quadro ilustram que os participantes tiveram dificuldade para entender esse tópico, pois ninguém obteve acerto no pós-teste, a exemplo do ocorrido no pré-teste. No estudo da formação e evolução estelar, mencionamos que uma estrela nasce a partir do momento em que realiza fusões nucleares em seu interior. Todo o processo inicia de um desequilíbrio de forças em uma nebulosa, onde começa a aglutinação de matéria. Esta aglutinação de matéria é o que chamamos de “proto-estrelas”, isto é, a matéria se concentra em um ponto e, por consequência, sua temperatura aumenta gradativamente. Este processo cessa quando inicia a fusão nuclear e ocorre o nascimento da estrela. Após este fenômeno, é estabelecido o período da “Sequência Principal”, que foi assim explorado na proposta didática:

Com o começo da fusão termonuclear é dado início à sequência principal. Agora a proto-estrela já tem temperatura o suficiente para fundir hidrogênio em hélio, e com isso passa a ser uma estrela jovem. A sequência principal é o maior e principal período de uma estrela. É o momento quando a estrela atinge a capacidade de produzir fusões nucleares em seu núcleo, e termina quando a mesma não consegue mais fundir o hidrogênio em hélio (PRODUTO EDUCACIONAL, 2019, p. 24).

Tais explicações se revelaram insuficientes para a compreensão dos participantes, que forneceram respostas como “não sei” ou não responderam.

Quadro 14 - Questão 10 do pré-teste e do pós-teste com as respectivas respostas.

| PRÉ-TESTE | RESPOSTAS |
|---|--|
| O que diferencia um planeta telúrico de um joviano? | <p>“Sua temperatura e cor”</p> <p>“Um planeta é sólido e outro gasoso”</p> <p>“A distância do Sol e componentes que esses planetas são formados”</p> <p>“O tempo de formação”</p> <p>“A idade de formação dele”</p> <p>“Telúrio tem luas, joviano não”</p> <p>Idade (1)</p> <p>Em branco (3)</p> |
| PÓS-TESTE | RESPOSTAS |
| Por quais argumentos podemos definir um objeto astronômico como um planeta? | <p>“Órbita plana em relação a uma ou mais estrelas”</p> <p>“Pela sua órbita em relação ao sistema solar”</p> <p>“Ter uma órbita e um tamanho razoável”</p> <p>“Tamanho, órbita, distância da estrela que orbita”</p> <p>“Este ser influenciado pelo campo de uma estrela e possuir um campo gravitacional capaz de influenciar objetos próximos”</p> <p>Não sei (1)</p> <p>Em branco (3)</p> |

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Podemos diferenciar um planeta telúrico de um joviano por sua composição. Formulando de uma outra maneira, seria como perguntar: “Qual a diferença de um planeta rochoso e de um gasoso?”. O uso dos termos “telúrico” e “joviano” foram diferentes dos utilizados no curso para verificar se os acadêmicos eram capazes de estabelecer relações com o que foi abordado nos encontros. Um planeta telúrico pode ser definido como aquele que tem composição rochosa, enquanto um planeta joviano é gasoso. No caso do Sistema Solar, o gradiente de temperatura a partir do Sol tem influência e, decorrente disso, temos os planetas rochosos – como os quatro primeiros –, que estão mais perto do centro, do que os planetas gasosos – os quatro últimos.

As respostas ilustradas no quadro 14 e obtidas com o pré-teste indicam apenas uma correta. Entretanto, no pós-teste, obtivemos nas respostas aquilo que foi debatido no encontro, variando comente em quantidade de elementos.

O tema foi tratado no terceiro encontro, no mês de setembro no CC, momento em que iniciamos a discussão sobre o Sistema Solar. Definimos o entendimento de “planeta” a partir de pontos como o tamanho do planeta, distância dele, objeto até a estrela, influência gravitacional e a órbita estando no mesmo plano dos demais.

Quadro 15 - Questão 11 do pré-teste e do pós-teste com as respectivas respostas.

| PRÉ-TESTE | RESPOSTAS |
|---|--|
| A datação por elementos radioativos permite a estimativa de conhecer uma passagem de tempo, como este processo é realizado? | <p>“Por meio da datação de meia-vida de um elemento”</p> <p>“A partir do decaimento atômico do átomo é possível determinar a sua idade aproximada”</p> <p>“Sabe-se que existem elementos radioativos a uma taxa constante, assim observando a proporção existente em um material e comparando com a meia vida da ‘substância’, é possível saber a quanto tempo começou a decair”</p> <p>“Ele é medido pelo decaimento radioativo e conforme o tempo passa, o nível radioativo vai caindo”</p> <p>“Indicativa da decomposição dos materiais radioativos, no material estudado”</p> <p>“Sabendo-se a meia vida, pode-se determinar o número de vezes que ocorreram fissões e então calcular o período de tempo”</p> <p>Em branco (4)</p> |
| PÓS-TESTE | RESPOSTAS |
| Como se pode medir a passagem do tempo usando a radioatividade? | <p>“Pelo decaimento atômico de um elemento”</p> <p>“Sabendo-se a meia vida de cada elemento”</p> <p>“Através da meia-vida e decaimentos”</p> <p>“Através de seu decaimento”</p> <p>“Através da declividade da radiação”</p> <p>“Pelo decaimento do elemento radioativo”</p> <p>“Através do cálculo de decaimento da meia vida de um material. Basta saber o tempo de decaimento e a massa da amostra”</p> <p>Não sei (1)</p> <p>Em branco (1)</p> |

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

As questões apresentadas nos pré e pós-testes e expressas no quadro 15 se diferenciavam apenas na sua formulação, apresentando o mesmo objetivo, relacionado à identificação dos conhecimentos sobre radioatividade. As respostas revelaram que os participantes apresentaram os mesmos elementos no pré e no pós. Somente uma resposta foi satisfatória entre os dois testes. Tal resposta correta se apresenta no pós-teste e assinala dois elementos: a meia-vida e a massa da amostra. O resto das respostas carece de informações, sendo incompletas ou equivocadas.

Um dos tópicos discutidos nos encontros foi que a estimativa de passagem do tempo por meio da radioatividade se faz pelo conhecimento da meia-vida do material usado e a contagem das porções relativas do elemento-pai e o elemento-filho, isto é, a quantidade de matéria original e a quantidade de matéria derivada do processo. Um exemplo pode ser o urânio que, “sabendo o tempo de meia-vida do urânio e o seu produto final, basta uma mera comparação entre as quantidades de urânio-238 e o chumbo-206 para definirmos a idade do material” (PRODUTO EDUCACIONAL, 2019, p. 55).

Quadro 16 - Questão 12 do pré-teste e do pós-teste com as respectivas respostas.

| PRÉ-TESTE | RESPOSTAS |
|--|---|
| Qual é o fator determinante para a vida de uma estrela (cor, temperatura, vida, e etc.)? | <p>“O elemento que entra em fusão majoritariamente”</p> <p>“A quantidade de matéria envolvida no colapso gravitacional e os elementos presentes”</p> <p>“Principalmente a massa, mas também os elementos químicos que a compõem”</p> <p>“Os elementos químicos dos quais as estrelas são formadas”</p> <p>Intensidade luminosa (1)</p> <p>Temperatura (3)</p> <p>Composição (2)</p> <p>Tamanho (1)</p> <p>Em branco (3)</p> |
| PÓS-TESTE | RESPOSTAS |
| Sabendo a massa de uma estrela, quais características podemos determinar? | <p>“Seu tempo de vida e sua gravidade”</p> <p>“Idade, elementos que ela funde, tamanho”</p> <p>“Ocorre fusão no centro, e mas demora para liberar os elementos por causa da densidade”</p> <p>“Cor, tamanho, tempo de vida”</p> <p>Idade, tempo de vida, tipo”</p> <p>“Cor, temperatura, tamanho, tipos de elementos”</p> <p>“Elementos, luminosidade, cor, densidade, atração gravitacional”</p> <p>“Sabendo a massa é possível determinar a tempo restante de vida da estrela, caso se saiba a composição”</p> <p>Em branco (1)</p> |

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

A questão 12, no quadro 16, apresentada no pós e pré-teste, foi organizada para verificar se os acadêmicos eram capazes de identificar o que determina a vida de uma estrela. As respostas permitem identificar que, no pós-teste, foram mencionados vários elementos como

resposta, diferentemente do pré-teste, quando somente duas das respostas foram satisfatórias. Tal situação evidencia que os participantes estiveram envolvidos com o tema.

O tema foi amplamente discutido no segundo encontro, a partir dos seguintes aspectos:

Se tomamos o nosso Sol como referência de massa e analisarmos algumas estrelas, vamos notar que, não somente a massa influencia na questão do tempo de vida, mas também no seu desfecho, envolvendo temperatura e brilho. De acordo com a sua massa podemos definir o seu futuro se tornando uma estrela anã branca, um buraco negro ou uma estrela de nêutron. Da mesma maneira, o brilho e a temperatura de uma estrela também será definido pela sua massa, uma vez que os corpos estelares mais massivos são mais quentes e luminosos (cores branca, azul), enquanto as menores são mais frias e menos luminosas (cores vermelho, laranja) (PRODUTO EDUCACIONAL, 2019, p. 25).

A questão, no primeiro momento, é formulada em um sentido, enquanto, no segundo, o seu sentido é invertido. Se faz importante perceber que tanto a questão do pré-teste quanto a do pós tem um fator em pauta: a massa. De mesmo modo, podemos remeter a outras questões, como a um e a sete do pós-teste e a sete do pré, que envolvem a mesma pauta.

Quadro 17 - Questão 13 do pré-teste e do pós-teste com as respectivas respostas.

| PRÉ-TESTE | RESPOSTAS |
|---|---|
| Elementos químicos com um número atômico muito alto comumente são elementos radioativos, qual é a explicação para isso? | <p><i>“Devido a sua instabilidade para manter seu número atômico”</i></p> <p><i>“A estabilidade do átomo devido ao seu tamanho”</i></p> <p><i>“A força necessária para manter esses átomos estáveis seria muito grande”</i></p> <p><i>“São instáveis (com meia-vida) e acabam por liberar energia radioativa quando se transformam”</i></p> <p><i>“Por ele ter uma vida mais curta, por ser um grande emissor de partículas e ser instável”</i></p> <p><i>“Por possuírem maior carga, é mais provável a quebra de suas subpartículas”</i></p> <p><i>Núcleo instável (1)</i></p> <p><i>Em branco (4)</i></p> |
| PÓS-TESTE | RESPOSTAS |
| Qual é a explicação para que elementos pesados apresentaram características radioativas? | <p><i>“A instabilidade do núcleo”</i></p> <p><i>“Ficam muito pesados, precisando de um alto nível de energia para se manter”</i></p> <p><i>“Interação nuclear mais instável”</i></p> <p><i>“Pois são mais instáveis”</i></p> <p><i>“Possuem núcleos muito grandes”</i></p> <p><i>Em branco (3)</i></p> |

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

O quadro 17 exhibe o questionamento do pré-teste e do pós-teste, que foram as mesmas, se diferenciando apenas na formulação. O objetivo era averiguar se os licenciandos apresentavam conhecimentos antes e depois da intervenção relacionadas à instabilidade nuclear. Tal ponto seria abordado no terceiro encontro, quando foi explicitada a idade da Terra.

O tema que também foi abordado na questão 6 do pré-teste e 5 do pós-teste, como exemplificado no quadro 6, obteve como resposta que os elementos químicos pesados apresentem características radiativas, centrando-se na instabilidade do núcleo e no seu tamanho. Além disso, observamos pouca evolução nas respostas entre os dois testes.

Quadro 18 - Questão 14 do pré-teste e do pós-teste com as respectivas respostas.

| PRÉ-TESTE | RESPOSTAS |
|--|---|
| Explique o conceito de meia-vida. | <p><i>“É o tempo necessário para o número atômico de um elemento cair pela metade”</i></p> <p><i>“Tempo para que um quantum de determinado elementos decaia sua massa pela metade”</i></p> <p><i>“Depende do seu decaimento radioativo”</i></p> <p><i>“O tempo que uma determinada massa demora para decair a metade dessa massa”</i></p> <p><i>“São referentes a duração de alguns elementos radioativo”</i></p> <p><i>“Duração de vida de um átomo”</i></p> <p><i>“É a metade de vida de uma estrela”</i></p> <p><i>“Tempo que o elemento radioativo leva para decompor”</i></p> <p><i>“Meia vida é o período para que ocorra a fissão”</i></p> <p><i>Em branco (2)</i></p> |
| PÓS-TESTE | RESPOSTAS |
| Durante quanto tempo um elemento se mantém radioativo? | <p><i>“Enquanto estiver instável”</i></p> <p><i>“Até o núcleo estabilizar”</i></p> <p><i>“Até decair”</i></p> <p><i>“Até que haja um decaimento suficiente”</i></p> <p><i>“Até formar um núcleo estável”</i></p> <p><i>“Durante seu período de meia-vida”</i></p> <p><i>Em branco (2)</i></p> |

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

O tema abordado nessa questão, expressa no quadro 18, era relacionado à “meia-vida”, cujo conceito aparece como importante em se tratando do estudo da radioatividade. O termo é aplicado para definir o tempo que a metade de uma porção de matéria se transmuta em outra.

Nos encontros, o tema foi abordado da seguinte forma:

Podemos utilizar o exemplo do carbono-14 (isótopo mais usado para a datação de compostos orgânicos) onde a sua meia-vida é de, aproximadamente, 5000 anos. Isto significa que em 5000 anos, um quilograma de carbono-14 terá transmutado em 500 gramas em nitrogênio-14. Estes 500 gramas restantes de carbono levaram mais 5000 anos para que 250 gramas se transformem em nitrogênio e assim sucessivamente. Desta forma, a cada meia-vida de um elemento, a sua atividade radioativa se reduz à metade da anterior até que atinja valores insignificantes que, de tão pequenos não possam ser percebidos (PRODUTO EDUCACIONAL, 2019, p. 54).

Analisando as respostas tanto no pré-teste como no pós-teste, identificamos que elas foram incompletas e pouco satisfatórias. No pós-teste, por exemplo, observamos que nenhum dos acadêmicos abordou de forma completa o tempo que um elemento se mantém radioativo.

Quadro 19 - Questão 15 do pré-teste e do pós-teste com as respectivas respostas.

| PRÉ-TESTE | RESPOSTAS |
|--|--|
| Aponte uma área onde necessite dos conhecimentos da Física Nuclear e como ele é utilizado. | <i>Engenharia Nuclear (1)</i> <i>Medicina (3)</i> <i>Engenharia Física (1)</i> <i>Física Médica (1)</i> <i>Astronomia (1)</i> <i>Engenharia Química (1)</i> <i>Usinas Nucleares (2)</i> <i>Tomografia (1)</i> <i>Radioterapia (1)</i> <i>“Energia” (3)</i> <i>Fissão Nuclear (2)</i> |
| PÓS-TESTE | RESPOSTAS |
| Quais são os cuidados que se deve ter quando existe a exposição à radiação? | <i>“Lavar as mãos, olhos, não ter contato com a boca e ir em um médico”</i> <i>“Usar luvas e equipamentos de proteção, com materiais que bloqueiam a passados dos raios gama, radioativos”</i> <i>“Usar roupas e equipamentos adequados para que não ocorra contaminação”</i> <i>“Todos os possíveis”</i> <i>“Chamas as autoridades responsáveis, não mexer e se afastar”</i> <i>“Não se expor por muito tempo, evitar exposição direta, não ingerir”</i> <i>“Proteger-se com roupas adequadas e não encostar”</i> <i>Em branco (2)</i> |

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Nesse último questionamento, ilustrado no quadro 19, que foi, de certa forma, equivalente nos dois testes, tivemos o objetivo de verificar se os acadêmicos tinham ampliado seus conhecimentos sobre a presença e importância dos conhecimentos de FN na vida das pessoas e, por consequência, os cuidados que devemos ter com ela. As respostas obtidas permitem inferir que, no primeiro teste, os acadêmicos apontaram, com respostas curtas e diretas, diversas áreas que julgavam envolver ou necessitar de conhecimentos de FN. No pós-teste, por sua vez, identificamos que eles foram mais abrangentes e capazes de citar cuidados que são necessários quando uma pessoa é exposta à radiação.

Situações de risco envolvendo radiação foram um dos aspectos explorados nos encontros, conforme descrito a seguir:

[...] provenientes da radiação em organismos biológicos no começo do século XX ainda eram desconhecidos e por isso, não havia precaução alguma. Contém vários relatos de mortes devido a manipulação de elementos radioativos que na época eram ignorados. No corpo humano podem ocorrer lesões, leves ou mais graves, dependendo da intensidade da radiação. Essas lesões podem ocorrer na pele ou em órgãos internos do corpo. Com grande energia, a radiação é capaz de destruir as moléculas que compõem esses órgãos (PRODUTO EDUCACIONAL, 2019, p. 84).

Além disso, os cuidados também foram mencionados ao relatar o acidente radiológico com o céσιο-137, cujos reflexos ainda são sentidos, mesmo após mais de 30 anos.

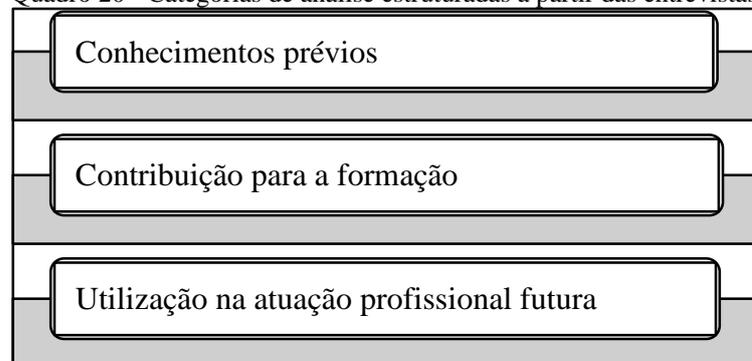
5.4 Análise das entrevistas

O apresentado na seção anterior permitiu analisar se os participantes do curso obtiveram ganhos cognitivos em relação ao tema tratado. Nesse sentido, percebemos que, em grande parte das situações, os testes revelam haver possibilidades desse aumento no conhecimento. Para alguns participantes e em alguns itens, o teste se mostrou problemático, oportunizando poucos avanços.

Nessa segunda parte do estudo, analisaremos as entrevistas dos participantes realizadas posteriormente ao desenvolvimento do módulo didático. As entrevistas do tipo semiestruturadas contara, com nove itens (APÊNDICE J) e buscaram avaliar aspectos vinculados à viabilidade didática, em termos da contribuição para a formação dos licenciandos, e à proposta didática, especialmente, considerando que se tratam de futuros professores. Nesse contexto, cada uma das questões foi estruturada de modo a buscar elementos que permitissem avaliar o trabalho desenvolvido, bem como retomavam aspectos vinculados aos conhecimentos discutidos nos encontros.

Participaram da entrevista nove acadêmicos, selecionados a partir da identificação de que haviam participado de todos os encontros. As entrevistas foram individuais e gravadas em áudio, sendo transcritas na íntegra. A leitura do material indicou a possibilidade de agrupamento das respostas em três categorias, que estão expressas no quadro 20: conhecimentos prévios; contribuição para a formação; e utilização na atuação profissional futura. Tal estruturação subsidiou a análise das entrevistas e passa a ser objeto de discussão deste texto.

Quadro 20 - Categorias de análise estruturadas a partir das entrevistas.



Fonte: autor, 2018.

A primeira categoria teve como objetivo averiguar os conhecimentos anteriores dos licenciandos, a forma como esses conteúdos de FN estiveram presente na sua formação na Educação Básica e o interesse dos mesmos pelo tema. A segunda categoria teve o propósito de

avaliar o curso desenvolvido, examinando questões como a operacionalização da proposta didática envolvendo o CC e a abordagem desses conteúdos durante o curso de graduação em Física. A última categoria foi pautada pela percepção dos participantes quanto à presença dos conteúdos abordados em relação ao Ensino Médio e pela perspectiva de adotar o CC como ferramenta didática.

Sobre a análise, destacamos que sua organização envolve uma apresentação sobre o que a categoria contempla, seguida de discussões relacionadas às falas decorrentes das entrevistas em diálogo com a literatura pertinente. Com relação a essas falas, destacamos que, quando utilizadas no texto, são representadas em itálicos, utilizando-se o gênero masculino e com correção dos vícios de linguagem. Além disso, as falas, quando identificadas em relação aos entrevistados, são representadas pela letra “E”, seguida de numeração, que inicia em 1 e termina em 9 (E1, E2, ..., E9).

Conhecimentos prévios

A primeira categoria está relacionada às respostas dos entrevistados sobre seus conhecimentos prévios em FN, bem como o interesse pelo assunto em face a esses conhecimentos. Os questionamentos sobre isso circunscreveram o relato da presença desses conteúdos na Educação Básica e sobre o interesse deles em buscar o assunto de maneira voluntária e fora dos conteúdos escolares. O objetivo estava em identificar se os acadêmicos tinham consciência de que conhecimentos possuíam sobre FN e, ao mesmo tempo, se localizavam esses conhecimentos com fatos vivenciados.

Em termos da presença de FN nos conteúdos abordados na Educação Básica, a resposta negativa foi unânime, sendo que cinco dos entrevistados mencionaram que nem na graduação haviam estudado o assunto. Três mencionaram que na disciplina de Química no Ensino Médio tinham sido contemplados apenas alguns tópicos e somente um mencionou ter estudado quando cursou, por três semestres, a graduação de Química - Bacharel. Outros, entretanto, relataram que, por interesse próprio haviam buscado informações sobre o assunto, especialmente no que se refere ao Projeto Manhattan, as forças de interação da matéria e os acidentes nucleares.

A internet foi a fonte mais citada na busca pelos conhecimentos de forma voluntária, bem como as discussões realizadas em grupos de estudo ou de amigos, conforme fora mencionado pelos entrevistados E6, E7 e E9, cujas falas são relatadas a seguir:

E6: *Na graduação, muito pouco. Algumas coisas paralelas em matérias como Física Moderna II. No Ensino Médio, nada, mas, por interesse próprio, busquei algumas informações, algo bem superficial, sem aprofundamento.*

E7: *Sempre tive interesse no tema, mas não lembro de ter estudado ele no ensino médio. Nem mesmo em Física Moderna ele foi mencionado na escola, mas tinha no livro de Física, eu lembro. Em Química, acho que vimos algo, mas coisas sobre o átomo [...]. Na graduação, também vimos isso na disciplina de Química.*

E9: *Dentro da graduação, não, especificamente, nas matérias, mas em conversas paralelas. Algumas vezes, discutimos sobre o assunto, coisas do tipo sobre o Projeto Manhattan. No Ensino Médio, não lembro, mas, no fundamental, lembro uma vez que o meu antigo professor de Ciências estava entrando naquela questão de átomos e tudo mais e, aí, acabou evoluindo a conversa, particularmente, entre eu e ele, sobre o assunto. Foi mais uma conversa que surgiu, não era específico da aula.*

A ausência de discussões envolvendo a temática no Ensino Médio, bem como de outros tópicos correspondentes à Física Moderna, conforme descrito pelos entrevistados, vai ao encontro do que é apontado por autores como Cortez (2014), que relata a ausência desses conteúdos na escola. Nas palavras do autor:

A disciplina de Física nas escolas não contempla de maneira uniforme todos os assuntos e temas que, em princípio, deveriam ser abordados. Nosso ensino de Física tem dado mais ênfase aos conteúdos de Física Clássica e somente no final do terceiro ano do Ensino Médio se introduzem fragmentos de assuntos contidos no que denominamos de Física Moderna (p. 8).

Quanto ao Ensino Superior, a FN, quando integrada aos currículos de formação de professores de Física, consta nos últimos semestres da graduação. Na maioria dos currículos investigados, como o que fora relatado na introdução dessa dissertação, ela não é uma disciplina específica, mas um tópico da Física Moderna. Tal situação foi identificada no universo investigado neste estudo, em que os alunos que estavam no último nível mencionaram ter tido contato com a FN em alguns momentos da disciplina de Física Moderna II.

As colocações dos entrevistados encontram respaldo no estudo de Garcia (2015), que salienta que a FN se revela uma das lacunas mais contundentes no Ensino Superior em se tratando da formação de professores de Física. Todavia, o autor chama a atenção para outros tópicos igualmente importantes e que não têm sido contemplados na maioria dos currículos:

Há outros temas contemporâneos, como a nanotecnologia, a cosmologia, os sistemas complexos, etc., que também não foram devidamente incorporados, ou seja, muitos temas de FMC não são tratados no Ensino Superior. E a forma o como são, nos cursos de licenciatura, não incorporam as finalidades formativas que se espera que esses conhecimentos passem a assumir no Ensino Médio (GARCIA, 2015, p. 304).

Buscando conhecimento em FN de forma voluntária, os entrevistados realizaram pesquisas, motivadas pela curiosidade e pelo interesse. Porém, alegam que o conhecimento adquirido a partir das informações que encontraram era pouco aprofundado e permeado de incompreensões e incertezas. Os fragmentos de falas a seguir corroboram o mencionado.

E5: *Bastante diferença [referindo-se aos conhecimentos antes e depois do curso]. Teve bastante diferença. Algumas coisas eu já sabia e tinha dúvidas, que foram esclarecidas agora. Outras eu lembrei. Também teve muita coisa nova. Por exemplo, eu não sabia que o urânio era o elemento com maior número atômico natural.*

E8: *Algumas coisas eu sabia, mas eram conhecimentos soltos, adquiridos aqui ou ali [...]. O curso ajudou bastante, inclusive, na matéria da Física Moderna II. Ajudou bastante, mais na parte do Modelo Padrão.*

E1: *Antes, basicamente, eu tinha um rascunho das coisas, algo como definições, mais coisas que busquei por curiosidade. Só que, agora, eu vi uma ligação entre elas, porque, durante o curso, bastantes coisas foram bem explicadas. Teve uma construção do raciocínio e isso me levou a ter uma curiosidade de ir atrás de mais coisas.*

Por outro lado, os entrevistados mencionaram algumas dificuldades decorrentes desses poucos conhecimentos prévios para acompanhar a atividade. O pré-teste, talvez, tenha sido o momento em que eles se depararam com essa falta de conhecimento e manifestaram preocupação quanto à capacidade para acompanhar as discussões. No decorrer dos encontros e com a liberdade de discussão, eles foram se sentindo confiantes.

A linguagem foi outro ponto identificado pelos participantes como distante dos seus conhecimentos. A falta de contato com conteúdos associados à FN impactava em dificuldades de compreensão. Para o entrevistado E8, as discussões se diferenciaram dos conteúdos tradicionalmente abordados em Física, pois havia termos muito específicos e as discussões “*exigiram mais atenção, pois teve toda a construção do conhecimento, do conceito e tudo mais. Não foi algo explícito e pronto, como estava acostumada.*” A fala apoia-se na diferença entre discutir conteúdos que envolvem menos parte matemática e fórmulas e mais reflexão e discussões, o que se diferencia da Física Clássica, na qual as explicações, normalmente, estão focadas em fórmulas e seguidas por uma infinidade de problemas a serem resolvidos.

No decorrer da experiência, notamos que os alunos apresentavam pouco conhecimento prévio sobre a FN e que os currículos do Ensino Médio, bem como dos cursos de formação de professores, ainda carecem de propostas efetivas que valorizem os seus conteúdos como parte importante do processo de alfabetização científica. Também verificamos que os entrevistados abordaram as suas dificuldades na apropriação de um novo modo de pensar a Física, distinto

do recorrente na Física Clássica, que se apoia menos no formulismo matemático e mais na reflexão e compreensão conceitual. Outro aspecto que pode ser considerado como relevante frente aos dados coletados e enquadrados nessa categoria é que os estudantes lembram pouco dos conteúdos escolares, pois questões com fusão, modelo atômico, número atômico e outros assuntos foram pouco tratadas em seu processo de escolarização. O fato de alguns alunos sequer lembrarem de alguns conteúdos nos leva a uma reflexão sobre o modo como a Ciência tem sido ensinada na escola e reforça a necessidade de buscarmos propostas didáticas mais eficazes.

Contribuição para a formação

Uma segunda categoria se faz pertinente frente às respostas dos entrevistados e encontra-se associada à avaliação do curso desenvolvido. O objetivo do conjunto de questionamentos realizados na entrevista e que deram origem a essa categoria era verificar a potencialidade do curso em termos de aquisição de conhecimentos. Ao analisar as falas dos entrevistados sobre esse quesito, julgamos estar avaliando a metodologia utilizada, uma vez que ela pode favorecer ou não o processo de aprendizagem, conforme Astolfi e Develay (2014).

Entre os aspectos metodológicos discutidos pelos participantes e que, em seu entendimento, foram positivos, está o uso do CC como guia estruturante das discussões. De acordo com a maioria, a percepção da evolução do Universo, assim como dos conceitos da Física, favoreceu a compreensão do conteúdo, pois oportunizou “uma linha clara e interessante de pensamento”, segundo palavras de E5. De acordo com outros dois entrevistados, temos:

E3: Eu achei bastante interessante [referindo-se ao CC], pois você começa a ter a dimensão de comparação de escala. São coisas comparativas que fazem você imaginar como se diminuir a escala em um espaço. Um ínfimo daquele padrão que você adota significa uma quantidade de tempo enorme, uma quantidade de evento muito significativa no nosso contexto real, como quando se começa a falar da parte que existe a humanidade e as descobertas que a gente conseguiu. Isso é o quê? Uns 40 segundos do último dia de ano. Então, pensa, tudo o que a gente já viveu na nossa humanidade, tudo o que a gente conseguiu descobrir, tudo o que sabemos sobre o Universo são coletados nesses 40 segundos. É, então, acredito que uma sacada legal, uma iniciativa bem interessante de ter feito isso com a FN.

E2: O curso começou bem abrangente. Começou pela parte da Cosmologia para, depois, chegar na radiação. Foi uma maneira de introduzir que eu achei bem interessante [...]. A sequência que foi utilizada também foi bem legal, indo primeiro pela origem do Universo, os primeiros momentos até as primeiras partículas, primeiros átomos, etc. O uso do CC foi muito interessante e fez a gente pensar um pouco sobre o universo e a presença do homem.

Em termos da contribuição do curso para a formação dos licenciandos, entendemos, pelas suas falas, que ela foi positiva, como fora afirmado por quatro acadêmicos nas entrevistas, cujas alegações podem ser analisadas a seguir:

E9: *Ele [referindo-se ao curso] clareou várias ideias que eu tinha. Deu um norte a alguns assuntos que eu tinha curiosidade. Em questão de sala de aula, possivelmente, apareçam algumas dúvidas pertinentes e eu vou ter uma ferramenta para buscar respostas.*

E8: *Facilitou bastante, pois não foi uma “agressão”, uma coisa direta. Teve o curso e, depois, tive a matéria lá em Física Moderna II e isso facilitou bastante. Foram dois contatos diferentes, mas que se complementaram. Eu acredito que teria dificuldades na matéria sem a base do curso.*

E2: *Esse curso de extensão serviu para qualificar a graduação. Vou lembrar dele como algo que complementou minha formação, um plus que tive no decorrer do curso. Agradeço muito a oportunidade.*

E6: *O curso forneceu um conteúdo que, muitas vezes, não é abordado nem aprofundado na graduação, seja aqui ou em outra universidade, eu acho. Na graduação, nós só o temos em uma matéria e em parte, não tudo que tem no calendário. Um ponto positivo é a contextualização. Por exemplo, nós estudamos a fusão nuclear e como funciona, mas não onde ocorre. O calendário oportunizou esse conhecimento.*

Essas falas elucidam que os acadêmicos consideraram o curso uma possibilidade de ampliação de informações e uma ferramenta que contribuiu para a qualificação dos seus conhecimentos. Além disso, compreenderam e valorizaram as ações desenvolvidas, especialmente, a importância da contextualização como elemento central das discussões. Sobre isso, destacamos que o curso esteve pautado num processo de construção e transformação dos conceitos a partir de situações, ultrapassando a discussão dos saberes enclausurados em si. Wartha e Faljoni-Alário (2005), ao destacarem a importância da contextualização como forma de dar sentido aos conteúdos, pontuam que:

Buscar o significado do conhecimento a partir de contextos do mundo ou da sociedade em geral é levar o aluno a compreender a relevância e aplicar o conhecimento para entender os fatos, tendências, fenômenos, processos que o cercam. Contextualizar o conhecimento no seu próprio processo de produção é criar condições para que o aluno experimente a curiosidade, o encantamento da descoberta e a satisfação de construir o conhecimento com autonomia, construir uma visão de mundo e um projeto com identidade própria (p. 44).

Esse aspecto vinculado à contextualização nos remete ao que foi apresentado no capítulo 3. O ato de contextualizar busca aproximar o conteúdo do conhecimento, usando episódios não

para ilustrar um conceito, mas, sim, para iniciar e construir soluções a partir de situações-problemas.

Outros aspectos que apareceram nas falas foram o grau de aprofundamento envolvido nas discussões e a forma como o pesquisador condizia esses aspectos. Para os entrevistados, especialmente, os que estavam no quarto nível do curso, as dificuldades apareciam e, aos poucos, com perspicácia, o pesquisador conduzia as atividades de forma a esclarecer e possibilitar que todos acompanhassem as discussões, o que favoreceu o envolvimento de todos.

Com relação ao grau de dificuldade do curso, as falas de E3, E5 e E8 exemplificam o que fora defendido:

E3: Não digo que foi avançado, mas também não digo que foi fácil [...] Então, fica em uma parte intermediária, porque tiveram elementos de tranquila compreensão e elementos nem tanto. [...]. Teve um suporte bom para os conceitos utilizados para aquela área. Também, não necessitou esmiuçar todos os eventos físicos para compreender a situação apresentada.

E5: A organização do curso eu achei legal, porque sempre tinha alguém explicando para o outro, discutindo. Os que sabiam mais ajudavam os que tinham mais dificuldade. A forma como foi organizado possibilitou isso, eu acho.

E8: Foi de fácil a intermediário [referindo-se ao curso]. Para alguns, acho que ele foi mais fácil que para outros, porque tinha um grupo de alunos que era do último nível. Para esses que estavam tendo Física Moderna II, acho que ele foi mais fácil.

Em se tratando de contribuição para a formação, com base nos relatos dos alunos, o curso foi estruturado atendendo às especificidades do público que frequentou. As atividades possibilitaram uma intervenção em questões que alguns estudantes precisavam de mais esclarecimentos e oportunizaram que aqueles que tinham mais conhecimentos na área avançassem a visão. Os acadêmicos identificaram e valorizaram o auxílio do curso, enaltecendo a abordagem metodológica, especialmente, a estruturação de um CC e a contextualização do conceito em discussão.

Utilização na atuação profissional futura

A última categoria objetivou verificar o pensamento dos participantes em relação aos conteúdos abordados e a metodologia utilizada com foco na utilização deles em sua prática docente futura.

Sobre a pertinência de abordar estes conteúdos no Ensino Médio, os participantes foram unânimes em destacar a importância da FN. No entanto, se mostraram cautelosos em relação aos tópicos discutidos no curso. Em outras palavras, eles julgaram importante abordar o tema, mas ressaltaram que há necessidade de avaliar os conhecimentos prévios dos estudantes, especialmente, se considerarmos as escolas públicas, nas quais há poucos períodos semanais de Física. A fala de E2 exemplifica a importância do assunto e a de E5 a preocupação com os conhecimentos prévios dos estudantes do Ensino Médio.

E2: Eu acho importante [referindo-se à abordagem do tema no ensino médio], por causa da questão da Física Nuclear, dos materiais radioativos, que estão presentes ao nosso redor. Fazer que isso se torne um conhecimento presente no ensino médio e reduzir as discussões relacionadas ao pseudoconhecimento, como as de que o uso do microondas ou do celular causam câncer. Quando a gente estuda mais a fundo essa parte da Física Nuclear, da radiação, acredito que muitas dessas crenças, e incoerências em relação à ciência desaparecem.

E5: Acho muito importante ter essas coisas no Ensino Médio. Só fico pensando se os alunos iriam compreender, porque precisariam de conhecimentos de outras matérias, coisas da Química e da Biologia, que acho que, muitas vezes, não são dados, principalmente, na escola pública, que tem poucos períodos semanais e mais um monte de aulas com outras atividades da escola.

A fala de E5 permite identificar a preocupação com o fato de se os estudantes do Ensino Médio compreenderão as discussões relacionadas à FN, trazendo para o debate aspectos da psicologia cognitiva, que mostra a importância de termos subsunçores no acompanhamento das aulas ou que o conteúdo esteja na zona de desenvolvimento proximal, como nos lembram Ausubel e Vygotsky, respectivamente. Essa preocupação é salutar, uma vez que ela denota que os acadêmicos têm consciência da realidade que vão enfrentar e que não basta impor determinados conteúdos sem, antes, avaliar aquilo que os alunos já sabem.

Por outro lado, a fala de E2 expressa o destacado por Ricardo (2005), mostrando a relevância da contextualização no ensino de Ciências. De acordo com o autor:

[...] um ensino de ciências completamente desarticulado do mundo vivencial, ou da realidade dos alunos, acaba promovendo nestes a sensação de impossibilidade de interpretar esse mundo que os cercam via saberes científicos. Nesse caso, permanecem as explicações vulgares e os mitos, que resultam muitas vezes em concepções alternativas difíceis de serem superadas, pois “funcionam” nas suas relações imediatas com o seu contexto. Mostrar que a ciência é capaz desse empreendimento de apreensão da realidade deveria ser um dos objetivos da educação científica [...] é relevante salientar que o ensino de ciências deveria considerar como conteúdos de ensino a utilização do conhecimento científico como ferramenta para a interpretação, modelização e entendimento dos fenômenos complexos. Essa é uma das competências que se inserem dentro da grande competência de investigação e compreensão (p. 216-217).

O apontamento de Ricardo (2005) converge com a fala do acadêmico E8 sobre as dificuldades dos alunos para relacionarem o conhecimento científico ao mundo real. Esse abismo, o autor atribui, em parcela, “a um ensino excessivamente aportado em aplicação de fórmulas para resolução de problemas ou exercícios” (p. 215).

Sobre a possibilidade de utilizar o CC no ensino de Física, os participantes ressaltam que ele poderia ser uma alternativa, porque possibilita unir Astronomia à FN, além de se revelar um motivador e instigador da aprendizagem. Nas palavras de três dos entrevistados:

E1: De uma forma adaptada, eu acho que usaria [referindo-se ao CC]. Eu faria uma abordagem mais descontraída, recorrendo a imagens e vídeos, especialmente, envolvendo filmes. A Física Nuclear é bem pesada, então, eu iria propor de uma forma a evitar a matemática e trazer mais reflexão, conversas com os alunos.

E5: Usaria a ideia do calendário como base. Para dar uma contextualização, usaria a formação estela, radioatividade e outros conteúdos. A constante de Planck eu não usaria tanto, mas, do resto, usaria tudo, porque a forma como foi colocado no curso estava muito esclarecedor e tudo bem organizado.

E6: Eu usaria a parte mais simples do CC, mais conceitual. Usaria mais tempo para discutir e, talvez, reduzisse um pouco os conteúdos. O CC eu usaria, com certeza.

Ainda com relação à possibilidade de utilizar o CC como ferramenta didática para abordar os conteúdos de FN, os entrevistados concluíram suas percepções se mostrando confusos em relação ao modo como o utilizariam. As falas a seguir ilustram o mencionado:

E1: Eu acho interessante abordar toda a Física Moderna no Ensino Médio. Só que tem que transpor muita coisa. Como é conteúdo novo, ainda fica, em primeiro momento, muito exigente.

E2: Acho que sim, que abordaria a FN utilizando o CC, desde que os alunos tivessem os subsunçores para acompanhar. Mas eu acho que, sem uma base bem preparada para isso, ela fica ainda um pouco difícil para a questão do Ensino Médio. Como falei antes, a questão inicial é bem simples de entender: a parte da Astronomia, dos momentos históricos do nosso Universo... Mas acho que, dentro dos conteúdos do Ensino Médio, os alunos teriam um pouco de dificuldade para trabalhar questões envolvendo a Física Atômica, a Química Atômica e as Interações Atômicas.

E3: Inicialmente, não [referindo-se ao CC]. Se for de uma maneira lenta e gradual, talvez, sim. Ir construindo aos poucos, estendendo o tempo e dando aplicações do conteúdo. [...] O conteúdo tem uma potencialidade, ainda que não seja de todo o dia, mas, em algum momento, vai ter a presença dele no cotidiano. E são coisas importantes para saber, como também para despertar o interesse pela Ciência.

A fala de E3 mostra a potencialidade de atividades como essa para instigar o gosto pela Ciência. Aproximar os jovens da Ciência tem sido uma preocupação em diversos países, uma vez que se observa um gradativo desinteresse por carreiras científicas (PINAFO, 2016; GOUW; MOTA; BIZZO, 2016). Tal fenômeno vem sendo discutido pelos pesquisadores, que consideram que, como no Brasil, estudantes não possuem a pretensão de seguir uma carreira científica, ainda que demonstrem interesse pela área de ciências naturais.

A Astronomia tem representado um mecanismo para atrair os estudantes ao curso de Física, como revela Stannard (1990), que identificou a Astronomia/Astrofísica como aqueles conteúdos mais interessantes e influentes na escolha da graduação de Física.

Ao finalizar a discussão dessa categoria, destacamos que ela apontou que os acadêmicos enxergam o CC como uma ferramenta didática interessante para contextualizar o conteúdo e também a consideram um arranjo maleável. Esse arranjo maleável oportuniza a seleção de conteúdos, privilegiando um tópico em detrimento de outro, o que proporciona o seu uso personalizado, aumentando o número de versões que pode ser utilizado.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo, orientado a partir da identificação da carência de inovações, melhorias e qualificações dentro do processo escolar, buscou desenvolver, aplicar e analisar a pertinência de um material de apoio para professores do Ensino Médio. A relevância da proposta surge frente às necessidades de qualificar a apropriação dos conceitos da área da FN e de possibilitar uma abordagem didática de forma contextualizada e instigante. Além disso, o material desenvolvido busca contribuir para a alfabetização científica, particularmente, em termos de levar à Educação Básica possibilidades para formação de estudantes mais críticos, conscientes e comprometidos com a sociedade em que vivem. A importância dos conteúdos contemplados no módulo didático reside na sua presença no cotidiano das pessoas e por agregarem um corpo de conhecimentos que tem sido pouco explorado na escola.

O produto educacional, representado pelos conteúdos presentes no módulo didático e que representa um material de apoio para professores do Ensino Médio, teve como inspiração o uso do CC como elemento estruturador dos tópicos de FN. O intuito de utilizar o CC foi de representar a idade do Universo, em sua totalidade, na forma de um calendário, cujas discussões começam com o *Big Bang*, em primeiro de janeiro, e terminam na atualidade, 31 de dezembro.

A operacionalização desse material ocorreu junto a um grupo de professores em formação inicial e foi desenvolvida na forma de um módulo didático. Esse, por sua vez, foi estruturado em quatro encontros presenciais, de 4 horas/aula cada um, e mais um extraclasse, destinado a leituras, caracterizando uma atividade de natureza extensionista do curso de Física-L, *locus* do estudo. O foco esteve atrelado à aplicação da proposta balizada por conteúdos de FN presentes no Ensino Médio.

A aplicação da proposta didática foi permeada por discussões e uma constante interlocução dos acadêmicos com o pesquisador, mostrando o interesse pelo tema e, ao mesmo, tempo revelando que, para muitos deles, esse representava um dos primeiros momentos de contato com a temática. As respostas dadas aos questionários nas formas de pré e pós testes, bem como na entrevista, elucidaram que poucos deles tinham tido contato com a FN durante sua formação na Educação Básica ou mesmo no início da graduação. Todavia, havia aqueles que, por conta própria ou levados por outras disciplinas curriculares, apresentavam algum conhecimento sobre o assunto. A diferença entre os grupos levou a recortes e à inclusão de tópicos como forma de contemplar o conteúdo ao que o módulo havia sido proposto.

Outro aspecto relevante nesse momento de conclusão do estudo refere-se ao tempo destinado para a efetivação do módulo didático. Nesse sentido, é preciso registrar que os debates

e os questionamentos dos acadêmicos foram intensificados a cada encontro, o que resultou na redução do tempo planejado para aprofundar determinados temas. Por vezes, o pesquisador se deparava com escolhas frente ao tempo e, dessa forma, alguns aspectos tiveram de ser encaminhados para leituras em horários alternativos e para discussões em outros momentos. Outrossim, mencionamos que essa questão do tempo frente à possibilidade de desenvolver, em quatro encontros presenciais, os tópicos elencados para o estudo levou à estipulação de recortes, que julgamos não ter refletido em prejuízos para a compreensão dos temas que integraram o estudo, embora pudessem ter sido ampliados, particularmente, pelo público ser estudantes de graduação. Com isso, destacamos que, em aplicações futuras, deve-se reservar mais tempo, viabilizando a ampliação das discussões e dos conteúdos abrangidos. Essa percepção ficou nítida no momento das entrevistas.

Aqui podemos indicar também a utilização de cada capítulo separado para a prática docente. Sendo o capítulo 1 dedicado ao Big Bang, a nucleossíntese primordial e os primeiros momentos do Universo. O capítulo 2 sobre a formação e evolução estelar, e em especial, a fusão nuclear. Já no capítulo 3, o seu foco são as maiores estruturas do Cosmos. Iniciando com as galáxias, aglomerados e superaglomerados e decrescendo de tamanho passando por sistemas, estrelas, planetas, asteroides e cometas. No capítulo 4, a radioatividade é o tema. Partindo da formação dos planetas e da Lua, o capítulo busca elucidar a maneira de que se tem conhecimentos sobre estes períodos. No penúltimo capítulo, é discorrida sobre a evolução biológica do homem em uma visão interdisciplinar. Com os primeiros seres, os primeiros animais, hominídeos, a revolução do neolítico e a idade dos metais. Por fim, no último capítulo é realizada um resgate histórico sobre a astronomia e física, percorrendo um caminho das eras pré-Cristãs até os dias atuais.

Sobre a análise dos questionários de pré-teste e pós-teste, relatamos que foi possível averiguar uma evolução nos conhecimentos dos acadêmicos como decorrência das atividades desenvolvidas. Essa evolução ocorreu dentro da individualidade de cada um, sendo mais significativa para uns do que para outros. Evidentemente, isso está relacionado aos conhecimentos prévios, uma vez que alguns já haviam tido contato com o tema, conforme mencionado anteriormente. Essa disparidade reforça a importância de ampliação do tempo voltado para a aplicação do módulo didático.

Um outro detalhe levantado pelos testes foi o espaço um pouco informal trazido pelo curso e que possivelmente tenha influência nos testes, uma vez que os participantes não tinham uma “responsabilidade por uma nota boa”. Dentro disto, as respostas obtidas nos testes deram

a exposição de uma dificuldade de escrita pelos estudantes. Isto fica visível nas respostas curtas e pouco elaboradas.

Em termos das entrevistas, destacamos três aspectos relatados pelos sujeitos da pesquisa e que consideramos significativos para serem mencionados: um maior tempo para o desenvolvimento da atividade, como já apresentado; a pertinência da contextualização enquanto ferramenta didática; e a importância do produto educacional como material de apoio para professores.

O segundo aspecto mencionado e demonstrado na análise das entrevistas reflete a pertinência do uso da contextualização por meio do CC, pois, segundo as falas dos licenciandos, é por meio dela que conseguimos olhar para além do conteúdo e dar significado àquilo que estamos estudando. Tais relatos convergem com o discutido no referencial teórico deste texto acerca da contextualização.

Dentro de outras considerações com base nas entrevistas foi possível perceber uma visão conteudista por parte dos entrevistados. E além desta visão, uma insegurança dos mesmos em abordarem estas questões. Em parte, isso se mostra perante a ausência ou a carência destes tópicos na sua formação. Assim, a fala dos entrevistados sugere uma abordagem suprimida (rasa, insegura, ou até mesmo inexistente) destes conteúdos.

Outra consideração a ser feita é sobre a construção do conhecimento fora do ambiente educacional, ou formal. Sendo que aqueles que possuíam mais conhecimentos prévios obtiveram através, partindo da curiosidade, de pesquisas na internet. Aqui cabe até um questionamento sobre o “tempo de validade” da escola, ou até mesmo a necessidade de frequentar a mesma. De fato, com o aumento do acesso à internet, gradativamente é possível ver diversos sites online que oferecem vídeo-aulas de vários níveis de forma gratuita (e que muitas vezes é a solução de estudantes para revisar conhecimentos) como a Khan Academy, e até mesmo instituições públicas criando videotecas com grande acervo e ministradas por professores gabaritados. Podendo citar a Universidade Federal Fluminense (UFF) com canais no YouTube, ou até mesmo o Instituto de Matemática Pura e Aplicada (IMPA) com acervo próprio de nível básico até doutorado com acesso público.

Sobre o produto educacional, terceiro aspecto elucidado na fala dos licenciandos, destacamos que ele permite instigar e fomentar alternativas de melhorias ao processo de ensino-aprendizagem no Ensino Médio, tanto em termos da FN quanto sobre o Universo. A atividade desenvolvida e o material elaborado poderão subsidiar ações futuras, com professores em fase inicial de formação ou em formação continuada.

Por outro lado, é importante relatar algumas dificuldades encontradas, particularmente, relacionadas à produção do material de apoio elaborado para o estudo. Entre elas, destacamos a de buscar informações em fontes primárias, isto é, buscar o conhecimento dentro do meio científico, e, a partir disso, realizar a transposição didática necessária a um material como o elaborado neste estudo. Nesse contexto, evocamos Chevallard e Johsua (1991), que mostram a importância de o professor ter contato com as fontes primárias, o saber sábio, como aquele produzido pelo cientista em suas primeiras divulgações. O contato com esses documentos possibilita ao professor a compreensão sem o processo de transposição realizado pelos autores de livros didáticos. Isso evita a realização de várias transposições, o que acaba despersonalizando e descontextualizando o conhecimento, conforme mostrado por Astolfi e Develay (2014). Embora esse possa ser um tema para estudos posteriores, estabelecendo um comparativo entre os conhecimentos produzidos pelos cientistas e os que integram o livro didático, destacamos a importância de esse conhecimento estar disponível para que os professores possam utilizá-lo e realçar as suas próprias transposições didáticas.

Ainda, queremos registrar uma segunda dificuldade encontrada no momento de produção o texto de apoio, referente ao idioma dos materiais disponíveis, sobretudo, na internet. Este ponto, talvez, possa ser um empecilho para muitos que tentam buscar conhecimento diretamente dos artigos e, como consequência, um obstáculo para a produção de mais recursos didáticos. Relatamos uma passagem específica em que percebemos essa dificuldade: a evolução biológica. Na preparação do texto de apoio, identificamos fontes que divergiam fortemente e, muitas vezes, eram de difícil acesso. Situações assim estiveram presentes na elaboração do material e foram, aos poucos, superadas, possibilitando maximizar não apenas os conhecimentos na área de FN, mas também os mecanismos de busca por informações em fontes primárias e/ou em outros idiomas.

Por fim, queremos mencionar que temos clareza de que o estudo realizado nessa dissertação e em seu respectivo produto educacional não resolve o problema da ausência da FN no Ensino Médio. Porém, corresponde a uma alternativa para suavizar este problema e possibilitar a introdução destes conteúdos.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE JUNIOR, José Adauto. *Episódios históricos no contexto do Ensino de Ciências: a Energia Nuclear e a sua utilização*. 2015. 121 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande. 2015.
- ARAÚJO, Marcella Campos de. *Energia Nuclear e Radioatividade na escola de Nível Médio: um olhar a partir dos acidentes nucleares*. 2013. 190 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.
- ASTOLFI, Jean-Pierre; DEVELAY, Michel. *A didática das ciências*. Campinas: Papyrus, 2014.
- AULETE, Caldas; GEIGER, Paulo. *Novíssimo Aulete*. Dicionário contemporâneo da Língua Portuguesa. São Paulo: Lexikon. 2011.
- BIAZUS, Marivane de Oliveira. *Tópicos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: interfaces de uma proposta didática para Mecânica Quântica*. 2015. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2015.
- BOGDAN, Robert C.; BIKLEN, Sari K. *Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos*. Porto: Porto Editora, 1994.
- BRASIL. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *Parâmetros Curriculares Nacionais: ensino médio*. Brasília: Ministério da Educação, 1999.
- BRASIL. Ministério da Educação. *Parâmetros Curriculares Nacionais + (PCN+) Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais: ciências da natureza, matemática e suas tecnologias*. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2002.
- BRASIL. Ministério da Educação. *Base Nacional Comum Curricular – Ensino Médio*. 2018.
- BROCKINGTON, Guilherme; PIETROCOLA, Maurício. Serão as regras da Transposição Didática aplicáveis aos conceitos de Física Moderna? *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 10, n. 3, p. 387-404, 2005.
- BUENO, Francisco da Silveira. *Minidicionário da Língua Portuguesa*. São Paulo: FTD, 1996.
- CARDOSO, Suelen Pestana. *Física das Radiações: um enfoque CTS para alunos do Ensino Médio da área industrial*. 2017. 251 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.
- CHEVALLARD, Yves; JOHSUA, Marie-Albrete. *La transposition didatique: du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble: La Pensée Sauvage Editions, 1991.

CORTEZ, Jucelino. *O Legado de Madame Curie - Uma abordagem CTS para o Ensino da Radioatividade*. 2014. 66 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

DARROZ, Luiz M; ROSA, Cleci T. W; ROSA, Álvaro B; PEREZ, Carlos A. S. Mapas conceituais como recurso didático na formação continuada de professores dos primeiros anos do ensino fundamental: um estudo sobre conceitos básicos de astronomia. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, v. 6, n. 3, 2014.

DARROZ, Luiz Marcelo; BAGESTAN, Guilherme Henkes; ROSA, Cleci Teresinha Werner da. Conceitos de Astronomia Presentes em Livros Didáticos de Física. *Caderno de Física da UEFS*. v. 15, n. 1, p. 1501.1-12, 2017.

GARCIA, Ligia Valente de Sá. *Espaços da Física Moderna e Nuclear nos contextos curriculares e na pesquisa*. 2015. 430 f. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências - Modalidade Física, Biologia e Química) - Universidade de São Paulo, São Paulo. 2015.

GIACOMELLI, Alisson Cristian. *Teoria da Relatividade: uma proposta didática para o Ensino Médio*. 2016. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2016.

GIL, Antonio Carlos. *Método e técnicas de pesquisa social*. 6. ed. São Paulo: Atlas S.A, 2008.

GONÇALVES, Odair Dias; ALMEIDA, IPS de. A energia nuclear. *Ciência hoje*, v. 37, n. 220, p. 36-44, 2005.

GOUW, Ana Maria Santos; MOTA, Helenadja Santos; BIZZO, Nelio Marco Vincenzo. O Jovem Brasileiro e a Ciência: Possíveis Relações de Interesse. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 16, n. 3, p. 627-648, 2016.

IACHEL, Gustavo et al. A montagem e a utilização de lunetas de baixo custo como experiência motivadora ao ensino de astronomia. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. São Paulo, v. 31, n. 4, p. 7, 2009.

LANGHI, Rodolfo. *Um estudo exploratório para a inserção da Astronomia na formação de professores dos anos iniciais do Ensino Fundamental*. 2004. 243 f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência) - Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2004.

LANGHI, Rodolfo; NARDI, Roberto. Ensino de Astronomia: Erros conceituais mais comuns presentes em livros didáticos de ciência. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 24, n. 1, p. 87-111, 2007.

LOPES, Alice Casimiro; GOMES, Maria Margarida; LIMA, Inilcéa dos Santos. Diferentes Contextos na Área de Ciência nos PCNs para o Ensino Médio: limites para a integração. *Contexto e Educação*, ano 18, n. 69, p. 45-67, 2003.

OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. *Astronomia e Astrofísica*. 3. ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014.

OLIVEIRA, Fábio Marques de. *Desenvolvimentos de Recursos e Estratégias para o Ensino-Aprendizagem de Radioatividade*. 2016. 119 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências da Natureza) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2016.

PIASSI, Luis Paulo de Carvalho. *Contatos: a ficção científica no Ensino de Ciências em um contexto sociocultural*. 2007. 462 f. Tese (Doutorado em Educação) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

PINAFO, Jaqueline. *O que os jovens têm a dizer sobre ciência e tecnologia? Opiniões, interesses e atitudes de estudantes em dois países: Brasil e Itália*. 2016. 465f. Tese (Doutorado em Educação) - Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

REGO, Alexandre Marques Jaloto. *Sentidos de contextualização nas questões de Ciências da natureza e suas Tecnologias no ENEM: uma análise discursiva*. 2015. 124 f. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências e Saúde) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

RICARDO, Elio Carlos. *Competências, Interdisciplinaridade e Contextualização: dos Parâmetros Curriculares Nacionais a uma compreensão para o ensino de ciências*. 2005. 257 f. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

SAGAN, Carl. *Os dragões do Éden: especulações sobre a evolução da inteligência humana*. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1980.

SANTOS, Wildson Luiz Pereira dos. Contextualização no ensino de ciências por meio de temas CTS em uma perspectiva crítica. *Ciência & Ensino*, v. 1, n. especial, p. 1-12, nov., 2007.

SASSERON, Lúcia Helena; CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. Alfabetização científica: uma revisão bibliográfica. *Investigações em ensino de ciências*, v. 16, n. 1, p. 59-77, 2016.

SILVA, Júpiter Cirílio da Roza da. *Análise da abordagem da Física Nuclear nos Livros didáticos de Física*. 2016. 24 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física Licenciatura) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2016.

SILVA, Maria Lucilene da. *A importância do ensino contextualizado na Biologia*. 2013. Monografia de Conclusão de Curso (Programa Especial de Formação Pedagógica de Docentes na Área de Licenciatura em Biologia) - Faculdade Integrada da Grande Fortaleza, Fortaleza, 2013.

SOUZA, Marco Aurélio de. *Poluição Nuclear: a inserção da Educação Ambiental no Ensino Médio na perspectiva globalizante via enfoque CTS*. 2005. 242 f. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

SOUZA, Marcos Antonio Matos; DANTAS, J. D. Fenomenologia nuclear: uma proposta conceitual para o ensino médio. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 27, n. 1, p. 137-158, 2010.

STANNARD, R. Modern physics for the young. *Physics Education*, Bristol, v. 25, n. 3, p. 133, May 1990.

TERRAZZAN, Eduardo Adolfo. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de Física na escola de 2º grau. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 9, n. 3, p. 209-214, dez. 1992.

TRIVIÑOS, Augusto Nivaldo Silva. *Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação*. São Paulo: Atlas, 1987.

TYSON, Neil deGrasse et al. *Cosmos: Uma Odisseia no Espaço-Tempo*. National Geographic Series. 2014.

TYSON, Neil deGrasse. *Astrofísica para apressados*. Trad. Alexandre Martins. São Paulo: Planeta, 2017.

WARTHA, Edson José; FALJONI-ALÁRIO, Adelaide. A contextualização no ensino de química através do livro didático. *Química Nova na Escola*, v. 22, n. 2, p. 42-47, 2005.

APÊNDICE A - Termo de autorização do curso de Física - UPF**OFÍCIO DE AUTORIZAÇÃO PARA REALIZAÇÃO DE PESQUISA ACADÊMICA**

Por este instrumento, o Curso de Física-L da Universidade de Passo Fundo autoriza o mestrando do Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade de Passo Fundo Júpiter Cirilio da Roza da Silva, conjuntamente com sua orientadora, professora Dra. Cleci Teresinha Werner da Rosa, a desenvolver pesquisa acadêmica referente à aplicação do produto educacional intitulado “Calendário Cósmico”. A pesquisa refere-se à avaliação de uma proposta didática desenvolvida na forma de um curso de extensão universitária com licenciandos dos diferentes níveis do curso e em turno extraclasse. Os dados a serem coletados serão analisados no anonimato, sendo possível, para fins acadêmicos, divulgar o nome do curso de Física-L da Universidade de Passo Fundo.

Passo Fundo, 10 de julho de 2017.

Dr. Luiz Marcelo Darroz
Coordenador do Curso de Física – L

APÊNDICE B - Curso de extensão cadastrado na UPF

| Curso de Extensão - Processo 628505 | |
|---|--|
| Título do Curso | Calendário Cósmico e Física Nuclear |
| Tipo de Tramitação | NORMAL |
| Vinculação | VINCULADO A PROJETO |
| Nome do Programa / Projeto que o Curso Está Vinculado | Astronomia na Educação Básica |
| Área Temática Principal | EDUCAÇÃO |
| Área Temática Complementar | CULTURA |
| Linha de Extensão | Formação de professores |
| Unidade | INSTITUTO DE CIENCIAS EXATAS GEOCIENCIAS |
| Nome do Coordenador do Curso | CLECI TERESINHA |
| Email do Coordenador do Curso | cwerner@upf.br |
| Data de Reunião do Colegiado | 30/07/2018 |
| Justificativa | A Física Nuclear e Astronomia têm se caracterizado com conhecimentos próximos e entrelaçados, possibilitando que o conteúdo de uma possa apoiar o da outra. Além disso, essas duas áreas apresentam em comum o fato de serem pouco exploradas nos cursos de formação inicial de professores de Física e relegadas a um segundo plano quando se trata do Ensino Médio. Tais constatações, levam a propor um curso que possa subsidiar ações dos futuros professores de Física, colaborando com a sua qualificação profissional. Somado a isso, o curso está associado a aplicação de um produto educacional do mestrado profissional em Ensino de Ciências e Matemática da UPF. |
| Objetivos | O objetivo principal está em discutir com os licenciandos em Física conteúdos de Física Nuclear recorrendo ao Calendário Cósmico como aspecto norteador. Além disso, o curso busca avaliar a pertinência da proposta didática que ancora o curso e sua contribuição para o processo de construção dos conceitos em Física Nuclear. |
| Metodologia | Para o desenvolvimento do curso de extensão recorre a realização de atividades teóricas na forma de palestras interativas, envolvendo uma abordagem dialógica, priorizando a construção coletiva de significados e conceitos. São realizados 4 encontros presenciais de 4h e atividades complementares perfazendo um total de 20h. |
| Programação | Encontro 1: Introdução à Física Nuclear - aspectos históricos; Resgate de conhecimentos em Astronomia; Apresentação do Calendário Cósmico. Encontro 2: Big Bang; Nucleossíntese primordial; Formação estelar; Fusão Nuclear; Vida e morte das estrelas. Encontro 3: Sistema solar; Sol - A nossa estrela; Planeta Terra; Elementos radioativos; Datação; Fissão nuclear. Encontro 4: Atividades síntese. |
| Valores das Inscrições | Sem custo |
| Inscrição - Data de Início | 05/09/2018 |
| Inscrição - Data de Término | 10/09/2018 |
| Realização - Data de Início | 11/09/2018 |
| Realização - Data d Término | 02/10/2018 |
| Horário de Realização | 14h às 17h53 |

| | |
|---|---|
| Dias da Semana | Terça-feira |
| Local de Realização | Laboratório de Física – Iceg |
| Carga Horária | 20h |
| Forma de Presença | PRESENCIAL |
| Finalidade | ATUALIZAÇÃO |
| Vagas/Público Estimado | 20 |
| Público Alvo | Licenciandos em Física |
| Controle de Frequência pela Divisão de Extensão | Os participantes terão sua presença controlada pela assinatura na lista de participantes devidamente matriculado no curso. |
| Certificados | PADRÃO DIVISÃO DE EXTENSÃO |
| Dados que Deverão Constar no Verso do Certificado | Conteúdos abordados: Introdução à Física Nuclear - aspectos históricos; Resgate de conhecimentos em Astronomia; Calendário Cósmico; Big Bang; Nucleossíntese primordial; Formação estelar; Fusão Nuclear; Vida e morte das estrelas; Sistema solar; Sol - A nossa estrela; Planeta Terra. Elementos radioativos; Datação; Fissão nuclear; Atividades síntese. |
| Avaliação | A avaliação será considerada a partir da participação e envolvimento dos cursistas. |
| Bibliografia | <p>ANDRADE JUNIOR, José Adauto. <i>Episódios históricos no contexto do Ensino de Ciências: a Energia Nuclear e a sua utilização</i>. 2015. 121 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande. 2015.</p> <p>ARAÚJO, Marcella Campos de. <i>Energia Nuclear e Radioatividade na escola de Nível Médio: um olhar a partir dos acidentes nucleares</i>. 2013. 190 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.</p> <p>CORTEZ, Jucelino. <i>O Legado de Madame Curie - Uma abordagem CTS para o Ensino da Radioatividade</i>. 2014. 66 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.</p> <p>SOUZA, Marcos Antonio Matos; DANTAS, J. D. Fenomenologia nuclear: uma proposta conceitual para o ensino médio. <i>Caderno Brasileiro de Ensino de Física</i>, Florianópolis, v. 27, n. 1, p. 137-158, 2010.</p> |
| Inscrições Geradas | 44 |
| Inscrições Confirmadas | 44 |
| Inscrições Pendentes | 0 |
| Desviar Fluxo? | VREAC |

| Nome | Tipo de Colaborador | Instituição/Empresa de Origem - Unidade e Curso (se IES) | Função no Curso |
|----------------------------------|---------------------|---|-----------------|
| Júpiter Cirilio da Roza da Silva | ALUNO EXTENSIONISTA | Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática - Iceg | MINISTRANTE |

Vice-Reitoria Administrativa: De acordo.

Coordenador de Extensão: De acordo

Diretor de Unidade: De acordo

APÊNDICE C - Modelo de Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está sendo convidado a participar da pesquisa referente a discussão de uma proposta didática para estudo da Física Nuclear, de responsabilidade dos pesquisadores Júpiter Cirilio da Roza da Silva e da Dra. Cleci Teresinha Werner da Rosa. Esta pesquisa é desenvolvida em razão da necessidade de qualificação do processo ensino-aprendizagem em Física nos diferentes níveis de escolarização, inclusive nos cursos de formação de professores. O objetivo do trabalho é desenvolver um estudo referente a abordagem de tópicos de Física Nuclear a partir de um Calendário Cósmico, avaliando as contribuições para a construção dos conhecimentos e em termos de sua viabilidade didática. A atividade será desenvolvida na forma de curso de extensão universitária, em turno extraclasse, e envolve o uso de instrumentos como pré e pós-teste e entrevistas para coleta de dados.

Esclarecemos que a sua participação não é obrigatória e, portanto, poderá desistir a qualquer momento, retirando seu consentimento. Além disso, garantimos que receberá esclarecimentos sobre qualquer dúvida relacionada à pesquisa e poderá ter acesso aos seus dados em qualquer etapa do estudo. As informações serão transcritas e não envolvem a identificação do nome dos sujeitos. Tais dados serão utilizados apenas para fins acadêmicos, sendo garantido o sigilo das informações.

Informamos que a sua participação nesta pesquisa não traz complicações legais, não envolve nenhum tipo de risco, físico, material, moral e/ou psicológico. Ao participar desta pesquisa você não terá nenhum benefício direto. Entretanto, esperamos que este estudo o auxilie no processo de construção do conhecimento científico. Você não terá nenhum tipo de despesa, bem como nada será pago pela sua participação.

Dessa forma, se você concorda em participar da pesquisa, em conformidade com as explicações e orientações registradas neste Termo, pedimos que registre abaixo a sua autorização. Informamos que este Termo, também assinado pelos pesquisadores responsáveis, é emitido em duas vias, das quais uma ficará com você e outra com os pesquisadores.

Passo Fundo, _____ de _____ de 2018.

Nome do participante: _____

Data de nascimento: _____/_____/_____

Assinatura: _____

Pesquisadores: _____ e _____

APÊNDICE D - Pré-teste



Pré-teste

- 1) Qual a origem da energia do Sol?
- 2) Qual o processo que se realiza em usinas termelétricas para se obter energia?
- 3) Caracterize os diferentes tipos de radiação.
- 4) O que caracteriza um elemento químico como radioativo?
- 5) Cite diferentes partículas subatômicas e, se possível, aponte as suas diferenças (carga, spin, formação, interação).
- 6) No Universo existem 4 interações fundamentais, aponte quais são e as descreva.
- 7) Qual é a definição de uma “estrela anã branca”?
- 8) Qual é o elemento químico de maior número atômico natural?
- 9) Como é definido o primeiro estágio de vida de uma estrela?
- 10) O que diferencia um planeta telúrico de um joviano?
- 11) A datação por elementos radioativos permite a estimativa de conhecer uma passagem de tempo, como este processo é realizado?
- 12) Qual é o fator determinante para a vida de uma estrela (cor, temperatura, vida e demais)?
- 13) Elementos químicos com um número atômico muito alto, comumente são elementos radioativos, qual é a explicação para isso?
- 14) Explique o conceito de meia-vida.
- 15) Aponte uma área onde necessite dos conhecimentos da física nuclear e como ele é utilizado.

APÊNDICE E - Slides do primeiro encontro

UPF Universidade de Passo Fundo
PPGECM Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática
 Instituto de Ciências Exatas e Geociências - ICEx

Calendário Cósmico e a Física Nuclear: do Big Bang as usinas nucleares

Júpiter C. da Roza Silva
 Dra. Cleci T. Werner da Rosa, orientadora
 Dr. Johnny Ferraz Dias, coorientador

UPF Universidade de Passo Fundo

Marie e Pierre Curie

→ Radioatividade
 ◆ **Descoberta: Polônio (1898) e Rádio (1910)**

→ **Prêmios Nobel: Física (1903) e Química (1911)**



UPF Universidade de Passo Fundo

Estrutura do curso

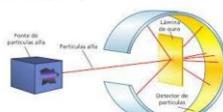
| Encontro | Horas-aula | Atividade |
|----------|------------|---|
| 1 | 4 | Apresentação da proposta de estudo e assinatura do termo de consentimento. Realização do pré-teste. Física Nuclear, Astronomia e o Calendário Cósmico |
| 2 | 4 | "Qual a origem dos elementos químicos?" |
| 3 | 4 | "Qual a idade da Terra?" |
| 4 | 4 | Apresentação das atividades extraclasse Realização do pós-teste. Entrevista com os participantes. |

UPF Universidade de Passo Fundo

Ernest Rutherford (1871-1937)

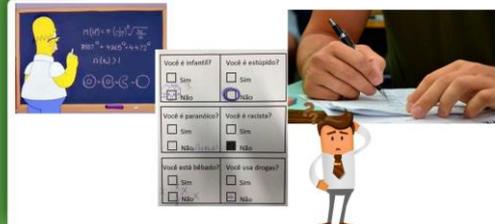
→ Radiações
 ◆ **Alfa (α)**
 ◆ **Beta (β)**

→ Estrutura Atômica




UPF Universidade de Passo Fundo

Pré-teste

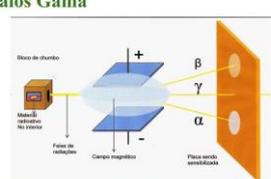


Você é infantil? Você é estudioso?
 Você é paranoico? Você é realista?
 Você está bebado? Você usa drogas?

UPF Universidade de Passo Fundo

Paul Ulrich Villard (1860-1934)

→ Descoberta
 ◆ **Raios Gama**

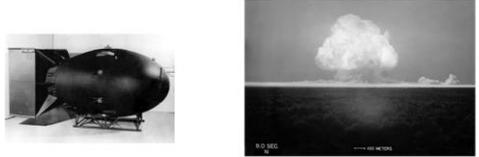



UPF Universidade de Passo Fundo

Física Nuclear

UPF Universidade de Passo Fundo

Projeto Manhattan

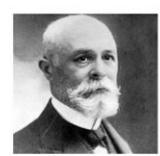


UPF Universidade de Passo Fundo

Henri Becquerel (1852-1908)

→ Início da Física Nuclear
 ◆ "Raios-X"

- Sais de urânio (Sulfato duplo de Potássio e Uranila $K_2UO_2[S_2O_4]_2$) + Chapa fotográfica

UPF Universidade de Passo Fundo

Eventos Marcantes

| Ano | Evento | Nomes |
|------|--------------------------------|---------------------------------|
| 1928 | Teoria da Radioatividade Alfa | George Gamow |
| 1932 | Descoberta do Nêutron | James Chadwick |
| | Descoberta do Pósitron | Carl David Anderson |
| 1934 | Teoria da Radioatividade Beta | Enrico Fermi |
| | Radioatividade artificial | Jreane e Frédéric Joliot Curie |
| 1935 | Hipóteses dos Mésons | Hidaki Yukawa |
| 1938 | Descoberta da fissão nuclear | Otto Hahn e Fritz Strassmann |
| | Fusão Nuclear das Estrelas | Hans Bethe |
| 1940 | Primeiro elemento Transurânico | Glenn Seaborg |
| 1942 | Primeira Reação em Cadeia | Enrico Fermi |
| 1945 | Bomba Atômica | Robert Oppenheimer et al |
| | Datação por radiocarbono | Willard Libby |
| 1947 | Descoberta do Méson Pi | Cecil Powell e César Lattes |
| 1964 | Quarks | Murray Gell-Mann e George Zweig |

UPF
Universidade do Passo Fundo

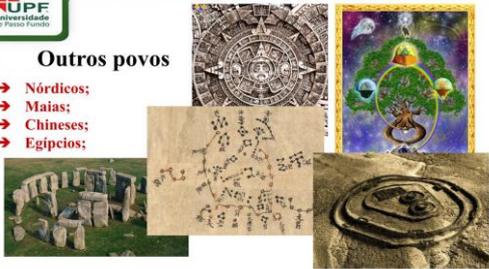
Chernobyl - Ucrânia (1986)




UPF
Universidade do Passo Fundo

Outros povos

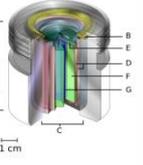
- Nórdicos;
- Maias;
- Chineses;
- Egípcios;



UPF
Universidade do Passo Fundo

Goiânia - Brasil (1987)

Césio em ferro-velho espalha radioatividade em Goiânia

UPF
Universidade do Passo Fundo

Grécia Antiga (1.000 a.C. - 0 a.C.)

- Herança da Mesopotâmia e Egito;
- Desenvolvimento da Matemática e Astronomia;
- Início da Cosmologia;
- Astronomia como cultura;
- Separação Astronomia - Astrologia



UPF
Universidade do Passo Fundo

Astronomia

UPF
Universidade do Passo Fundo

Grécia Antiga (1.000 a.C. - 0 a.C.)



Tales de Mileto (623 a.C. - 548 a.C.)
Demócrito (460 a.C. - 370 a.C.)
Aristóteles (384 a.C. - 322 a.C.)
Aristarco (310 a.C. - 230 a.C.)

UPF
Universidade do Passo Fundo

Mesopotâmia (4.000 a.C.) Idade do Bronze

- Origem da Astronomia
 - ◆ Babilônios (região central)
 - ◆ Assírios (região norte)
 - ◆ Sumérios (região sul)




UPF
Universidade do Passo Fundo

Cláudio Ptolomeu (90 a.C. - 168 a.C.)

- Compilação de todos os conhecimentos: **Almagesto - "Bíblia Astronômica"**
 - ◆ Teoria Geocêntrica;
 - ◆ Movimento Sol, Lua e planetas;
 - ◆ Fenômenos (Eclipses);
 - ◆ Estrelas e Constelações;



UPF
Universidade do Passo Fundo

Calendário Mesopotâmico

- Fases da Lua
 - ◆ Lunação (29/30 dias)
- Ano com 354 dias
- 9 anos, diferença de 3 meses
 - ◆ adição de um mês



UPF
Universidade do Passo Fundo

Idade Moderna (Século XV)



Nicolau Copérnico (1473-1543)
Tycho Brahe (1546-1601)
Johannes Kepler (1571-1630)
Galileu Galilei (1564-1642)

UPF
Universidade de Passo Fundo

Idade Contemporânea

Albert Einstein (1879-1955) Edwin Hubble (1889-1953) Georges Lemaitre (1894-1966) Stephen Hawking (1942-2018)

UPF
Universidade de Passo Fundo

Carl Sagan (1934-1996)

COSMOS CARL SAGAN
COSMOS A SPACETIME ODYSSEY
CARL SAGAN DRAGONS OF EDEN

UPF
Universidade de Passo Fundo

Relatividade de Einstein

UPF
Universidade de Passo Fundo

Calendário Cósmico

UPF
Universidade de Passo Fundo

UPF
Universidade de Passo Fundo

Escala - CC

- Calendário Gregoriano

| | Tempo | Arredondamento | Na Escala |
|---------|--------------|----------------|-------------|
| Ano | 13,8 bilhões | 13,8 bi | 365 Dias |
| Mês | 1,13 bilhões | 1,13 bi | 30 dias |
| Dia | 37,8 milhões | 40 milhões | 1 dia |
| Hora | 1,57 milhões | 1,6 milhões | 1 hora |
| Minutos | 36,25 mil | 40 mil | 60 segundos |
| Segundo | 437 anos | 500 anos | 1 segundo |

UPF
Universidade de Passo Fundo

Cosmologia Moderna

Alexander Friedmann (1888-1925) George Gamow (1904-1968)

UPF
Universidade de Passo Fundo

Calendário Cósmico

| Mês | Data | Hora | Evento |
|---|---------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| Janeiro | 01 | 00 hora, 00 minutos, 00 segundo | Big Bang |
| | 12 | 17 horas, 44 minutos, 46 segundos | Primeiras estrelas |
| | 26 | 10 horas, 55 minutos, 14 segundos | Primeiras galáxias |
| Setembro | 02 | 05 horas, 56 minutos, 48 segundos | Formação do Sistema Solar |
| | 05 | 10 horas, 24 minutos, 27 segundos | Formação dos planetas |
| Outubro | 08 | 02 horas, 07 minutos, 26 segundos | Formação da Lua |
| | 01 | 10 horas, 49 minutos, 54 segundos | Origem da vida |
| Dezembro | 06 | 19 horas, 45 minutos, 07 segundos | Primeiros seres complexos |
| | | 06 horas, 00 minutos, 00 segundo | Primeiros mamíferos |
| | | 21 horas, 00 minutos, 00 segundo | Primeiros hominídeos |
| | 31 | 23 horas, 59 minutos, 00 segundo | Pré-história |
| | | 23 horas, 59 minutos, 48 segundo | Nascimento da Astronomia |
| | | 23 horas, 59 minutos, 54 segundo | Antiguidade |
| | | 23 horas, 59 minutos, 59 segundo | Idade moderna |
| 23 horas, 59 minutos, 59 segundo ad infinitum | Idade contemporânea | | |

UPF
Universidade de Passo Fundo

“Qual a origem dos elementos químicos?”

PERIODIC TABLE ELEMENTS

Perguntas triviais algumas vezes demandam conhecimento profundo e amplo do cosmos para que sejam respondidas. Na aula de química do colégio perguntei ao meu professor de onde vinham os elementos da Tabela Periódica. Ele respondeu: da crosta terrestre. Eu aceitei isso. Certamente é de onde os laboratórios os conseguem. Mas como a crosta terrestre os obteve? A resposta tem de ser astronômica. Mas nesse caso, você realmente precisa conhecer a origem e a evolução do universo para responder à pergunta? **Sim, precisa.**

NEIL DEGRASSE TYSON ASTROFÍSICA APRENDENDO

UPF
Universidade de Passo Fundo

1º de janeiro
00 horas, 0 minutos e 0 segundos
BIG BANG

Hawking & Penrose

The singularities of gravitational collapse and cosmology

BY S. W. HAWKING
Institute of Theoretical Astronomy, University of Cambridge
 AND B. PENROSE
Department of Mathematics, Birkbeck College, London
 (Communicated by J. Bondi, F.R.S.—Received 30 April 1969)

A new theorem on space-time singularities is presented which largely incorporates and generalises the previously known results. The theorem implies that space-time singularities are to be expected if either the universe is spatially closed or there is an "object" undergoing sufficient gravitational collapse (formation of a trapped surface) or there is a point p whose past null cone encloses sufficient matter that the divergence of the null rays through p changes sign somewhere to the past of p (i.e. there is a minimum apparent solid angle, as viewed from p , for small objects of given size). The theorem applies if the following four physical assumptions are made: (1) Einstein's equations hold (with zero or negative cosmological constant), (2) the energy density is nowhere less than twice such principal pressure nor less than twice the sum of the three principal pressures (the "energy condition"), (3) there are no closed timelike curves, (4) every timelike or null geodesic contains a point where the curvature is not specially aligned with the geodesic. (This last condition would hold in any sufficiently general physically realistic model.) In contrast with earlier results, timelike or null geodesic incompleteness is used here as the indication of the presence of space-time singularities. No assumption concerning existence of a global Cauchy hypersurface is required for the present theorem.



Era Planck

- Intervalo de tempo: **entre 0 à 10^{-43} segundos**
- Singularidade;

Satélite Planck
Parâmetros Cosmológicos - 2015

Era da Grande Unificação

- Intervalo de tempo: **entre 10^{-43} à 10^{-32} segundos**
- Temperatura: **10^{32} Kelvin**
- Forças: **Gravidade, Nuclear Forte**

Big Bang

- Idade estimada do Universo: **13,8 Gyr;**
- Matéria e Energia concentrada em um único ponto;

Era Eletrofraca

- Intervalo de tempo: **entre 10^{-32} a 10^{-12} segundos**
- Temperatura: **10^{28} Kelvin**
- Modelo Inflacionário**

Alan Harvey Guth (1947-)

Big Bang

- Idade estimada do Universo: **13,8 Gyr;**
- Matéria e Energia concentrada em um único ponto;

Era da Radiação

- Intervalo de tempo: **a partir de 10^{-12} segundos**
- Temperatura: **10^{15} Kelvin**
- Forças: **Gravidade, Nuclear Forte, Eletromagnética, Nuclear Fraca**

Era dos Quark

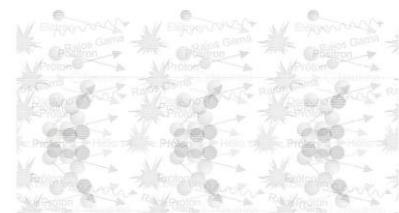
Intervalo de tempo:
a partir de 10^{-12} segundos

Temperatura
 10^{15} Kelvin

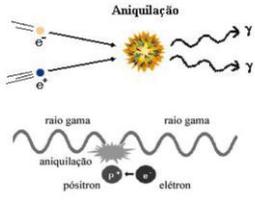
Forças:
★ Gravidade
★ Nuclear Forte
★ Eletromagnética
★ Nuclear Fraca



Era da Nucleossíntese Primordial



Processo Produção-Aniquilação



Era da Recombinação

1º de janeiro - 0 horas, 12 minutos e 40 segundos - 380 mil anos

Radiação Cósmica de Fundo

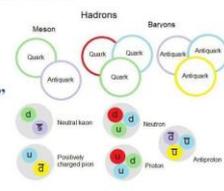
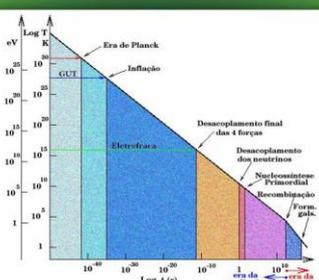


Era Hadrônica

Intervalo de tempo:
a partir de 10^{-6} segundos

Do grego "hádros"
Sinônimo de "pesado", "espesso"

Partículas:
★ Bárions
★ Mésons
Cromodinâmica Quântica

Era Leptônica

Intervalo de tempo:
a partir de 1 segundo

Do grego "leptos"
Como "magro" ou "fino"

Partículas elementares
Cromodinâmica Quântica



12 de janeiro
17 horas, 44 minutos e 46 segundos
480 milhões de anos

Era da Nucleossíntese Primordial

- Universo alcança 3 minutos de vida
- **Fusão Nuclear**
- **Formação:**
 - ★ Hidrogênio (Deutério, Tritio e Prótio)
 - ★ Hélio
 - ★ Lítio
 - ★ Berílio

$$n^0 \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}_e$$

$$p^+ + n^0 \rightarrow {}^2_1\text{D} + \gamma$$

$${}^2_1\text{D} + p^+ \rightarrow {}^3_2\text{He} + \gamma$$

$${}^2_1\text{D} + {}^2_1\text{D} \rightarrow {}^3_1\text{T} + p^+$$

$${}^2_1\text{D} + {}^2_1\text{D} \rightarrow {}^4_2\text{He} + n^0$$

$${}^3_2\text{He} + {}^2_1\text{D} \rightarrow {}^4_2\text{He} + p^+$$

$${}^3_2\text{He} + n^0 \rightarrow {}^3_1\text{T} + p^+$$

$${}^3_2\text{He} + p^+ \rightarrow {}^4_2\text{He} + \gamma$$

$${}^4_2\text{He} + n^0 \rightarrow {}^7_4\text{Li} + p^+$$

$${}^4_2\text{He} + n^0 \rightarrow {}^7_3\text{Li} + p^+$$

APÊNDICE F - Slides do segundo encontro


UPF
 Universidade
 de Passo Fundo

PPGECM
 Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática
 Instituto de Ciências Exatas e Geodésicas - IGEG

Calendário Cósmico e a Física Nuclear: "Qual a origem dos elementos químicos?"

Júpiter C. da Roza Silva
Dra. Cleci T. Werner da Rosa, orientadora
Dr. Johnny Ferraz Dias, coorientador

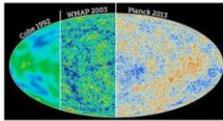

UPF
 Universidade
 de Passo Fundo

1º de janeiro
o horas, 12 minutos e 40 segundos
380 mil anos

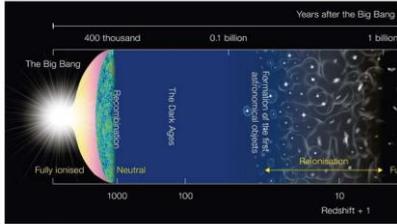

UPF
 Universidade
 de Passo Fundo

Radiação Cósmica de Fundo (RCF)

- Era da Recombinação;
 - 380 mil anos
 - Universo apresenta uma temperatura cerca de 3 mil Kelvin (metade da superfície do Sol)
- Prótons e elétrons conseguem estar ligados eletricamente formando átomos
 - A ligação entre eles permite que fótons viagem livremente e o Universo pela primeira vez se torna transparente.

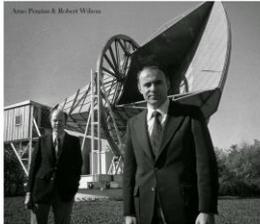



UPF
 Universidade
 de Passo Fundo




UPF
 Universidade
 de Passo Fundo

PENZIAS, Arno A.;
WILSON, Robert Woodrow.
A measurement of excess antenna
temperature at 4080 Mc/s.
The Astrophysical Journal, v. 142,
p. 419-421, 1965.




UPF
 Universidade
 de Passo Fundo

Evolução Térmica após o Big Bang

$$T = \frac{1}{q^{1/4}} \left(\frac{3c^2}{32\pi G a} \right)^{1/4} t^{-1/2}$$

OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza;
 SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira.
 Astronomia & Astrofísica. 3 ed. São Paulo:
 Editora Livraria da Física, 2013.

<http://astro.if.ufrgs.br/>

T = Temperatura
 c = Velocidade da luz
 t = Tempo
 q = número inteiro
 G = Constante gravitacional
 a = Constante Stefan-Boltzman


UPF
 Universidade
 de Passo Fundo

"O Universo não seria muito diferente pelos próximos 490 milhões de anos. Durante este tempo, a temperatura atinge os 100 Kelvin. A matéria conhecida continua sendo composta pelo hidrogênio e hélio majoritariamente, e devido a temperatura, deixa de estar ionizado e se reduz a um gás. Também este período é nomeado como a "Idade das Trevas", sobretudo em virtude de que o espaço não tem objetos estelares e a radiação inicial já se degradou o suficiente para não iluminar este cosmo jovem"


UPF
 Universidade
 de Passo Fundo

12 de janeiro
17 horas, 44 minutos e 46 segundos
480 milhões de anos


UPF
 Universidade
 de Passo Fundo

FREBEL, Anna et al.
Discovery of HE 1523-0901,
a strongly r-process-enhanced metal-poor star with detected uranium.
The Astrophysical Journal Letters, v. 660, n. 2, p. L117, 2007.

DISCOVERY OF HE 1523-0901, A STRONGLY R-PROCESS ENHANCED METAL-POOR STAR WITH DETECTED URANIUM¹
 ANNA FREBEL^{1,2}, NORBERT CHRISTENSEN^{1,3}, JOHN E. NORRIS¹, CHRISTOPHER TRON^{1,4},
 TIMOTHY C. BEASLEY¹, AND JAVIEROS RUISE^{1,2}
 (final version February 3, 2008)

ABSTRACT
 We present age estimates for the newly discovered very r-process enhanced metal-poor star HE 1523-0901 ([Fe/H] = -2.95) based on the radioactive decay of Th and U. The bright (V = 11.1) giant was found amongst a sample of bright metal-poor stars selected from the Hamburg/ESO survey. From an abundance analysis of a high-resolution (R = 75,000) VLT/UVES spectrum we find HE 1523-0901 to be strongly overabundant in r-process elements ([r/Fe] = 1.8). The abundances of heavy neutron-capture elements (Z > 56) measured in HE 1523-0901 match the scaled solar r-process pattern extremely well. We detect the strongest optical U line at 850.37 Å. For the first time, we are able to employ several different chronometers, such as the U/Th, U/Ir, Th/Ea, and Th/Os ratios to measure the age of a star. The weighted average age of HE 1523-0901 is 13.2 Gyr. Several sources of uncertainties are assessed in detail.
Subject headings: Galaxy: halo — stars: abundances — stars: individual (HE 1523-0901) — early universe — nucleosynthesis, nucleosynthesis, abundances


UPF
 Universidade
 de Passo Fundo

Science News from research organizations

Cosmology: First stars were born much later than thought

Date: February 5, 2015
 Source: European Space Agency
 Summary: New maps from ESA's Planck satellite uncover the 'polarized' light from the early Universe across the entire sky, revealing that the first stars formed much later than previously thought.

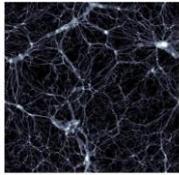
Science News from research organizations

Nearby Star Is A Galactic Fossil

Date: May 11, 2007
 Source: European Southern Observatory (ESO)
 Summary: How old are the oldest stars? Using ESO's VLT, astronomers recently measured the age of a star located in our galaxy. The star, a real fossil, is found to be 13.2 billion years old, not very far from the 13.7 billion years age of the universe. The star, HE 1523-0901, was clearly born at the dawn of time.

Nebulosa Primitiva

- Do grego "nebulosa" = nuvem;
- Região no espaço contendo matéria (hidrogênio, hélio, moléculas e gases ionizados);
- Berçário, pela constante formação de estrelas;
- Um cadáver, por ser o resto de uma explosão de uma estrela;



Nebulosas

"As nebulosas podem tomar diversas formas. Assim como as nuvens do céu, possuem movimento e com isso algumas mudam de formato. Outras tem um movimento tão lento que a sua mudança é imperceptível, podendo até dizer que são estáticas"

- De emissão;
- De reflexão;
- Planetária;



Modelos de Formação Estelar

- **Nebulosa:**
 - Colapso da estabilidade;

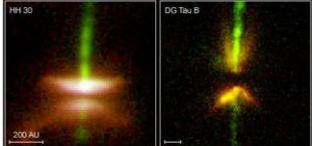
Inicia-se a partir de leves alterações no equilíbrio de uma nebulosa (gravitacional, térmico, cinético e etc.)



Disco de acreção

Sob influência da gravidade, a força age sobre um ponto denso e faz com o que o restante de matéria se aglomere.

Surge assim a formação de um disco de acreção. Denominação dada pelo fato da matéria continuar a "cair" no centro, lugar mais denso do sistema e também por iniciar um movimento de rotação.

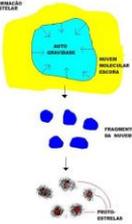


Proto-estrela

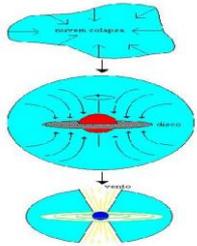
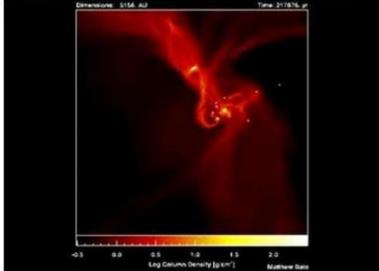
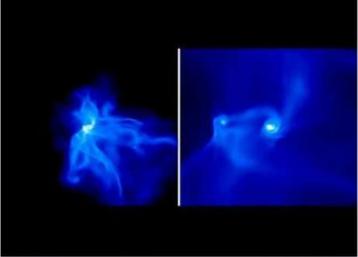
Com o passar do tempo, a proto-estrela ganha massa devido a sua influência gravitacional, e como consequência a sua temperatura e pressão aumenta. A queda de matéria em direção ao centro termina quando inicia o processo de fusão termonuclear, junto com isso, parte da matéria é ionizada e lançada para fora da proto-estrela, produzindo ventos solares.



- **Nuvem molecular**
 - **10⁴⁰ massa solares**
- **Fragmentos da nuvem**
 - **entre 10 e 50 massa solares**
- **Formação de proto-estrelas**



- **Colapso Gravitacional**
- **Disco de Acreção**
- **Proto-estrela**

Estrelas

- São esferas de plasma incandescente, uma bola gigante de gás ionizado superaquecido;
- Sua vida começa a partir do momento em que começa a realizar fusões nucleares em seu núcleo;
- São simples reatores nucleares astronômicos



Massa

Fator fundamental nesta equação;

- **Tempo de vida;**
- **Sua morte;**
- **Temperatura;**
- **Brilho;**
- **Mínimo de 10% da massa do nosso Sol (ou um pouco mais de 70 vezes a massa de Júpiter).**



Relações - Massa

- **Luminosidade - Massa**
 - **Cte - Stefan-Boltzmann**
 - $5.6704 \times 10^8 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$
 - **Massa - Energia**
 - $1,989 \times 10^{30} \text{ Kg}$
 - **Veloc. - Luz**
 - $3 \times 10^9 \text{ m/s}$
 - **Raio - Sol**
 - $695,508 \text{ Km}$
- **Equações:**
 - $L = 4\pi r^2 \sigma T^4$
 - $E = mc^2$
 - $t = E/L$

UPF
Universidade de Passo Fundo

Produção de Energia

- Fonte de energia; fusão nuclear;
- União de núcleos atômicos;
- Temperatura mínima: 8 milhões de Kelvin;
- Conversão: Hidrogênio → Hélio;
- Energia é liberada na forma de radiação (luz);
- A energia que o Sol converte em um segundo é equivalente à 5 trilhões de bombas de hidrogênio, a bomba atômica mais destrutiva que conhecemos;

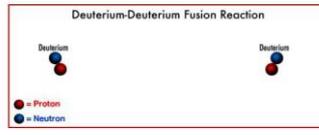


Hans Albrecht Bethe
(1906-2005)

UPF
Universidade de Passo Fundo

Produção de Energia

Deuterium-Deuterium Fusion Reaction

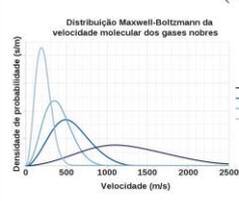
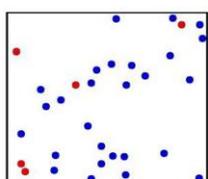


● = Proton
● = Neutron

UPF
Universidade de Passo Fundo

$$F(v) = 4\pi v^2 \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} \exp \left[-\frac{1}{2} \frac{m}{kT} v^2 \right]$$

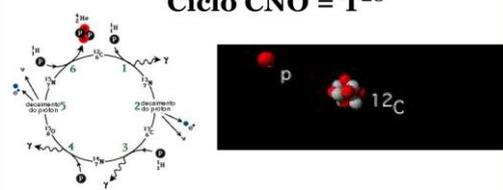
Distribuição Maxwell-Boltzmann da velocidade molecular dos gases nobres

UPF
Universidade de Passo Fundo

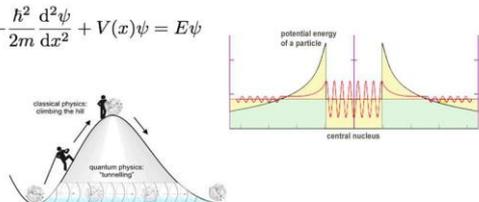
Produção de Energia

Ciclo CNO = T²⁰



UPF
Universidade de Passo Fundo

Tunelamento Quântico

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\psi}{dx^2} + V(x)\psi = E\psi$$


classical physics: climbing the hill
quantum physics: "tunneling"

UPF
Universidade de Passo Fundo

O ciclo CNO domina a queima de hidrogênio para temperatura superior à 18×10^6 K, usando o C e N como catalisadores,

- $^{12}\text{C} + p \rightarrow ^{13}\text{N} + \gamma$ ($Q = 1,94$ Mev)
- $^{13}\text{N} \rightarrow ^{13}\text{C} + e^+ + \nu_e$ ($0,71$ Mev)
- $^{13}\text{C} + p \rightarrow ^{14}\text{N} + \gamma$ ($Q = 7,54$ Mev)
- $^{14}\text{N} + p \rightarrow ^{15}\text{O} + \gamma$ ($Q = 7,29$ Mev)
- $^{15}\text{O} \rightarrow ^{15}\text{N} + e^+ + \nu_e$ ($1,0$ Mev)
- $^{15}\text{N} + p \rightarrow ^{12}\text{C} + ^4\text{He}$ ($Q = 4,96$ Mev)

$\Sigma Q = 25,02$ Mev

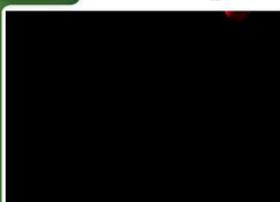
UPF
Universidade de Passo Fundo

Diferentes estrelas poderão ter diferentes processos de fusão nuclear:

- As mais simples (menor massa do que o Sol): **transformam hidrogênio em hélio**;
- O nosso Sol: conversão indo **até carbono e oxigênio**;
- Algumas estrelas irão conseguir **fabricar silício e enxofre**;
- Limite máximo: **formação do ferro**;
- Os elementos mais pesados que o ferro são formados nos eventos como **novas e supernovas**;

UPF
Universidade de Passo Fundo

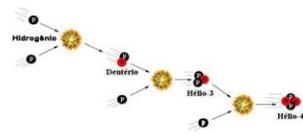
Triplo - $\alpha = T^{40}$



Para temperaturas acima de 10^8 K, ocorre a queima do hélio, pelo processo chamado triplo- α

UPF
Universidade de Passo Fundo

Ciclo p-p = T⁴



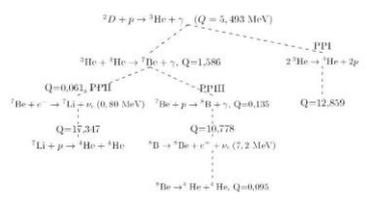
UPF
Universidade de Passo Fundo

Triplo - $\alpha = T^{40}$



- $4\text{He} + 4\text{He} \rightleftharpoons ^8\text{Be} + \gamma$ $Q = 92$ KeV
- $^8\text{Be} + 4\text{He} \rightarrow ^{12}\text{C} + \gamma$ $Q = -278$ KeV
- $^{12}\text{C} + 4\text{He} \rightarrow ^{16}\text{O} + \gamma$ $Q = 7,1613$ MeV

UPF
Universidade de Passo Fundo



- $^2\text{D} + p \rightarrow ^3\text{He} + \gamma$ ($Q = 5,493$ MeV)
- $^3\text{He} + ^3\text{He} \rightarrow 2\text{He} + 2p$ ($Q = 12,86$)
- $^3\text{He} + ^4\text{He} \rightarrow ^7\text{Be} + \gamma$, $Q = 1,386$
- $^7\text{Be} + e^- \rightarrow ^7\text{Li} + \nu_e$ ($0,80$ MeV)
- $^7\text{Be} + p \rightarrow ^8\text{B} + \gamma$, $Q = 0,135$
- $^8\text{B} \rightarrow ^8\text{Be} + e^- + \nu_e$ ($10,778$)
- $^8\text{Be} + ^4\text{He} \rightarrow ^{12}\text{C} + \gamma$ ($7,2$ MeV)
- $^7\text{Li} + p \rightarrow ^8\text{Be} + \gamma$, $Q = 17,347$
- $^8\text{Be} \rightarrow 2\text{He} + 2p$ ($Q = 12,859$)
- $^9\text{Be} + p \rightarrow ^{10}\text{B} + \gamma$, $Q = 0,135$
- $^{10}\text{B} + p \rightarrow ^{11}\text{C} + \gamma$, $Q = 10,778$
- $^{11}\text{C} \rightarrow ^{11}\text{B} + e^+ + \nu_e$ ($0,990$)
- $^{11}\text{B} + p \rightarrow ^{12}\text{C} + \gamma$, $Q = 10,778$
- $^{12}\text{C} + p \rightarrow ^{13}\text{N} + \gamma$, $Q = 1,94$
- $^{13}\text{N} \rightarrow ^{13}\text{C} + e^+ + \nu_e$ ($0,71$)
- $^{13}\text{C} + p \rightarrow ^{14}\text{N} + \gamma$, $Q = 7,54$
- $^{14}\text{N} + p \rightarrow ^{15}\text{O} + \gamma$, $Q = 7,29$
- $^{15}\text{O} \rightarrow ^{15}\text{N} + e^+ + \nu_e$ ($1,0$)
- $^{15}\text{N} + p \rightarrow ^{12}\text{C} + ^4\text{He}$, $Q = 4,96$

UPF
Universidade de Passo Fundo

Queima do Carbono

Para estrelas acima de 10 massas solares, quando a temperatura central atinge 10^{10} K

- $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C} \rightarrow \alpha + ^{20}\text{Ne}$ ($Q = 4,6168$ Mev)
- $^{16}\text{O} + \alpha \rightarrow \gamma + ^{20}\text{Ne}$
- $^{20}\text{Ne} + \alpha \rightarrow \gamma + ^{24}\text{Mg}$
- $^{24}\text{Mg} + \alpha \rightarrow \gamma + ^{28}\text{Si}$
- $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C} \rightarrow p + ^{23}\text{Na}$ ($Q = 2,2398$ Mev)
- $^{23}\text{Na} + p \rightarrow \alpha + ^{20}\text{Ne}$
- $^{23}\text{Na} + p \rightarrow \gamma + ^{24}\text{Mg}$
- $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C} \rightarrow n + ^{23}\text{Mg}$ ($Q = -2,5993$ Mev)

UFP Universidade de Passo Fundo

Abaixo de 10% da massa do Sol

- Não realiza fusões em seu núcleo;
- Destino é ser uma anã marrom;
- Estrelas fracassadas;

→ Apresentam cor avermelhada, contudo, ao longo do tempo perdem temperatura e com isso, seu pequeno brilho se extingue;

→ No futuro, a anã marrom se torna uma anã preta;

UFP Universidade de Passo Fundo

Estrelas com massa entre 10% e até 50%

Consegue realizar fusões, porém somente a transformação de hidrogênio em hélio.

- Estrelas anãs vermelhas.
- São corpos estelares frios (em relação ao Sol)
- Brilho fraco.
- Temperatura na superfície: 3000 Kelvin;
- Fim de sua vida será se comprimindo e restando apenas uma anã branca;

UFP Universidade de Passo Fundo

De 50% à 8 vezes

- Primeira etapa: Hidrogênio -> Hélio;
- Equilíbrio entre a gravidade e a pressão deixa de existir;
- Aumento da temperatura e da luminosidade;
- Segunda etapa: Hélio -> Carbono, Oxigênio;
- Ocorre o reajuste das camadas externa;
- Aumento de tamanho, diminuição da luminosidade e da temperatura da superfície;
- Estágio: Gigante vermelha;

UFP Universidade de Passo Fundo

Estrela O (40 M_{\odot}) Estrela G (1 M_{\odot}) Estrela M (0,2 M_{\odot})

■ zona radiativa ■ zona convectiva ■ região com queima nuclear

UFP Universidade de Passo Fundo

“A geração de energia nuclear passa a se dar em uma camada externa ao núcleo, onde a temperatura e a densidade são suficientes para manter as reações nucleares. Como nenhuma energia nuclear é gerada no núcleo nesta fase, ele se contrai rapidamente, e a luminosidade da estrela aumenta um pouco. As camadas externas se reajustam ao aumento de luminosidade expandindo-se, e como a área superficial aumenta, sua temperatura diminui. Desta forma, a luminosidade aumenta e a estrela torna-se mais vermelha.”

UFP Universidade de Passo Fundo

De 50% à 8 vezes

Este processo irá durar mais um tempo longo até que o estoque de hélio acabe. Após a transformação do hélio em carbono e algumas pequenas partes em oxigênio, a estrela novamente se expande se tornando uma supergigante vermelha.

- A supergigante vermelha é um dos últimos estágios destas estrelas, neste momento a estrela se expande como no processo anterior, porém, não irá conseguir fazer a fusão do carbono.
- Deste modo, as camadas exteriores serão ejetadas formando uma nebulosa planetária e em seu núcleo, irá ter uma estrela anã branca formada por carbono e oxigênio.

UFP Universidade de Passo Fundo

Anãs Brancas

- Densidade e temperatura extremamente alta;
- Seu tamanho é semelhante à Terra, porém sua massa é equivalente a do Sol;
- O que resta para estas estrelas ao longo de milhares e até bilhões de anos é brilhar, devido a energia interna restante, e esfriarem até o ponto de se tornarem anãs pretas;
- Após um longo tempo, quando quase toda a sua energia interna é irradiada, a anã branca se torna um corpo frio, sólido e cristalizado, definido como uma anã preta.

UFP Universidade de Passo Fundo

Massa - Anã Branca

$$M_{Ch}^{RG} = 1,43 \left(\frac{2}{\mu_e} \right)^2 M_{\odot}$$

M_{\odot} = Massa Solar
 μ_e = peso molecular médio

UFP Universidade de Passo Fundo

Limite de Chandrasekhar

- Limite máximo de massa;
- 1,4 massa do Sol;
- Pressão limite da degeneração da matéria;

Subrahmanyan Chandrasekhar (1910-1995)

UFP Universidade de Passo Fundo

De 8 à 25 vezes

- Elas brilham na cor azul;
- São mais quentes e consequentemente, terão vida mais curta;
- Processo rápido:
Hidrogênio -> Hélio
Hélio -> Carbono
Carbono -> Ferro

UFP Universidade de Passo Fundo

Problema do Ferro⁵⁶

UFP Universidade de Passo Fundo

Supernova

Supernova é nome dado ao fenômeno quando uma estrela explode terminando a sua vida. A partir deste momento, é liberada tanta energia que a supernova brilha ao equivalente à uma galáxia.

Os elementos mais pesados que o ferro são formados neste processo devido às altas energias envolvidas.

UPF
Universidade de Passo Fundo

Supernova

O primeiro registro de uma supernova foi com os chineses e árabes em 1054, com a formação da Nebulosa do Caranguejo.

Com um brilho tão intenso que estimativas indicam que ela tenha brilhado durante dois anos, sendo possível ser vista à olho nu durante o dia.



UPF
Universidade de Passo Fundo

Estrela de Nêutron

Devido à força gravitacional intensa, elétrons e prótons são comprimidos e com isso, são obrigados a se unir e formar nêutrons e neutrinos.

Sendo as estrelas mais densas e menores que conhecemos, estrelas de nêutron possuem raio de dezenas de quilômetros (muito menor que a Terra), contudo, a sua temperatura na superfície atinge facilmente os 50 mil Kelvin.

UPF
Universidade de Passo Fundo

Limite Tolman-Oppenheimer-Volkoff

Entre 2 e 3 massa solares

UPF
Universidade de Passo Fundo

Mais de 25 vezes

- Em seu início padrão, começaram como estrelas azuis, contudo, não existe um marco para reconhecer as fases de gigantes e supergigantes, bem como a fusão do hélio, carbono, neônio e demais elementos;
 - Este período é contínuo e imperceptível
- A vida destas estrelas é relativamente curta, não chegando à centena de milhões de anos;
- Por causa de sua composição, não existe nada para contrabalançar a gravidade. Disto, resulta em um colapso gravitacional, onde a força da gravidade é tão forte que nem mesmo a luz consegue escapar;
 - Formação de um buraco negro;

UPF
Universidade de Passo Fundo

Mais de 25 vezes

Um principal candidato à buraco negro é Cygnus X-1, localizada na constelação do cisne, é uma das fontes de raios-X mais abundantes no céu. Cygnus X-1 faz parte de um sistema binário com uma estrela gigante azul.

Dados indicam que Cygnus X-1 contém aproximadamente 15 massas solares, enquanto a sua companheira tem cerca de 20 massa solares. No entanto, a sua distância à Terra é mais de 5,8 mil anos-luz, longe o suficiente para ficar em segurança.

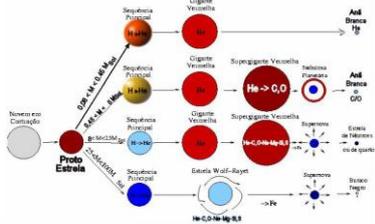


UPF
Universidade de Passo Fundo

Olhando para Cygnus X-1

UPF
Universidade de Passo Fundo

Modelos Estelares



UPF
Universidade de Passo Fundo

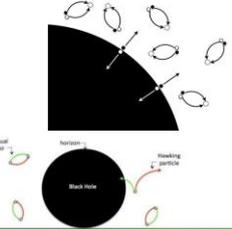
Buraco Negro

$$R_S = \frac{2GM}{c^2}$$


UPF
Universidade de Passo Fundo

Radiação Hawking

- Emissão de radiação por buracos negros;
- Temperatura acima da radiação cósmica de fundo;
- Buracos negros primordiais;
- Princípio da Incerteza;
- Flutuações quânticas;
- Partícula virtual ~> Partícula real;
- Aumento da Entropia ~> Diminuição do BN;



UPF
Universidade de Passo Fundo

Relações BN

$$T_H = \frac{\hbar c^3}{8\pi G k_B M}$$

$$R_S = \frac{2GM}{c^2}$$

$$S_{BH} = \frac{kc^3}{4\hbar G} A$$

UPF
Universidade de Passo Fundo

02 de setembro
05 horas, 56 minutos e 48 segundos
9,2 bilhões de anos

UPF
Universidade de Passo Fundo

PPGECM
Programa de Pós-graduação em Ensino de Física e Matemática
Instituto de Ciências Exatas e Geociências - ICEG

Calendário Cósmico e a Física Nuclear:

“Qual a origem dos elementos químicos?”

Júpiter C. da Roza Silva
Dra. Cleci T. Werner da Rosa, orientadora
Dr. Johnny Ferraz Dias, coorientador



APÊNDICE G - Slides do terceiro encontro

UPF Universidade de Passo Fundo
PPGECM Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática
 Instituto de Ciências Exatas e Geociências - IGEG

Calendário Cósmico e a Física Nuclear: “Qual a idade da Terra?”

Júpiter C. da Roza Silva
 Dra. Cleci T. Werner da Rosa, orientadora
 Dr. Johnny Ferraz Dias, coorientador

UPF Universidade de Passo Fundo

20 de março
08 horas, 45 minutos e 42 segundos
3 bilhões de anos

Formação dos aglomerados e superaglomerados

Um aglomerado de galáxias é um grupo de galáxias que interagem entre si gravitacionalmente. O conteúdo de um grupo é exorbitante, podendo haver centenas até milhares de galáxias em um único grupo. As maiores ganham destaque como superaglomerados e foram descobertas a pouco tempo.



UPF Universidade de Passo Fundo

Problema do Fe⁵⁶

Fusão do Carbono: $12^1_6\text{C} + 12^1_6\text{C} \rightarrow 24^12_{12}\text{Mg} + \gamma$
 $12^1_6\text{C} + 12^1_6\text{C} \rightarrow 20^10_{10}\text{Ne} + 4^2_2\text{He}$
 $12^1_6\text{C} + 12^1_6\text{C} \rightarrow 16^8_8\text{O} + 8^4_2\text{He}$
 $12^1_6\text{C} + 12^1_6\text{C} \rightarrow 14^7_7\text{N} + 1^1_1\text{H}$
 $12^1_6\text{C} + 12^1_6\text{C} \rightarrow 23^11_{11}\text{Mg} + n$
 $12^1_6\text{C} + 12^1_6\text{C} \rightarrow 23^11_{11}\text{Mg} + \gamma$
 $12^1_6\text{C} + 12^1_6\text{C} \rightarrow 16^8_8\text{O} + 2^2_1\text{He}$

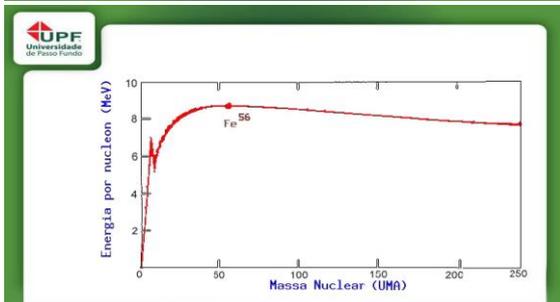
Fusão do Oxigênio: $16^8_8\text{O} + 16^8_8\text{O} \rightarrow 32^16_{16}\text{S} + \gamma$
 $16^8_8\text{O} + 16^8_8\text{O} \rightarrow 28^14_{14}\text{Si} + 4^2_2\text{He}$
 $16^8_8\text{O} + 16^8_8\text{O} \rightarrow 24^12_{12}\text{Mg} + 4^2_2\text{He}$
 $16^8_8\text{O} + 16^8_8\text{O} \rightarrow 31^15_{15}\text{P} + n$
 $16^8_8\text{O} + 16^8_8\text{O} \rightarrow 30^16_{16}\text{S} + 2^2_1\text{He}$
 $16^8_8\text{O} + 16^8_8\text{O} \rightarrow 28^14_{14}\text{Si} + 2^2_1\text{He}$
 $16^8_8\text{O} + 16^8_8\text{O} \rightarrow 28^14_{14}\text{Si} + \gamma$
 $16^8_8\text{O} + 16^8_8\text{O} \rightarrow 26^14_{14}\text{Si} + 2^2_1\text{He}$
 $16^8_8\text{O} + 16^8_8\text{O} \rightarrow 24^12_{12}\text{Mg} + 4^2_2\text{He}$
 $16^8_8\text{O} + 16^8_8\text{O} \rightarrow 24^12_{12}\text{Mg} + \gamma$
 $16^8_8\text{O} + 16^8_8\text{O} \rightarrow 22^10_{10}\text{Ne} + 4^2_2\text{He}$
 $16^8_8\text{O} + 16^8_8\text{O} \rightarrow 22^10_{10}\text{Ne} + \gamma$
 $16^8_8\text{O} + 16^8_8\text{O} \rightarrow 20^10_{10}\text{Ne} + 4^2_2\text{He}$
 $16^8_8\text{O} + 16^8_8\text{O} \rightarrow 20^10_{10}\text{Ne} + \gamma$
 $16^8_8\text{O} + 16^8_8\text{O} \rightarrow 18^8_8\text{O} + 8^4_2\text{He}$
 $16^8_8\text{O} + 16^8_8\text{O} \rightarrow 18^8_8\text{O} + \gamma$
 $16^8_8\text{O} + 16^8_8\text{O} \rightarrow 16^8_8\text{O} + 8^4_2\text{He}$
 $16^8_8\text{O} + 16^8_8\text{O} \rightarrow 16^8_8\text{O} + \gamma$
 $16^8_8\text{O} + 16^8_8\text{O} \rightarrow 14^6_6\text{C} + 8^4_2\text{He}$
 $16^8_8\text{O} + 16^8_8\text{O} \rightarrow 14^6_6\text{C} + \gamma$
 $16^8_8\text{O} + 16^8_8\text{O} \rightarrow 12^6_6\text{C} + 8^4_2\text{He}$
 $16^8_8\text{O} + 16^8_8\text{O} \rightarrow 12^6_6\text{C} + \gamma$
 $16^8_8\text{O} + 16^8_8\text{O} \rightarrow 10^4_4\text{Be} + 8^4_2\text{He}$
 $16^8_8\text{O} + 16^8_8\text{O} \rightarrow 10^4_4\text{Be} + \gamma$
 $16^8_8\text{O} + 16^8_8\text{O} \rightarrow 8^4_2\text{He} + 8^4_2\text{He}$
 $16^8_8\text{O} + 16^8_8\text{O} \rightarrow 8^4_2\text{He} + \gamma$

Fusão do Silício: $28^14_{14}\text{Si} + 4^2_2\text{He} \rightarrow 32^16_{16}\text{S} + \gamma$
 $28^14_{14}\text{Si} + 4^2_2\text{He} \rightarrow 30^16_{16}\text{S} + 2^2_1\text{He}$
 $28^14_{14}\text{Si} + 4^2_2\text{He} \rightarrow 28^14_{14}\text{Si} + \gamma$
 $28^14_{14}\text{Si} + 4^2_2\text{He} \rightarrow 26^14_{14}\text{Si} + 2^2_1\text{He}$
 $28^14_{14}\text{Si} + 4^2_2\text{He} \rightarrow 24^12_{12}\text{Mg} + 4^2_2\text{He}$
 $28^14_{14}\text{Si} + 4^2_2\text{He} \rightarrow 24^12_{12}\text{Mg} + \gamma$
 $28^14_{14}\text{Si} + 4^2_2\text{He} \rightarrow 22^10_{10}\text{Ne} + 4^2_2\text{He}$
 $28^14_{14}\text{Si} + 4^2_2\text{He} \rightarrow 22^10_{10}\text{Ne} + \gamma$
 $28^14_{14}\text{Si} + 4^2_2\text{He} \rightarrow 20^10_{10}\text{Ne} + 4^2_2\text{He}$
 $28^14_{14}\text{Si} + 4^2_2\text{He} \rightarrow 20^10_{10}\text{Ne} + \gamma$
 $28^14_{14}\text{Si} + 4^2_2\text{He} \rightarrow 18^8_8\text{O} + 8^4_2\text{He}$
 $28^14_{14}\text{Si} + 4^2_2\text{He} \rightarrow 18^8_8\text{O} + \gamma$
 $28^14_{14}\text{Si} + 4^2_2\text{He} \rightarrow 16^8_8\text{O} + 8^4_2\text{He}$
 $28^14_{14}\text{Si} + 4^2_2\text{He} \rightarrow 16^8_8\text{O} + \gamma$
 $28^14_{14}\text{Si} + 4^2_2\text{He} \rightarrow 14^6_6\text{C} + 8^4_2\text{He}$
 $28^14_{14}\text{Si} + 4^2_2\text{He} \rightarrow 14^6_6\text{C} + \gamma$
 $28^14_{14}\text{Si} + 4^2_2\text{He} \rightarrow 12^6_6\text{C} + 8^4_2\text{He}$
 $28^14_{14}\text{Si} + 4^2_2\text{He} \rightarrow 12^6_6\text{C} + \gamma$
 $28^14_{14}\text{Si} + 4^2_2\text{He} \rightarrow 10^4_4\text{Be} + 8^4_2\text{He}$
 $28^14_{14}\text{Si} + 4^2_2\text{He} \rightarrow 10^4_4\text{Be} + \gamma$
 $28^14_{14}\text{Si} + 4^2_2\text{He} \rightarrow 8^4_2\text{He} + 8^4_2\text{He}$
 $28^14_{14}\text{Si} + 4^2_2\text{He} \rightarrow 8^4_2\text{He} + \gamma$

Carbono-12 > Oxigênio-16 > Silício-28 > Níquel-56

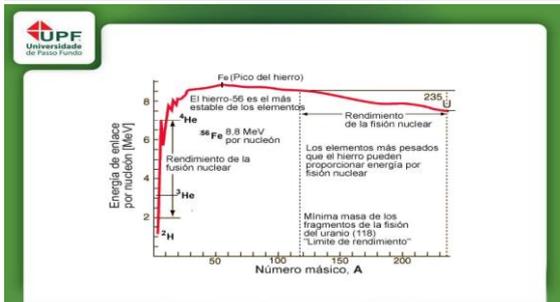
UPF Universidade de Passo Fundo

Localizando o planeta Terra no Universo

UPF Universidade de Passo Fundo

02 de setembro
05 horas, 56 minutos e 48 segundos
9,2 bilhões de anos



UPF Universidade de Passo Fundo

A&A 390, 1115–1118 (2002)
 DOI: 10.1051/0004-6361/20020749
 © ESO 2002

Astronomy & Astrophysics

The age of the Sun and the relativistic corrections in the EOS

A. Bonanno¹, H. Schlatt^{2,3}, and L. Patena³

¹ INFN – Osservatorio Astronomico di Catania, C/ta Università, 95123 Catania, Italy
² Astrophysics Research Institute, Liverpool John Moores University, Twelve Oaks House, Egerton Wharf, Birkenhead CH41 3JZ, UK
³ Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università, Sezione Astronomia, C/ta Università, 95123 Catania, Italy

Received 18 April 2002 / Accepted 13 May 2002

Abstract. We show that the inclusion of special relativistic corrections in the revised OPAL and MHD equations of state has a significant impact on the helioseismic determination of the solar age. Models with relativistic corrections included lead to a reduction of about 800–850 Gyr with respect to those obtained with the old OPAL or MHD EOS. Our best fit value is $t_{\text{Sun}} = (4.57 \pm 0.11)$ Gyr which is in remarkably good agreement with the meteoritic value for the solar age. We argue that the inclusion of relativistic corrections is important for probing the evolutionary state of a star by means of the small frequency asymptote $\omega_p \approx \nu_p \approx \nu_{\text{osc}}$ for spherical harmonic degree $l \gg 1$ and radial order $n \ll l$.

Key words. Sun: interior – Sun: oscillations – equation of state

UPF Universidade de Passo Fundo

26 de janeiro
10 horas, 55 minutos e 14 segundos
1 bilhão de anos

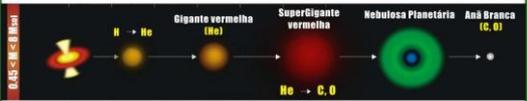
Formação das primeiras galáxias



aglomerados de gás, poeira, nebulosas, estrelas, planetas, luas e demais objetos astronômicos, podendo ter diferentes tamanhos e englobar de milhões à trilhões de estrelas

UPF Universidade de Passo Fundo

Evolução do Sol



0,05 < t < 8 Mil

H + He

Gigante vermelha (He)

SuperGigante vermelha (He + C, O)

Nebulosa Planetária (C, O)

Anã Branca (C, O)

UPF Universidade de Passo Fundo

Estrutura do Sol

The diagram illustrates the internal structure of the Sun. It is divided into several layers: the central **Núcleo** (Core), the **Zona de Radiação** (Radiative Zone), the **Zona de Convecção** (Convective Zone), the **Fotósfera** (Photosphere), and the **Cromosfera** (Chromosphere). A secondary diagram shows the Sun's outer layers, including the **Coroa** (Corona), **Aréola** (Prominence), **Protuberância** (Solar Flare), and **Granulação** (Granulation).

UPF Universidade de Passo Fundo

Planetas

A diagram of the solar system showing the orbits of the planets around the Sun. The planets are labeled: Mercury, Venus, Earth, Mars, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptune, and Pluto.

UPF Universidade de Passo Fundo

05 de setembro
10 horas, 24 minutos e 25 segundos
9,32 bilhões de anos

UPF Universidade de Passo Fundo

Planetas Anões

A diagram showing the dwarf planets: Haumea, Makemake, Eris, Pluto, Ceres, and Charon. The Moon is also shown for scale.

UPF Universidade de Passo Fundo

René Descartes (1596-1650)

UPF Universidade de Passo Fundo

Satélite Naturais

A diagram showing natural satellites for various planets: Terra (Lua), Marte (Fobos, Deimos), Júpiter (Ío, Europa, Ganimedes, Calisto), Saturno (Mianco, Enceladus, Tetis, Dione, Reia, Júpiter, Iapetone, Fêton, Réia, Úris, Titã, Hipocôno, Jâpeto, Fêton, Réia, Úris, Titã), Urano (Miranda, Árbel, Úmbriel, Titânia, Oberon), Neptuno (Tritão, Nereida), and Plútono (Charon).

UPF Universidade de Passo Fundo

Immanuel Kant (1724-1804)

O primeiro a iniciar a argumentação a partir de uma nebulosa. A ideia é que o sistema solar teve começo de uma nuvem de gás e poeira, onde uma porção colossal (mais de 95%) desta matéria compõe o Sol e o restante, formou os demais corpos.

UPF Universidade de Passo Fundo

Asteróides

A diagram showing the asteroid belt between Mars and Jupiter. It includes a 3D view of the belt and a 2D view of the orbits of the planets and the belt.

UPF Universidade de Passo Fundo

Pierre-Simon de Laplace (1749-1827)

- *Exposition du Système du Monde*:
 - desenvolveu a matemática para verificar se era sustentável este pensamento
 - Planetas estavam em um mesmo plano
 - Como também giravam na mesma direção (tendo a exceção de Vênus)

O sistema teria origem inevitavelmente de uma nebulosa de partículas em rotação

UPF Universidade de Passo Fundo

Cometas

A diagram showing the structure of a comet: **Núcleo** (Nucleus), **Coma** (Coma), **Cauda de Gás** (Gas Tail), **Cauda de Poeira** (Dust Tail), and **Cauda de Íons** (Ion Tail). It also shows the **Orbita do Cometa** (Comet Orbit) around the **Star** (Star).

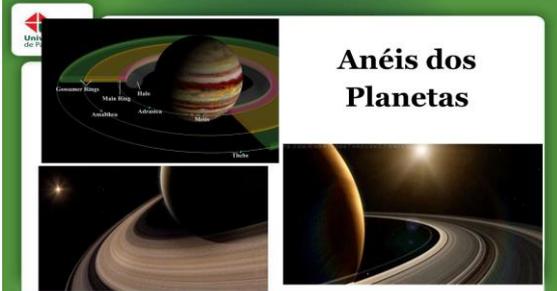
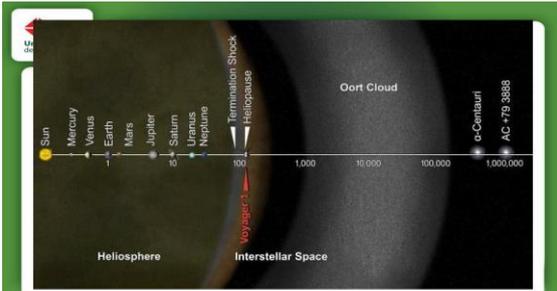
UPF Universidade de Passo Fundo

Componentes do Sistema Solar

UPF Universidade de Passo Fundo

Origem dos Cometas

A diagram showing the **NUVEM de OORT** (Oort Cloud) around the Sun. A portrait of **Jan Oort (1900-1992)** is also included.

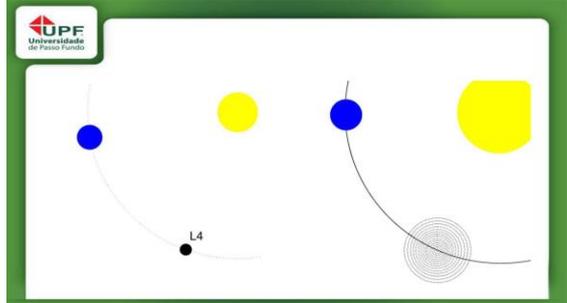


nature geoscience LETTERS
 PUBLISHED ONLINE 23 MARCH 2012 | DOI:10.1038/ngeo1211

ZHANG, Junjun et al.
The proto-Earth as a significant source of lunar material
Nature Geoscience,
 V. 5, n. 4, p. 251, 2012.

Junjun Zhang^{1*}, Nicolas Daughas¹, Andrew M. Davis¹, Ingo Leya² and Alexei Fedkin¹

A giant impact between the proto-Earth and a Mars-sized impactor named Theia is the favoured scenario for the formation of the Moon¹. Oxygen isotopic compositions have been found to be identical between terrestrial and lunar samples, which is inconsistent with numerical models predicting that 80% of the Moon-forming disk material was derived from Theia². However, it remains uncertain whether more volatile elements, such as titanium, share the same degree of isotopic homogeneity as oxygen in the Earth-Moon system. Here we present ⁷⁰Ti ratios in lunar samples measured by mass spectrometry. After correcting for secondary effects associated with processing sequences at the lunar surface using our distribution fractionation equations, we find that the ⁷⁰Ti/⁴⁸Ti ratio of the Moon is identical to that of the Earth within about four parts per million, which is only 1/100 of the natural range documented in meteorites. This isotopic homogeneity of the highly refractory element titanium that lunar material was derived from the proto-Earth supports an origin that could be explained by efficient impact spallation, or an outgassing of material from the Earth's magma ocean and the post-impact disk, or by fusion from a rapidly rotating post-impact Earth.



UPF Universidade de Passo Fundo

Oxygen Isotopes and the Moon-Forming Giant Impact
 U. Wiechert,¹ A. N. Halliday,¹ D.-C. Lee,² G. A. Snyder,² L. A. Taylor,³ D. Rumble³

We have determined the abundances of ¹⁶O, ¹⁷O, and ¹⁸O in 31 lunar samples from Apollo missions 11, 12, 15, 16, and 17 using a high-precision laser fluorination technique. All oxygen isotope compositions plot within ±0.016 per mil (2 standard deviations) on a single mass-dependent fractionation line that is identical to the terrestrial fractionation line within uncertainties. This observation is consistent with the Giant Impact model, provided that the proto-Earth and the smaller impactor planet (named Theia) formed from an identical mix of components. The similarity between the proto-Earth and Theia is consistent with formation at about the same heliocentric distance. The three oxygen isotopes (Δ¹⁷O) provide no evidence that isotopic heterogeneity on the Moon was created by lunar impacts.

WEICHERT, Ulrich et al.
Oxygen isotopes and the Moon-forming giant impact.
Science,
 v. 294, n. 5541, p. 345-348, 2001.

UPF Universidade de Passo Fundo

06 de setembro
18 horas, 15 minutos e 55 segundos
9,37 bilhões de anos

"Uma das grandes revelações da exploração espacial é a imagem da Terra, finita e solitária acomodando toda a espécie humana através dos oceanos do tempo e do espaço"
 Carl Sagan (1934-1996)

UPF Universidade de Passo Fundo

11 de setembro
o hora, 12 minutos e 4 segundos
9,53 bilhões de anos

UPF Universidade de Passo Fundo

08 de setembro
2 horas, 7 minutos e 26 segundos
9,42 bilhões de anos

"Este é um pequeno passo para o homem, mas um grande salto para a humanidade"
 Neil Armstrong, durante a missão Apollo 11 ao pisar na Lua em 1969

nature geoscience LETTERS
 PUBLISHED ONLINE 21 FEBRUARY 2014 | DOI:10.1038/ngeo1602

Hadean age for a post-magma-ocean zircon confirmed by atom-probe tomography
 John W. Valley^{1*}, Aaron J. Cavoski^{1,2}, Takayuki Ushikubo¹, David A. Reinhard¹, Daniel F. Lawrence¹, David J. Larson¹, Peter H. Cilfone¹, Thomas F. Kelly¹, Simon A. Wilde³, Desmond E. Moser⁴ and Michael J. Spicuzza¹

The only physical evidence from the earliest phases of Earth's evolution comes from zircon, ancient mineral grains that can be dated using the U-Pb geochronometer¹. Zircon crystals older than 4.4 billion years have been used to date when the high-temperature and conditions habitable to life were established². Chemical homogeneity of Earth's crust and the existence of a magma ocean have not been dated directly, but must have occurred earlier³. However, the accuracy of the U-Pb zircon ages can possibly be biased by poorly understood processes of detritation⁴ in the mantle⁵. Here we use atomic-scale tomography⁶ to identify and map individual atoms in the oldest zirconium grain from Earth's 4.4-billion-year-old Hadean crust with a high-temperature sequence that formed about 1 Gyr after the magma⁷ ocean, isolated inclusions, measuring about 10 and spaced 10–50 nm apart, are enriched in high ¹⁸⁷Pb/²⁰⁶Pb ratios. We demonstrate that the length scales of these clusters under U-Pb age dating are smaller than they formed during the later subvolcanic event. Our tomography data therefore confirm that any mixing event of the Hadean Earth must have occurred before 4.4 Gyr ago, consistent with magma ocean formation by an early moon-forming impact⁸ about 4.5 Gyr ago.

Período Hadeano

UPF Universidade de Passo Fundo

BARBONI, Melanie et al.
Early formation of the Moon 4.51 billion years ago.
Science Advances,
 v. 3, n. 1, p. e1602365, 2017

SCIENCE ADVANCES | RESEARCH ARTICLE

SPACE SCIENCE

Early formation of the Moon 4.51 billion years ago
 Melanie Barboni,^{1*} Patrick Boehlenke,^{2,3} Brenhin Keller,^{4,5} Isaku E. Kohi,⁶ Blair Schoene,⁷ Edward D. Young,⁸ Kevin D. McKeegan¹

Establishing the age of the Moon is critical to understanding solar system evolution and the formation of rocky planets, including Earth. However, despite its importance, the age of the Moon has never been accurately determined. We present uranium-lead dating of Apollo 14 zircon fragments that yield highly precise, concordant ages, demonstrating that they are robust against postcrystallization isotopic disturbances. Hafnium isotopic analyses of the same fragments show extremely low initial ¹⁷⁶Hf/¹⁸⁰Hf ratios consistent for cosmic-ray exposure that are near the solar system initial value. Our data indicate differentiation of the lunar crust by 4.51 billion years, indicating the formation of the Moon within the first ~60 million years after the birth of the solar system.

UPF Universidade de Passo Fundo

A Terra se formou há 4,5 bilhões de anos como uma bola de rocha derretida, o que significa que sua crosta se formou depois, com cerca de dois milhões de anos de diferença. A idade do cristal mostra ainda que a crosta apareceu dois milhões de anos depois da formação do sistema solar.

Segundo John Valley, professor de geociências da Universidade de Wisconsin, nos EUA, que coordenou o estudo, isto confirma a tese de que a Terra esfriou antes do que se imaginava, garantindo condições para a criação de oceanos e até da vida.

Estamos interessados em saber quando a Terra se tornou habitável, quando ela esfriou o suficiente para possibilitar a vida – afirmou.

A descoberta do cristal de zircão, o primeiro da formação da crosta, data de 4,4 bilhões de anos, o que sugere que o planeta era capaz de ter vida microbiana há 4,3 bilhões de anos.

Não temos evidência de que a vida existiu antes desse período. E não temos evidência de que não existiu. Mas não há motivo por que a vida não poderia existir na Terra há 4,3 bilhões de anos – acrescentou.

Um registro de fósforo mais antigo na Terra não de extraterrestres, de uma forma antiga de bactérias de cerca de 3,4 bilhões de anos.

O zircão foi extraído em um sítio na região Jack Hills, na Austrália. Para uma pedra de tamanho importante, é bastante pequena. Ela mede apenas cerca de 200 por 400 micrômetros, duas vezes o diâmetro do seu fio de cabelo humano.

E DAQUI PARA BAIXO? O QUE HAVIA?

UPF
Universidade de Passo Fundo

Como é feita essa contagem?

UPF
Universidade de Passo Fundo

Uma vez extraídos de sua rocha-fonte, os cristais individuais poderiam ser datados, já que os zircões são excelentes cronômetros geológicos. Além da sua longevidade, contêm traços de urânio radioativo, que decai para chumbo a um ritmo conhecido. Quando um cristal de zircão se forma a partir de magma solidificado, átomos dos elementos zircônio, silício e oxigênio combinam-se em proporções exatas (ZrSiO₄) para criar uma estrutura cristalina exclusiva do zircão; o urânio ocasionalmente os substitui como um traço de impureza. Átomos de chumbo, por outro lado, são muito grandes para substituir adequadamente qualquer dos elementos da composição, e por isso os cristais de zircão nascem virtualmente livres de chumbo. O relógio urânio-chumbo começa a funcionar tão logo o zircão se cristaliza, e a razão chumbo/urânio aumenta com a idade do cristal. Os cientistas conseguem determinar a idade de um cristal de zircão não danificado com 1% de exatidão. No caso da Terra primitiva isso representa margem de erro de 40 milhões de anos.

UPF
Universidade de Passo Fundo

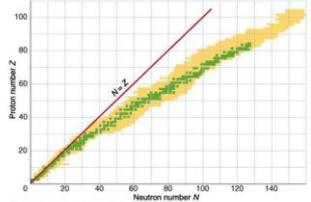
Tabela Periódica dos Elementos



X = Elemento atômico
Z = Número de prótons
N = Número de nêutrons
A = Número atômico

UPF
Universidade de Passo Fundo

Carta de núcleos



Copyright 1988 by John Wiley and Sons, Inc. All rights reserved.

UPF
Universidade de Passo Fundo

Na natureza alguns elementos se apresentam de forma instável, o que afeta o núcleo atômico provocando a transformação de um elemento em outro ou a liberação de energia. Estes dois fenômenos é o que chamamos de "radioatividade".

UPF
Universidade de Passo Fundo

Comumente núcleos atômicos muito grandes são instáveis, ao passo que, núcleos pequenos são estáveis.

Por quê?

UPF
Universidade de Passo Fundo

Méson Pi

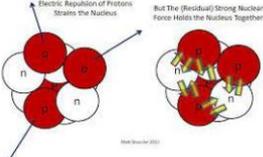
$$\Delta x \Delta p_x \geq \hbar$$

$$\Delta E \Delta t \geq \hbar$$

$c = 9 \times 10^8$
 $\hbar = 1,0545718 \times 10^{34}$

UPF
Universidade de Passo Fundo

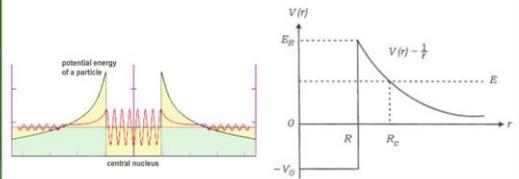
"Fila de Partículas"



Electric Repulsion of Protons Strains the Nucleus
 But The (Residual) Strong Nuclear Force Holds the Nucleus Together

UPF
Universidade de Passo Fundo

Tunelamento Quântico



potential energy of a particle
 central nucleus
 $V(r)$
 E_R
 $V(r) - \frac{1}{r}$
 E
 0
 R
 R_c
 $-V_0$

UPF
Universidade de Passo Fundo

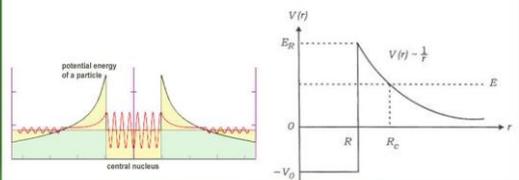
A Radioatividade é um modo encontrado pelo átomo para se tornar estável, isto é, uma maneira de se desfazer de uma porção de energia (sendo em forma de partículas ou em ondas eletromagnéticas) e assim encontrando um equilíbrio entre as forças que agem sobre o núcleo. Chamamos de "radiação" a energia produzida pelo núcleo atômico, podendo ser de três maneiras, ou três tipos: a radiação alfa, beta e gama, sendo que para cada radiação existem uma característica específica.

UPF
Universidade de Passo Fundo

Decaimento Alfa

UPF
Universidade de Passo Fundo

Tunelamento Quântico



potential energy of a particle
 central nucleus
 $V(r)$
 E_R
 $V(r) - \frac{1}{r}$
 E
 0
 R
 R_c
 $-V_0$

UPF Universidade de Passo Fundo

Alfa

| Elemento Inicial | Nº Prótons | Nº Nêutrons | Nº de massa | Elemento Final | Nº Prótons | Nº Nêutrons | Nº de massa |
|------------------|------------|-------------|-------------|----------------|------------|-------------|-------------|
| Urânio-238 | 92 | 146 | 238 | Tório-234 | 90 | 144 | 234 |
| Rádio-226 | 88 | 138 | 226 | Radônio-222 | 86 | 136 | 222 |
| Polônio-218 | 84 | 134 | 218 | Chumbo-214 | 82 | 132 | 214 |

UPF Universidade de Passo Fundo

Meia-vida

"Prazo de Validade"

UPF Universidade de Passo Fundo

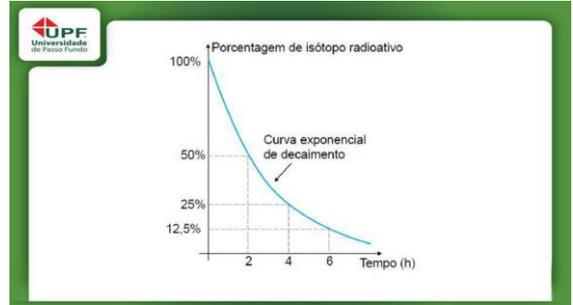
Decaimento Beta

Beta Mais (β⁺):

- Um próton se converte em um nêutron, um pósitron e um neutrino do elétron.
 - "Emissão de pósitron"
 - Faz com que o elemento perca um próton e com isso, converte-se em um elemento mais leve da tabela periódica.

Beta Menos (β⁻):

- Um nêutron, que se transforma em um próton, um elétron e um antineutrino do elétron.
 - O próton fica aprisionado junto ao núcleo, enquanto o elétron é emitido junto com o antineutrino com velocidades próxima à da luz.
 - O núcleo que sofre este decaimento, ao perder um nêutron, ganha um próton e com isso, se transmuta em um elemento mais pesado da tabela periódica.



UPF Universidade de Passo Fundo

Decaimento Beta

Beta Mais (β⁺):

- Um próton se converte em um nêutron, um pósitron e um neutrino do elétron.
 - "Emissão de pósitron"
 - Faz com que o elemento perca um próton e com isso, converte-se em um elemento mais leve da tabela periódica.

UPF Universidade de Passo Fundo

Lei de Decaimento

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt$$

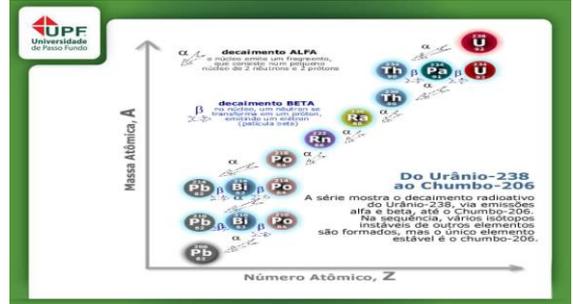
$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -\lambda \int_{t_0=0}^t dt$$

UPF Universidade de Passo Fundo

Decaimento Beta

Beta Menos (β⁻):

- Um nêutron, que se transforma em um próton, um elétron e um antineutrino do elétron.
 - O próton fica aprisionado junto ao núcleo, enquanto o elétron é emitido junto com o antineutrino com velocidades próxima à da luz.
 - O núcleo que sofre este decaimento, ao perder um nêutron, ganha um próton e com isso, se transmuta em um elemento mais pesado da tabela periódica.



UPF Universidade de Passo Fundo

Decaimento Beta

Beta Mais (β⁺):

Beta Menos (β⁻):

Richard Feynman (1918-1988)

UPF Universidade de Passo Fundo

A critério de reflexão, caso conseguirmos um átomo de urânio-238 que se transmuta a cada segundo, depois de 15 segundos ele se tornaria o chumbo-206. Contudo, em uma situação bem menos felizardaz; caso fosse um urânio da terceira meia-vida, ele levaria o tempo de aproximadamente 13,5 bilhões de anos (próximo a idade do Universo) somente para a primeira transmutação. Imaginando os mesmos 10 gramas de urânio, a sua terceira meia-vida seria da porção de 1,25 gramas restante. Em uma situação intermediária, no caso de cada transmutação ocorrer ao final de cada meia-vida de cada elemento, o tempo necessário seria de aproximadamente 4,6 bilhões de anos, indo do urânio até o chumbo.

UPF Universidade de Passo Fundo

Decaimento Gama

A radiação com mais energia é a gama, por isso tem o poder de penetração maior que as outras radiações, necessitando de uma barreira de chumbo bem espessa para poder impedi-la. Normalmente, após a emissão de partícula alfa ou beta, se o núcleo estiver em um nível excitado, isto é, ainda conter energia, na procura por se estabilizar ocorre na forma de emissão de ondas eletromagnéticas (raios gama). Estas ondas eletromagnéticas de alta energia é o que consistem em a radiação gama. Existem outras maneiras de produzir os gamas, como a desaceleração de partículas carregadas ou processo de aniquilação de matéria e antimatéria (elétron-pósitron, próton-antipróton e etc).

Quatro subníveis e quatro prótons numa caixa unidimensional

Níveis de energia do núcleo ²⁴¹Pu

UPF Universidade de Passo Fundo

Archean microfossils: a reappraisal of early life on Earth

ALTERMANN, Wladyslaw; KAZMIERCZAK, Józef.

Archean microfossils: a reappraisal of early life on Earth.

Research in Microbiology, v. 154, n. 9, p. 611-617, 2003

Wladyslaw Altermann¹, Józef Kazmierczak^{2*}

¹Center for Biological Microscopy, Polish Academy of Sciences, 02-217, Warsaw, Poland

²Institute of Geology, Polish Academy of Sciences, 01-145, 01-145, Warsaw, Poland

Received 30 July 2003; accepted 20 August 2003

First published online 21 August 2003

Abstract

The oldest fossils found thus far on Earth are c. 3.49 and 3.46-billion-year-old filamentous and coccolith mineral remains in rocks of the Pilbara craton, Western Australia, and c. 3-billion-year-old rocks from the Kuberry region, South Africa. Their biogenicity was recently questioned and they were interpreted as inorganic, mineral artifacts or inorganic carbon aggregates. Morphological, geochemical and isotopic data imply, however, that life was relatively widespread and advanced in the Archean, between 3.5 and 2.5 billion years ago, with modernity perhaps analogous to those of more prokaryotic organisms, including cyanobacteria, and probably even eukaryotes at the terminal Archean.

© 2003 Edition scientifique et technique Elsevier SAS. All rights reserved.

Keywords: Archean; Early life; Microfossils; Nanobacteria

UPF
Universidade
de Passo Fundo

1º de outubro
10 horas, 49 minutos e 54 segundos
10,3 bilhões de anos

Os fósseis mais antigos encontrados na Terra apresentam idade de, aproximadamente, 3,5 bilhões de anos. Este são microfósseis de algas e bactérias primitivas do período Arqueano.

Esse período é marcado pela continuidade da atividade vulcânica, aparecimento das primeiras formações rochosas expostas, início da vida, das grandes bacias hidrográficas no planeta e o decréscimo da temperatura da Terra. A vida no planeta se apresentava na forma mais simples, em organismos unicelulares. Estes organismos são chamados de "procariontes" e contém características bem sutis, como células procariontes que tem como principal característica o fato de seu material genético está disperso pelo citoplasma, sem nenhuma delimitação.

UPF
Universidade
de Passo Fundo

1º de outubro
10 horas, 49 minutos e 54 segundos
10,3 bilhões de anos

Estas evidências indicam que a vida surgiu na Terra em torno de um bilhão de anos após a sua formação. Este tempo em específico é considerado como o período pré-cambriano (período anterior à explosão de formas de vida) e, ainda, levaria mais alguns milhões de anos para que os organismos tomassem uma forma mais evoluída.

UPF
Universidade
de Passo Fundo

REPORT
PHYLOGENETICS

SOO, Rochelle M. et al.
On the origins of oxygenic photosynthesis and aerobic respiration in Cyanobacteria.
Science,
v. 355, n. 6332, p. 1436-1440,
2017

On the origins of oxygenic photosynthesis and aerobic respiration in Cyanobacteria

Rochelle M. Soo,^{1*} James Hemp,^{2*} Donovan H. Parks,³ Woodward W. Fischer,^{1†} Philip Hagerstrand^{1†}

The origin of oxygenic photosynthesis in Cyanobacteria led to the rise of oxygen on Earth ~2.3 billion years ago, profoundly altering the course of evolution by facilitating the development of aerobic respiration and complex multicellular life. Here we report the genomes of 41 uncultured organisms related to the photosynthetic Cyanobacteria (class Oryphotobacteria), including members of the class Melanobacteria and a new class of Cyanobacteria (class Sericytochromatia) that is basal to the Melanobacteria and Oryphotobacteria. All members of the Melanobacteria and Sericytochromatia lack photosynthetic machinery, indicating that photoautotrophy was not an ancestral feature of the Cyanobacteria and that Oryphotobacteria acquired the genes for photosynthesis relatively late in cyanobacterial evolution. We show that all three classes independently acquired aerobic respiratory complexes, supporting the hypothesis that aerobic respiration evolved after oxygenic photosynthesis.

UPF
Universidade
de Passo Fundo

20 de outubro
01 horas, 50 minutos e 58 segundos
11,15 milhões de anos

Evidências encontradas em organismo unicelulares mostram que alguns apresentavam a capacidade de gerar oxigênio. Esta capacidade é oriunda do processo da fotossíntese que, é a maneira que as plantas utilizam para obter alimento. O processo consiste em utilizar a energia da luz solar para converter o dióxido de carbono e a água em glicose (açúcar), oxigênio e uma fração de água como subproduto. A fotossíntese teve grande importância, pois, uma vez que levou a atmosfera a ficar inundada de oxigênio.

UPF
Universidade
de Passo Fundo

PPGECM
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática
Instituto de Ciências Exatas e Geociências - ICEG

Calendário Cósmico e a Física Nuclear:
“Qual a idade da Terra?”

Júpiter C. da Roza Silva
Dra. Cleci T. Werner da Rosa, orientadora
Dr. Johnny Ferraz Dias, coorientador

APÊNDICE H - Slides do quarto encontro

UPF Universidade de Passo Fundo
PPGECM Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática
 Instituto de Ciências Exatas e Geociências - IGEG

Calendário Cósmico e a Física Nuclear:

Júpiter C. da Roza Silva
 Dra. Cleci T. Werner da Rosa, orientadora
 Dr. Johnny Ferraz Dias, coordenador

UPF Universidade de Passo Fundo

20 de outubro
01 horas, 50 minutos e 58 segundos
11,15 milhões de anos

Evidências encontradas em organismo unicelulares mostram que alguns apresentavam a capacidade de gerar oxigênio. Esta capacidade é oriunda do processo da fotossíntese que, é a maneira que as plantas utilizam para obter alimento. O processo consiste em utilizar a energia da luz solar para converter o dióxido de carbono e a água em glicose (açúcar), oxigênio e uma fração de água como subproduto. A fotossíntese teve grande importância, pois, uma vez que levou a atmosfera a ficar inundada de oxigênio.

UPF Universidade de Passo Fundo

1º de outubro
10 horas, 49 minutos e 54 segundos
10,3 bilhões de anos

Os fósseis mais antigos encontrados na Terra apresentam idade de, aproximadamente, 3,5 bilhões anos. Este são microfósseis de algas e bactérias primitivas do período Arqueano.

Esse período é marcado pela continuidade da atividade vulcânica, aparecimento das primeiras formações rochosas expostas, início da vida, das grandes bacias hidrográficas no planeta e o decréscimo da temperatura da Terra. A vida no planeta se apresentava na forma mais simples, em organismos unicelulares. Estes organismos são chamados de "procariontes" e contém características bem sutis, como células procariontes que tem como principal característica o fato de que seu material genético está disperso pelo citoplasma, sem nenhuma delimitação.

UPF Universidade de Passo Fundo

23 de novembro
13 horas, 10 minutos e 5 segundos
12,3 bilhões de anos

Levou ao menos 2 bilhões de anos para que a vida pioneira evoluísse de unidades solitárias para organismo mais complexos. As células, denominadas como "eucariontes" que antes tinha o seu material disperso pelo citoplasma, passam a conter em seu interior organelas, ou seja, compartimentos delimitados.

UPF Universidade de Passo Fundo

Archean microfossils: a reappraisal of early life on Earth

ALTERMANN, Wladyslaw;
 KAZMIERCZAK, Józef.
 Archean microfossils: a reappraisal of early life on Earth.
Research in Microbiology, v. 154, n. 9, p. 611-617, 2003

Wladyslaw Altermann*, Józef Kazmierczak**
 * Center for Biological Microanalysis (BioMig), CBRS, Bar-Charles-Sabin, 4077 Orleans, France
 ** Institute of Microbiology, Polish Academy of Sciences, Terakos 15/155, 80-031 Warszawa, Poland
 Received 10 July 2003; accepted 27 August 2003
 First published online 17 August 2003

Abstract
 The oldest fossils found thus far on Earth are c. 3.45 and 3.46-billion-year-old filamentous and circular microbial remains in rocks of the Pilbara craton, Western Australia, and c. 3.4-billion-year-old rocks from the Barberton region, South Africa. Their biogenicity was recently questioned and they were interpreted as concretions, mineral inclusions or inorganic carbon aggregates. Morphological, geochemical and isotopic data imply, however, that life was already widespread and abundant in the Archean, between 3.5 and 2.5 billion years ago, with metabolic pathways analogous to those of recent prokaryotic organisms, including cyanobacteria, and probably even eukaryotes at the terminal Archean.
 © 2003 Editions scientifiques et médicales Elsevier SAS. All rights reserved.
 Keywords: Archean; Early life; Microfossils; Stratolites

UPF Universidade de Passo Fundo

Período Geológico

| ERAS | PERÍODOS |
|---------------|-------------|
| 0 | Quaternário |
| 65 | Terciário |
| | Cretáceo |
| 225 | Jurássico |
| | Triássico |
| 570 | Permiano |
| | Carbonífero |
| | Devoniano |
| | Siluriano |
| Pré-Cambriana | Ordoviciano |
| | Cambriano |

UPF Universidade de Passo Fundo

1º de outubro
10 horas, 49 minutos e 54 segundos
10,3 bilhões de anos

Estas evidências indicam que a vida surgiu na Terra em torno de um bilhão de anos após a sua formação. Este tempo em específico é considerado como o período pré-cambriano (período anterior à explosão de formas de vida) e, ainda, levaria mais alguns milhões de anos para que os organismos tomassem uma forma mais evoluída.

UPF Universidade de Passo Fundo

06 de dezembro à 31 dezembro
Entre 12,8 a 13,76 bilhões de anos

Neste momento temos um compilado da evolução da vida no planeta Terra, na qual temos dificuldade de estimar datas, especialmente em se tratando de seres vivos. Podemos perceber que a vida é o resultado de uma longa cadeia natural de evolução tanto sob o ponto de vista da química, como da biologia.

De uma forma geral, as características apresentadas pelos seres vivos são a existência de um metabolismo, a reprodução e a alteração de seu sistema. Tais características permitem sintetizar que a vida sofre adaptações, acumulando informações para a sua sobrevivência. Contudo, para o surgimento da vida inteligente, como a concebemos hoje, é necessário um tempo maior, com uma longa seleção cumulativa de informações e adaptações.

UPF Universidade de Passo Fundo

REPORT
PHYLOGENETICS

On the origins of oxygenic photosynthesis and aerobic respiration in Cyanobacteria

Rochelle M. Soo,¹ James Hemp,² Donovan H. Parks,³ Woodward W. Fischer,⁴ Philip Hingston^{1,5}

The origin of oxygenic photosynthesis in Cyanobacteria led to the rise of oxygen on Earth ~2.5 billion years ago, profoundly altering the course of evolution by facilitating the development of aerobic respiration and complex multicellular life. Here we report the genomes of 43 uncultured organisms related to the photosynthetic Cyanobacteria (class Oxyphotobacteria), including members of the Melanobacteriota and Sericytochromatota lack photosynthetic machinery, indicating that phototrophy was not an ancestral feature of the Cyanobacteria and that Oxyphotobacteria acquired the genes for photosynthesis relatively late in cyanobacterial evolution. We show that all three classes independently acquired aerobic respiratory complexes, supporting the hypothesis that aerobic respiration evolved after oxygenic photosynthesis.

SOO, Rochelle M. et al.
 On the origins of oxygenic photosynthesis and aerobic respiration in Cyanobacteria.
Science, v. 355, n. 6332, p. 1436-1440, 2017

UPF Universidade de Passo Fundo

06 de dezembro à 31 dezembro
Entre 12,8 a 13,76 bilhões de anos

Os artrópodes representam a maiores quantidades de espécimes na atualidade, surgindo a aproximadamente 550 milhões de anos, no período Cambriano. Envoltos por um exoesqueleto e sendo invertebrados, são os ancestrais na forma de aranhas, caranguejos, centopéias e etc. Durante o período Cambriano eram encontrados nos oceanos e hoje são conhecidos somente por fósseis restantes desta época.

UPF
Universidade de Passo Fundo

06 de dezembro à 31 dezembro
Entre 12,8 a 13,76 bilhões de anos

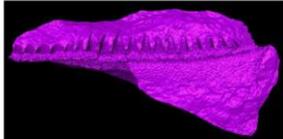
Dentro do período Permiano-Triássico, ocorreu uma das maiores extinções na Terra, na qual desapareceu em quase toda a sua totalidade a vida e foi o evento mais austero ocorrido até hoje na qual foram extintos 75% dos grupos de seres biológicos. Dada a escassez de informações deste período em específico, extinções em massas são decorrência de diversos fatores desconhecidos. Neste caso em específico, paleontólogos acreditam que a origem deste evento está nas diversas mudanças geológicas do período. Estas mudanças ocasionaram erupções vulcânicas (sinais indicam que fora na Sibéria, atual Rússia), onde grandes quantidades de gases na atmosfera provocaram um mortal efeito estufa, gerando assim um aquecimento global, e até mesmo uma ausência de oxigênio no oceano.

UPF
Universidade de Passo Fundo

CIÊNCIA E SAÚDE

Fóssil de tubarão de 400 milhões de anos é descoberto no Peru

Esqueleto fóssil de um tubarão descoberto em uma pedreira de mármore, distrito de Tarma, a 320 mil metros de altitude sobre o nível do mar.



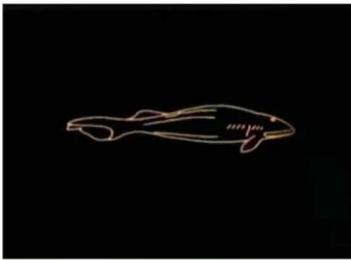
UPF
Universidade de Passo Fundo

06 de dezembro à 31 dezembro
Entre 12,8 a 13,76 bilhões de anos

O fim da Era Mesozóica é compreendido pelo período do Cretáceo, algo em torno de 65 milhões de anos atrás. Este momento é conhecido pelo fenômeno que ocasionou a extinção dos maiores animais da Terra, os dinossauros e é compreendido dentro do dia 30 de dezembro do nosso calendário. A extinção do Cretáceo-Paleogeno é conhecida pela teoria de que um grande asteroide chocou-se contra a Terra, correspondendo a um evento de grande impacto para a vida na Terra.

UPF
Universidade de Passo Fundo

Evolução da Vida



UPF
Universidade de Passo Fundo

31 de dezembro
Os últimos 40 milhões de anos
13,76 milhões de anos

As 6 horas do dia 31, surgem os primeiros macacos que vivendo entre galhos de árvores se alimentavam de pequenos insetos. Este quadro vai mudar com o crescimento dos ossos e do cérebro. Inicialmente com os gibões, evoluindo para gorilas e depois para chimpanzés, a presença da laringe entre a faringe e os pulmões indica como a precursora da fala.

UPF
Universidade de Passo Fundo

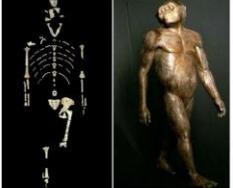
31 de dezembro
Os últimos 40 milhões de anos
13,76 milhões de anos

Como os primeiros homínidos, um esqueleto encontrado na Etiópia é descrito como "nem chimpanzé, nem humano" e tem sua idade estimada como sendo de 4,4 milhões de anos atrás. No nosso calendário, esta data de localiza aproximadamente em torno das 21 horas. Das características, apresentava corpo e cabeça de chimpanzé, não andava por longos períodos e não se balançava entre galhos de árvore como os macacos.

UPF
Universidade de Passo Fundo

31 de dezembro
Os últimos 40 milhões de anos
13,76 milhões de anos

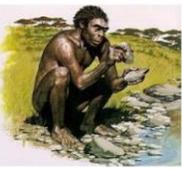
Os fósseis datados em 3,2 milhões de anos, indicam que, no nosso calendário, sua localização fica próxima às 22 horas do dia 31 e pertencem a uma espécie de homínido, o australopithecus. O nome do esqueleto fóssil, Lucy, é em referência à música "Lucy in the Sky with Diamonds" dos The Beatles.



UPF
Universidade de Passo Fundo

Últimos 2 milhões de anos

O começo do desenvolvimento para o ser humano como conhecemos hoje iniciou aproximadamente a 2 milhões de anos. Os primeiros do gênero Homo são o Homo Habilis, que devido a habilidade manual ganharam este nome. Essa capacidade resultou na confecção de ferramentas, que inicialmente eram feitas de ossos e pedra.



UPF
Universidade de Passo Fundo

O Homo Erectus acredita-se que seja o primeiro homínido a lidar com o fogo. Tendo não só tamanho maior em relação ao Habilis, o seu crânio também era ao menos 50% maior. Com cérebro maior, possibilitou-lhes a construção de ferramentas mais elaboradas. Fósseis encontrados indicavam que havia um design consciente, como por exemplo, machados de mão. Além do fogo, foram os primetos a iniciar sua migração para fora do continente africano.



UPF
Universidade de Passo Fundo



O Homo Neanderthalensis é uma subespécie do homem que surgiu a aproximadamente 400 mil anos atrás e desapareceu a cerca de 35 mil. Ainda que o seu DNA seja praticamente igual ao humano, eles não são os nossos ancestrais. Existem algumas evidências entre o convívio do Homo Neandertal com o Sapiens e um possível cruzamento entre as espécies. As teses sobre a extinção do Neandertal sugerem que ocorreram vários conflitos, tiveram baixa mobilidade da população e apresentaram dificuldade em se reproduzir.

UPF
Universidade de Passo Fundo

Nos últimos 200 mil anos aparece o Homo Sapiens, do latim "homem sábio".



UPF
Universidade de Passo Fundo

| | | | | |
|----------------------------------|---|--|-----------------------------------|---|
| Até 4000 a.C. Pré-História | De 4000 a.C. até 476 d.C. Idade Antiga | De 476 d.C. até 1453 Idade Média | De 1453 até 1789 Idade Moderna | De 1789 até hoje Idade Contemporânea |
| 4000 a.C. Invenção da escrita | 476 d.C. Queda de Roma | 1453 Tomada de Constantinopla pelos turcos Otomanos | 1789 Revolução Francesa | Hoje |

Mesopotâmia (4.000 a.C.)
Idade do Bronze

→ Origem da Astronomia

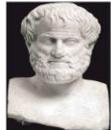
- ◆ Babilônios (região central)
- ◆ Assírios (região norte)
- ◆ Sumérios (região sul)




Escrita cuneiforme

Grécia Antiga (1.000 a.C. - 0 a.C.)



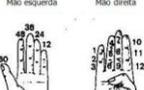



Tales de Mileto (623 a.C. - 548 a.C.)
Demócrito (460 a.C. - 370 a.C.)
Aristóteles (384 a.C. - 322 a.C.)
Aristarco (310 a.C. - 230 a.C.)

Mesopotâmia (4.000 a.C.)
Idade do Bronze

Base sexagesimal
(1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 12, 15, 20, 30, 60)

Mão esquerda Mão direita



Contagem dos dedos, cada um valendo uma dúzia.
Contagem das falanges pelo polegar oposto, cada.

Sistema de contagem sexagesimal.

Cláudio Ptolomeu (90 a.C. - 168 a.C.)

→ Compilação de todos os conhecimentos:
Almagesto - "Bíblia Astronômica"

- ◆ Teoria Geocêntrica;
- ◆ Movimento Sol, Lua e planetas;
- ◆ Fenômenos (Eclipses);
- ◆ Estrelas e Constelações;



Mesopotâmia (4.000 a.C.)
Idade do Bronze

Estrutura dos dias

| Ordem | Deus regente |
|---------|--------------|
| 1ª Hora | Sol |
| 2ª Hora | Vênus |
| 3ª Hora | Mercúrio |
| 4ª hora | Lua |
| 5ª Hora | Saturno |
| 6ª Hora | Júpiter |
| 7ª Hora | Marte |

31 de dezembro
23 horas, 59 minutos e 59 segundos
1500 à 2000

"E pur si muove!"
Galileo Galilei (1564-1642)

Mesopotâmia (4.000 a.C.)
Idade do Bronze

Estrutura da Semana

| Ordem | Deus Regente | Dia |
|-----------|--------------|----------|
| 1ª hora | Sol | 1ª dia |
| 25ª hora | Lua | 2ª dia |
| 49ª hora | Marte | 3ª dia |
| 73ª hora | Mercúrio | 4ª dia |
| 97ª hora | Júpiter | 5ª dia |
| 121ª hora | Vênus | 6ª dia |
| 145ª hora | Saturno | 7ª dia |
| 169ª hora | Sol | "8ª dia" |



Semana atual

| Dia | Deus Regente | Pt-Br Moderno | Nórdico | Inglês | Espanhol |
|-----|--------------|---------------|---------|-----------|-----------|
| 1º | Sol | Domingo | Baldur | Sunday | Domingo |
| 2º | Lua | Segunda | Fregg | Monday | Lunes |
| 3º | Marte | Terça | Tyr | Tuesday | Martes |
| 4º | Mercúrio | Quarta | Odin | Wednesday | Miércoles |
| 5º | Júpiter | Quinta | Thor | Thursday | Jueves |
| 6º | Vênus | Sexta | Freya | Friday | Viernes |
| 7º | Saturno | Sábado | Normes | Saturday | Sábado |



Calendário Mesopotâmico

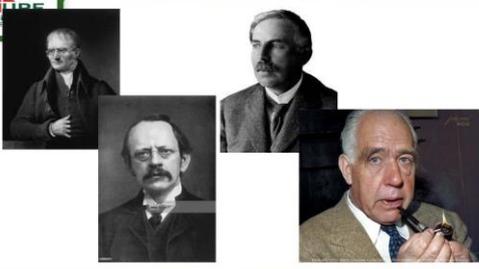
→ Fases da Lua

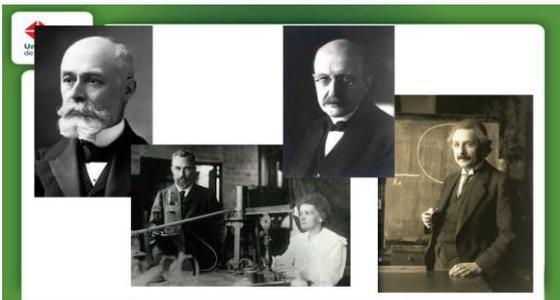
- ◆ **Lunação (29/30 dias)**

→ Ano com 354 dias

→ 9 anos, diferença de 3 meses

- ◆ **adição de um mês**

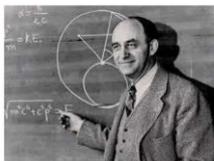


Descoberta da Radioatividade Artificial

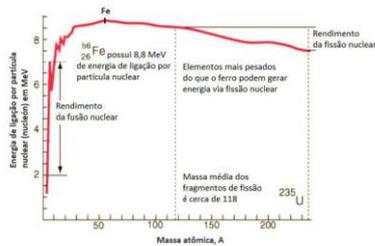
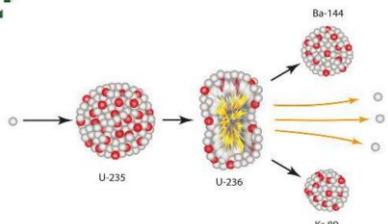
Núcleos pequenos, porém pesados, como por exemplo o excesso de nêutrons, pode realizar processos radioativos tal como núcleo grandes. O novo casal Curie bombardeara o alumínio com partículas alfa, obtendo um isótopo radioativo de fósforo e provocando emissão de nêutrons.



Enrico Fermi (1901-1954)



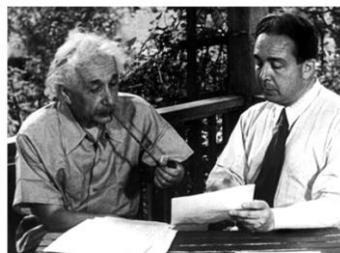
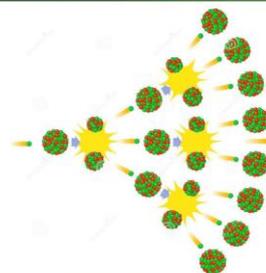
Quando descoberto o nêutron, Fermi começou a realizar diversos experimentos que consistiam no bombardeio de nêutron em núcleo, e desta forma, provocando várias reações. Também foi Fermi o primeiro a construir um reator nuclear, usando o processo de reação em cadeia.



Então, podemos definir a fissão nuclear como um processo espontâneo que elementos sofre resultando na sua fragmentação. Ao contrário da fusão, onde existe a produção de elementos mais pesados, na fissão ocorre a produção de elementos mais leves. Utilizando o urânio e o plutônio como exemplo, ao absorverem o nêutron em seus núcleos, os átomos adquirem um estado de excitação. Passado um curto período, o núcleo de rompe e se dividem em fragmentos. Estes fragmentos são constituídos de elementos mais leves como também de partículas e radiação.



Reação em Cadeia U-235

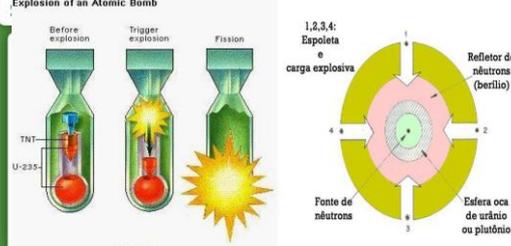


UPF logo

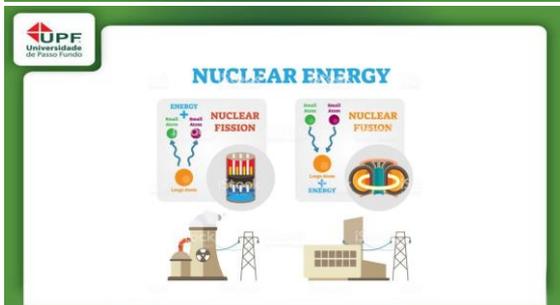
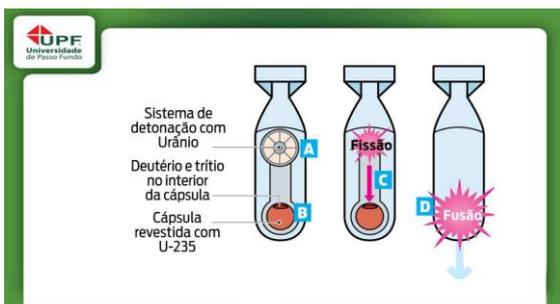
Original English text of the letter from Einstein and Szilard to President Roosevelt, dated August 2, 1945.



A carta de Einstein culminou na criação do Projeto Manhattan, o qual foi um projeto que reuniu cientistas para a confecção da bomba atômica antes dos nazistas. Com base no deserto de Los Alamos, o Projeto Manhattan resultou em três bombas atômicas: Trinity, Fat Man e Little Boy. A bomba Trinity foi testada no deserto, enquanto a Little Boy e Fat Man foram lançados sobre as cidades japonesas de Hiroshima e Nagasaki respectivamente. As consequências da explosão das bombas resultaram em um total de 300 mil mortes devido a explosão, queimaduras, envenenamento radioativo e outras lesões. Os efeitos em razão das explosões são sentidos até os dias atuais.



Nos anos 1950, o Estados Unidos são os primeiros a confeccionar a bomba de hidrogênio. Baseada na fusão nuclear, o poder destrutivo da bomba é muito superior às usadas na Segunda Guerra. Não demorando muito tempo para que a URSS consiga desenvolver a sua, seguida pela Inglaterra, China e demais países. Durante os anos cinquenta e sessenta era normal os testes envolvendo estas bombas e devido as suas consequências, como o material radioativo fabricado e a exposição mesmo em regiões muito afastadas, promoveu campanhas contra a sua utilização.



UPF
Universidade
de PASSO FUNDO

PPGECM
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática
Instituto de Ciências Exatas e Geociências - IGEG

Calendário Cósmico e a Física Nuclear:

Júpiter C. da Roza Silva
Dra. Cleci T. Werner da Rosa, orientadora
Dr. Johnny Ferraz Dias, coorientador

APÊNDICE I - Pós-teste



Pós-Teste

1. Qual é o estágio final do Sol?
2. Qual a origem da energia derivada do processo de fusão nuclear?
3. Quais os possíveis tipos de radiação que um elemento pode emitir? Quais são?
4. Defina a Radioatividade
5. Como podemos explicar a interação que manter o núcleo atômico coeso?
6. Cite algumas partículas elementares, isto é, sem estrutura interna.
7. O que diferencia uma estrela anã branca de uma estrela de nêutrons?
8. Qual é o elemento químico de menor número atômico natural?
9. O que é o período definido como “Sequência Principal”?
10. Por quais argumentos podemos definir um objeto astronômico como um planeta?
11. Como se pode medir a passagem do tempo usando a radioatividade?
12. Sabendo a massa de uma estrela, quais características podemos determinar?
13. Qual é a explicação para que átomos pesados apresentaram características radioativas?
14. Durante quanto tempo um átomo se mantém radioativo?
15. Quais são os cuidados que se deve ter quando existe a exposição à radiação?

APÊNDICE J - Guia de Entrevista



Roteiro da entrevista

1. Você havia tido contato com a FN durante o ensino médio? E na graduação?
2. Que conhecimentos você tinha sobre esse tema?
3. O tema lhe despertava interesse antes de realizar o curso?
4. O curso oportunizou adquirir conhecimento da área da Física Nuclear?
5. Qual a sua opinião em relação as escolhas de conteúdo e didáticas realizada na estruturação e operacionalização do curso?
6. Qual a contribuição do curso para a sua formação?
7. Na sua opinião, qual a pertinência de abordar estes conteúdos no ensino médio?
8. Em sua atuação futura, você pretende abordar conteúdos de Física Nuclear? Porquê?
9. Em termos da proposta metodológica vinculando a Física Nuclear ao Calendário Cósmico, qual a sua percepção? Você adotaria ela no ensino médio? Mudaria algo? O quê?

PRODUTO EDUCACIONAL

O Produto Educacional encontra-se disponível nos endereços:
<http://docs.upf.br/download/ppgecm/Jupiter_PRODUTO.pdf>
<<http://educapes.capes.gov.br/handle/capes/432903>>

Júpiter Cirilio da Roza Silva
Cleci Teresinha Werner da Rosa
Johnny Ferraz Dias

CALENDÁRIO CÓSMICO E A FÍSICA NUCLEAR

**UPF**[®]
Universidade
de Passo Fundo

PPGECM

Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática
Instituto de Ciências Exatas e Geociências - ICEG

“A natureza é um enorme jogo de xadrez disputado por deuses, e que temos o privilégio de observar. As regras do jogo são o que chamamos de física fundamental, e compreender essas regras é a nossa meta”

Richard Phillips Feynman

CIP – Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

S586c Silva, Júpiter Cirilo da Roza
Calendário Cósmico e a física nuclear [recurso eletrônico]
/ Júpiter Cirilo da Roza Silva, Cleci Teresinha Werner da
Rosa, Johnny Ferraz Dias. – Passo Fundo: Ed. Universidade
de Passo Fundo, 2019.
2.2 Mb ; PDF. – (Produtos Educacionais do PPGECEM).

Inclui bibliografia.
ISSN 2595-3672

Modo de acesso gratuito: <<http://www.upf.br/ppgecem>> Este material integra os estudos desenvolvidos junto ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática (PPGECEM), na Universidade de Passo Fundo (UPF), sob orientação da Profa. Dra. Cleci Teresinha Werner da Rosa.

1. Física – Ensino médio. 2. Física nuclear – Estudo e ensino. 3. Teoria da aprendizagem. 4. Prática de ensino.
I. Rosa, Cleci Teresinha Werner da. II. Dias, Johnny Ferraz.
III. Título. IV. Série.

CDU: 539.1

Bibliotecária responsável Juliana Langaro Silveira – CRB 10/2427

SUMÁRIO

Apresentação ~ 4

Calendário Cósmico: a inspiração ~ 5

Sobre ombros de gigantes ~ 7

Capítulo 1 ~ 11

Criando o Universo

Capítulo 2 ~ 22

Iluminando o Cosmos

Capítulo 3 ~ 36

Sobre ser pequeno

Capítulo 4 ~ 44

Azul e Verde

Capítulo 5 ~ 57

Aprendendo a andar

Capítulo 6 ~ 66

A Ciência moderna

Apresentação

O presente texto refere-se a um material de apoio para professores de Física que atuam no ensino médio e está vinculada a dissertação de mestrado intitulada “Calendário Cósmico e a Física Nuclear”, desenvolvida junto ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade de Passo Fundo, sob orientação dos professores Dra. Cleci Teresinha Werner da Rosa e Dr. Johnny Ferraz Dias.

O objetivo do material é servir de subsídio para a elaboração de atividades relacionadas ao tópico de Física Nuclear abordados no ensino médio, oportunizando a sua contextualização a partir do Calendário Cósmico. Nesta perspectiva, destacamos que o texto representa um compilado de informações que julgamos ser pertinente ao professor para estabelecer relações entre a Física Nuclear e a Astronomia, evidenciando o processo de contextualização do saber. O texto que se apresenta não tem a pretensão de servir de apostila ou semelhante para ser utilizado por estudantes do ensino médio, tampouco tem a pretensão de servir de texto referência para que os professores construam seus conhecimentos relativos os conteúdos contemplados. Seu intuito está tão somente em reunir um conjunto de informações e estruturá-los didaticamente, servindo de referencial metodológico para os professores do ensino médio.

O texto produzido está organizado seguindo o Calendário Cósmico como proposto por Carl Sagan, sendo que inicialmente são apresentadas as razões da escolha deste calendário como referencial para abordar Física Nuclear; na sequência, é apresentado uma breve introdução histórica da evolução dos conhecimentos em Física com objetivo de situar o leitor em termos dos aspectos a serem contemplados na discussão que está por vir; e, na continuidade, são apresentados os tópicos em estudo estruturados de acordo com o Calendário Cósmico.

O material produzido é de acesso livre e está disponibilizado no Portal eduCapes, podendo ser acessado e utilizados por todos aqueles que desejarem, desde que referenciado os autores.

A operacionalização e avaliação do material produzido é tema da dissertação de mestrado e igualmente está disponibilizado em acesso aberto no site da Plataforma Sucupira e na página do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade de Passo Fundo.

Calendário cósmico: a inspiração

A ideia de representar a idade do Universo na forma de um calendário foi inicialmente concebida por Carl Sagan (1934-1996) em seu livro de 1977, *Os Dragões do Éden*, e na série televisiva dos anos 80, *Cosmos*, produzida por ele. Foi uma maneira didática encontrada por Sagan na tentativa de explicar a idade do Universo e a dimensão do tempo em uma escala de uso cotidiano.

Em *Os Dragões do Éden*, obra que lhe rendeu o Prêmio Pulitzer¹ de literatura daquele ano, Sagan descreve como a mente humana evoluiu ao longo do tempo. Compactando toda a vida do Universo em um ano e iniciando pelo Big Bang até os dias atuais, Sagan apresenta de forma clara e concisa como se desenvolveu o cérebro humano. Narrando a evolução humana e dialogando com várias áreas do conhecimento como: Astronomia, Filosofia, Biologia, História e etc, Carl Sagan inicialmente se utiliza do Calendário Cósmico para desenvolver a sua narrativa sobre o processo evolutivo da mente humana.

Cosmos é uma série televisiva criada por Carl Sagan e sua esposa, Ann Druyan. Transmitida nos anos de 1980, a série foi fundamental em questão de divulgação científica tendo alcançado milhões de telespectadores. Logo no final do primeiro episódio da série, *Os Limites do Oceano Cósmico*, Carl Sagan apresenta o Calendário Cósmico e que também seria utilizado na reformulação da série em 2014, quando apresentada por Neil deGrasse Tyson, um de seus seguidores assumidos.

O Calendário Cósmico (CC) se apoia na ideia de compactar toda a vida do Universo em uma escala de tempo de um ano. Adotando o calendário Gregoriano como referência, deste modo a divisão do ano fica em 12 meses, com 365 dias. Dentro desta escala, cada mês possui cerca de 1,2 bilhões de anos. Cada dia cerca de 40 milhões de anos. Cada segundo corresponde a 500 anos. O calendário tem início em primeiro de janeiro, com o Big Bang, e termina em 31 de dezembro, sendo os dias atuais.

Dentro da escala, dia primeiro de janeiro, à zero hora ocorre o Big Bang. Com isso, o Universo surge em uma grande expansão. Às primeiras estrelas aparecem durante a segunda semana de janeiro. A Via Láctea começa a se formar no final de janeiro e tomara uma forma final em meados de maio. Na primeira semana de setembro o Sistema Solar é formado e na semana seguinte, a Terra. A vida começa em

¹ O Prêmio Pulitzer é concedido à pessoas que realizaram trabalhos de excelência na área do jornalismo, música, letras e teatro. Foi criado em 1917 por desejo de Joseph Pulitzer (1847-1911) que, na altura da sua morte, deixou dinheiro à universidade de Columbia. Parte do dinheiro foi usada para começar o curso de jornalismo na universidade em 1912. Atualmente os prêmios são anuais e divididos em 21 categorias.

21 de setembro. Os dinossauros aparecem em dezembro, dia 24 e são extintos quatro dias depois, em 28 dezembro.

Ao homem fica reservado a sua aparição dia de 31 de dezembro, algo próximo às 22 horas e 30 minutos. Os últimos 15 segundos do último dia do ano é onde se localiza toda a história da humanidade registrada até então. Faltando 10 segundos para terminar o dia, são inventados o alfabeto e a roda. Nos últimos 5 segundos nasce Cristo, os trabalhos de Ptolomeu e Arquimedes, e a geometria de Euclides. No último segundo estão os últimos 500 anos, momento onde está todo o conhecimento moderno construído pelo ser humano, o desenvolvimento da ciência, as revoluções, as guerras mundiais, a exploração espacial e a tecnologia atual.

Aqui podemos indicar também a utilização de cada capítulo separado para a prática docente. Sendo o capítulo 1 dedicado ao Big Bang, a nucleossíntese primordial e os primeiros momentos do Universo. O capítulo 2 sobre a formação e evolução estelar, e em especial, a fusão nuclear. Já no capítulo 3, o seu foco são as maiores estruturas do Cosmos. Iniciando com as galáxias, aglomerados e superaglomerados e decrescendo de tamanho passando por sistemas, estrelas, planetas, asteroides e cometas. No capítulo 4, a radioatividade é o tema. Partindo da formação dos planetas e da Lua, o capítulo busca elucidar a maneira de que se tem conhecimentos sobre estes períodos. No penúltimo capítulo, é discorrida sobre a evolução biológica do homem em uma visão interdisciplinar. Com os primeiros seres, os primeiros animais, homínídeos, a revolução do neolítico e a idade dos metais. Por fim, no último capítulo é realizada um resgate histórico sobre a astronomia e física, percorrendo um caminho das eras pré-Cristãs até os dias atuais.

Sobre ombros de gigantes

Para se iniciar a jornada, entender o seu ponto de partida bem como a chegada, inicialmente necessitamos realizar uma incursão pela história da Física. Ao entendermos a estrutura do presente texto na forma de um Calendário Cósmico, o objetivo desta introdução está em proporcionar um breve resumo das evoluções, construções e modificações das ideias da Física. Como também, constituir um arcabouço de conhecimentos que possam contribuir com o entendimento do texto e esclarecer o caminho percorrido.

Longe de ter a pretensão de abarcar todo contexto histórico da produção do conhecimento em Física, buscamos em rápidas pinceladas evidenciar fatos que não só enaltecem o processo evolutivo e humano da produção do conhecimento, mas também, apontam a construção lógica, coerência e consistente dos fundamentos apresentados.

Mostrando, em segundo plano, que as descobertas são decorrência de esforços de cientistas em diferentes épocas, com suas etnias e nacionalidades distintas, mas debruçados na busca por produzir conhecimento, por desvelar os mistérios do universo e do mundo circundante. Uma história construída de forma lenta, gradativa, mas com “passos largos” e que passamos a discorrer na sequência.

A origem do Universo, a sua constituição e formação sempre foi um tema um intrigante para o homem. Tanto que nas eras pré-cristã já se desenvolviam hipóteses sobre o início do Universo. Desta maneira, atribui-se à Astronomia como a ciência mais antiga e seu uso é registrado por diversos povos como os chineses, egípcios e babilônios. Em suma, praticamente todo e qualquer povo possui algum registro de estudos sobre os astros. As principais aplicações desses conhecimentos estão na confecção de calendários (medição de tempo), tanto para colheita e plantio como para previsões climáticas, orientações e, até mesmo, para previsões do futuro.

O apogeu desses estudos está na Grécia, com o empenho dos filósofos gregos em desvendar o Cosmo, surgiram os primeiros conceitos. Naquela época, existia conhecimentos sobre o Sol, planetas (eram conhecidos Mercúrio a Saturno) e a Lua e seus respectivos movimentos. Os gregos formularam explicações para fenômenos como: as fases da Lua, eclipses, formato da Terra e do Universo. Fizeram a divisão dos céus em constelações, que foram muito utilizadas nas navegações e são usadas até os dias atuais. Também se indagavam sobre a dinâmica do Sistema Solar, propondo modelos que colocavam a Terra no centro do Universo (geocêntrico), enquanto, outros defendiam que o Sol estava no centro (heliocêntrico).

A ideia da Terra como centro do Universo só foi superada no século XV, com Copérnico (1473-1543) ao defender o modelo heliocêntrico que até então não era muito bem aceita. Tycho Brahe (1546-1601), astrônomo dinamarquês, catalogou e mapeou o céu antes mesmo da invenção do telescópio. Trabalhos estes que contribuíram para que o matemático e astrônomo alemão Johannes Kepler (1571-1630) pudesse se debruçar sobre a questão dos movimentos dos planetas. Galileo Galilei (1564-1642) contribuindo de forma significativa para o estudo da mecânica e na construção de

telescópios, o italiano colaborou para estabelecer os conceitos de inércia e gravidade, mais tarde retomados nos estudos de Isaac Newton.

Em 1687, o inglês Isaac Newton (1642-1727) publica *Philosophiae naturalis principia mathematica* (“Princípios Matemáticos da Filosofia Natural”), onde descreve as leis do movimento, desenvolve a lei da Gravitação Universal e, paralelamente aos estudos do alemão Gottfried Wilhelm von Leibnitz (1646-1716), o cálculo infinitesimal.

No século XVII ocorre a primeira revolução industrial e com ela a explosão da Termodinâmica. Com o avanço do conhecimento surgem as máquinas térmicas, relacionando os fenômenos da troca de calor em sistemas físicos. Também, na mesma época se inicia os estudos sobre a eletricidade e magnetismo, o que mais tarde seria unificado por James Clerk Maxwell definindo por eletromagnetismo.

Data-se o século XVIII como importante marco na retomada das ideias atômicas discutidas pelos gregos no século V a. C. No início, Leucipo (século V a.C.) e Demócrito (460 a.C.-370 a.C.) que foram os primeiros a tentar explicar a composição da matéria, acreditavam de que ela seria finita e sua mínima parte seria o átomo que, por sua vez, seria também finito, inquebrável e único. Toda a matéria no universo seria composta por estes “tijolos elementais”.

Entretanto, essas ideias foram retomadas em 1803 por John Dalton (1766-1844) em sua Teoria Atômica, também conhecida como “Modelo Bola de Sinuca”. Nessa teoria Dalton infere que os elementos químicos são partículas discretas, indivisíveis e que possuem característica específicas. Todos os átomos de um mesmo elemento são idênticos, sendo o peso a única característica que os diferencia.

O primeiro modelo atômico foi formulado por J. J. Thompson (1856-1940) e recebeu o nome de “Pudim de Passas” em virtude da semelhança com esse doce que era comum na época. Na analogia o centro do pudim é o núcleo do átomo (positivo) e as “passas” seriam o elétron (negativo) que orbita ao redor.

Ernest Rutherford (1871-1937), também teve importante colaboração nesses estudos, formulando outro modelo atômico, inferindo uma analogia com um sistema planetário, onde no núcleo pequeno e maciço estariam os prótons (positivo) e se movimentando de forma circular ao redor desse núcleo estariam os elétrons (negativo).

Anos mais tarde, o dinamarquês Niels Bohr (1885-1962), orientando de Rutherford, usou o mesmo modelo de para quantizar o átomo e explicar as incongruências do modelo proposto por seu orientador. Na sequência, Werner Heisenberg (1901-1976) dá início aos estudos da mecânica quântica para explicar o mundo microscópico. E, posteriormente, Erwin Schrödinger (1887-1961), por meio da estruturação da equação que leva o seu nome, tornou o átomo probabilístico.

Em termos da Física Atômica e Nuclear, pode-se dizer que seu início como campo de estudos está associado a descoberta dos Raios X por Wilhelm Konrad von Röntgen (1845-1923). Posteriormente, Henri Becquerel (1852-1909) observou que sais de urânio emitem radiação, inicialmente também classificou de Raio X, contudo, a partir de maiores investigações e discussões, percebeu que aquela radiação emitida

pelo sal de urânio possuía características diferentes. Esta nova radiação foi lhe dado o nome de “raios Becquerel”.

O Casal Curie - Marie Skłodowska Curie (1867-1934) e Pierre Curie (1859-1906) - estudando os “raios Becquerel” identificou que o tório apresentava características radioativas, assim como o urânio. Eles foram os primeiros a denominar de “Radioatividade” o fenômeno de desintegração do núcleo de átomos. Em 1898, Madame Curie ficou conhecida pela descoberta do elemento químico polônio e, posteriormente, do elemento rádio.

Um marco histórico do período em discussão pode ser considerado o estudo de Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858-1947) ao romper com a teoria clássica inferindo que a radiação não obedecia às leis clássicas da Física. Planck propõe que a energia irradiada por um objeto a certa temperatura não era de forma aleatória mas em “pacotes” de energia discretos, o *quantum*. Com isso, Planck nega o caráter contínuo da radiação e assume de as trocas de energias ocorrem em doses bem definidas. Partindo destes pressupostos, Albert Einstein (1879-1955) utiliza a mesma ideia, de pacotes de energia, para explicar o efeito fotoelétrico.

Ainda na primeira década do século XX, Einstein é protagonista de outro momento marcante da história da Física ao trabalhar com os fenômenos do efeito fotoelétrico e o movimento browniano. Além disso, no mesmo período iniciou os estudos sobre a Teoria da Relatividade, que acaba lhe consagrando na história. A teoria da relatividade muda significativamente a maneira de pensar grandezas como espaço, tempo, energia e matéria.

Einstein em dois momentos trabalhou na teoria da relatividade, sendo possível distinguir ela em duas partes: a relatividade restrita publicada em 1905 e, a relatividade geral publicada em 1915. A teoria da relatividade restrita trata de fenômenos inerciais, ou seja, com ausência da aceleração, propõe a equivalência entre massa e energia e a dilatação temporal e dimensional, admitindo assim, que espaço e tempo não são absolutos. Na sequência dos trabalhos, Einstein investiga os sistemas acelerados e em 1915 publica a Relatividade Geral.

Na década de 1920, o astrônomo Edwin Powell Hubble (1889-1953) realiza diversos estudos envolvendo estrelas e galáxias. Destes estudos, Hubble consegue medir a distância entre o planeta Terra e as estrelas e galáxias observáveis. Junto com estas observações, Hubble percebeu que existia uma relação da distância da galáxia com a velocidade de seu afastamento, e pode concluir que, quanto mais afastada a galáxia estivesse maior será a sua velocidade de afastamento. Esse conjunto de observações e evidências contribuíram para a formulação de um modelo cosmológico atual.

Nesses estudos sobre o universo estático ou em movimento, o físico e matemático russo Alexander Friedmann (1888-1925) teve uma significativa contribuição ao buscar soluções para um universo não-estático. Antes das observações de Hubble, Friedmann chegou à conclusão de que o universo está em expansão. Com isso, Friedmann chegou à três possíveis soluções para o problema em discussão: que o universo teria formato fechado, aberto ou plano. As consequências de cada modelo estariam em que em um universo fechado, um dado momento de tempo, a expansão iria parar e o universo começaria a se contrair; em um modelo de universo aberto, a

densidade de matéria seria baixa demais para iniciar uma regressão e o universo iria se expandir para sempre; e, no caso do universo plano, a velocidade de expansão iria diminuir gradativamente até próximo à zero.

Além de Friedmann, o padre e cosmólogo belga Georges-Henri Édouard Lemaître (1894-1966), propõe um modelo cosmológico para o universo. Seu modelo é de um universo dinâmico, argumentando que toda a matéria e energia do universo estaria concentrada em um único ponto no início do universo, o qual ele chamou de “átomo primordial”. Ideia inicial do que seria a teoria do Big Bang.

Paul Dirac (1902-1984) realiza esforços para quantificar o campo eletromagnético em conjunto da mecânica quântica, o que leva nos próximos anos ao desenvolvimento da eletrodinâmica quântica, teorização das forças nucleares forte e fraca, bem como a elaboração do modelo padrão de partículas. Realizando previsões como a existência da antimatéria, partículas subatômicas, desenvolvimento da supercondutividade e da cosmologia.

Nos anos que se seguiram houveram progressos em relação à fissão e fusão nuclear, com o desenvolvimento das bombas atômicas e a origem da energia das estrelas respectivamente. Explosão no descobrimento de partículas e subpartículas, avanços na cosmologia e astrofísica com os buracos negros (que não são tão negros assim) e a matéria escura. Construção de aceleradores de partículas e a formação de anti átomos, bem como a detecção de ondas gravitacionais e a radiação cósmica de fundo.

Como mencionado na introdução desta seção, o intuito do que foi relatado aqui está em possibilitar a imersão do leitor no conhecimento utilizado para a construção do calendário cósmico a ser apresentado na sequência, de modo a retomar algumas das ideias presente na evolução dos conhecimentos em Física.

O descrito fornece um ponto de partida e chegada, um caminho orientado por meio do Cosmo. Em nossa viagem, muitas vezes, precisaremos evidenciar aspectos de diversas áreas. Citando um exemplo, na discussão da formação estelar, onde a gravidade, a fusão nuclear e a hidrostática se fazem presentes na estabilidade de uma estrela. Assim, muitas áreas da Física, conhecimentos, teorias e ideias serão exploradas, esmiuçadas dentro do Calendário Cósmico. Ainda que passearemos por diversos momentos, entretanto, o nosso foco será a Física Nuclear. Uma minúscula degustação do que nos espera, em que, aproximadamente, 500 anos de produção de conhecimento moderno serão discutidas em um calendário que abriga 13,5 bilhões de anos.

The background of the page is a complex, abstract pattern of thin, light gray lines. These lines form a dense network of overlapping circles, spirals, and intersecting paths, creating a sense of movement and depth. The overall effect is reminiscent of a cosmic web or a complex geometric design.

CAPÍTULO 1

CRIANDO O UNIVERSO

Capítulo 1 - Criando o Universo

O início de tudo

“Se você entende como o universo funciona, de certa forma pode controlá-lo”

Stephen W. Hawking (1942-2018)

Janeiro

1º de janeiro - 00 horas, 0 minutos e 0 segundos

A nossa viagem começa no dia primeiro de janeiro, às 0 horas do nosso calendário. Algo muito próximo de 13,8 bilhões de anos atrás [1], neste momento o Universo em si não é muito bem compreendido. No instante de tempo igual à zero, as leis da Física não são aplicáveis. Neste ponto, em um minúsculo período de tempo e antes dele, o que se passa com o Universo é mera especulação. Stephen Hawking (1942-2018) e Roger Penrose (1931-) [2] ainda na década de 1970 conseguiram demonstrar que a noção de tempo antes da origem do Universo, e até mesmo dentro de um buraco negro, não existe.

O que sabemos deste começo é que o “tudo” estava concentrada em um único ponto, minúsculo, ínfimo, insignificante, onde se encontrava todo o espaço, toda a matéria e toda energia do Universo, uma singularidade. Neste Universo primitivo, as condições eram de uma temperatura extremamente quente, as forças da natureza como as conhecemos e que descrevem o Universo em si estavam unidas. Ainda não sabemos ao certo o que puxou o gatilho para o início do Universo, porém este estopim resultou em uma expansão neste cosmo. Este gatilho é o que chamamos de “Big Bang”.

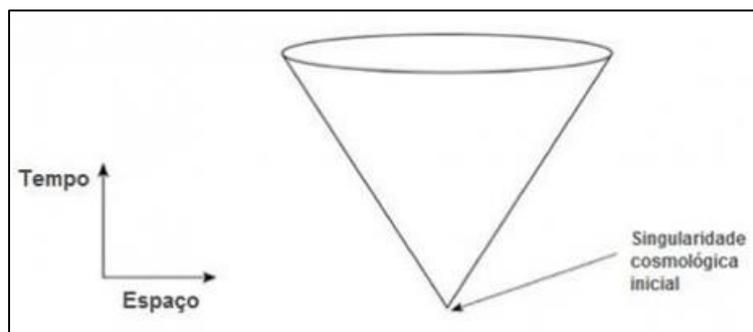
A partir dele, em um momento entre o tempo igual à 0 e 10^{-43} segundos (um décimo de milionésimo de trilionésimo de trilionésimo de trilionésimo de segundo) é o que chamamos de “era Planck”. Neste intervalo de tempo, a era Planck é caracterizada pelas leis da Física estarem unificadas e, dentro daquilo que conhecemos, não são o suficiente para descrever este período. A teoria da relatividade, a qual fornece uma imagem da gravidade como sendo a distorção no tecido do espaço-tempo e a mecânica quântica como aquela que descreve o mundo microscópico dos átomos, partículas e etc, são nitidamente opostas. Com isso, surge para os cientistas o desafio de resolver como que este casamento “problemático” aconteceu. O conflito entre a relatividade e a quântica atualmente é bem resolvido, cada uma nos fornece informações consistentes. No caso macro, a relatividade e, no micro, a quântica. Contudo, neste período específico, se desconhece qualquer teoria física para descrevê-lo [5].

Capítulo 1 - Criando o Universo

Durante este tempo a temperatura do Universo era cerca de 10^{32} kelvin [3]. Com o passar do tempo, a temperatura vai diminuindo enquanto o Universo continua a expandir-se. Com isso, nos momentos seguintes é possível obter algumas informações, como por exemplo, a separação das forças elementares, a formação de partículas, dos átomos e demais estruturas.

A era Planck termina quando se obtém as primeiras informações deste Universo jovem. Entre o intervalo de tempo de 10^{-43} e 10^{-32} segundos é deixada para trás a era Planck e agora inicia-se o que consideramos como a era da Grande Unificação. Este é o primeiro momento quando começa a se estruturar o Universo. No primeiro instante a gravidade consegue se separar das demais forças. Neste sentido, a gravidade toma forma, uma identidade que pode ser descrita por nossas teorias mais atuais. Contudo, ainda restam as últimas forças elementares tomarem forma.

Figura 01: Singularidade cosmológica inicial



Fonte: <https://bit.ly/2UiCWs>

A segunda força a tomar forma é a força nuclear forte. A nuclear forte é responsável por manter os núcleos dos átomos unidos, ela atua nos prótons e nêutrons. É a força de maior intensidade entre todas as outras, todavia, tem um alcance curtíssimo (algo em torno de 10^{-15} metros). Ela ganha forma ao final da era da Grande Unificação e no começo da próxima era.

A era Eletrofraca é o período entre 10^{-32} e 10^{-12} segundos. Neste instante de tempo, o Universo continua a sua expansão; ainda com temperaturas altíssimas, a gravidade e a força nuclear forte como forças independentes, porém, com a unificação ainda do eletromagnetismo e da força nuclear fraca.

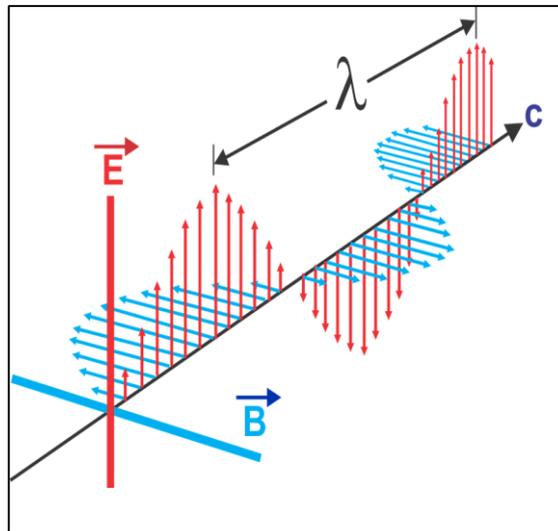
Neste universo de diversas radiações (ou energia, se preferirmos), a temperatura colossal deste cosmo é suficientemente alta para evitar a existência de matéria. Portanto, neste período, quando o eletromagnetismo se torna uma força independente, veremos fótons interagindo entre si e convertendo em pares de matéria e antimatéria e, esta matéria e antimatéria aniquilando-se mutuamente, devolvendo a energia em fótons novamente.

Fótons, de uma forma simples, são “pacotes de energia”. A sua estrutura é uma onda eletromagnética, uma associação de campos elétricos e magnéticos. Seu

Capítulo 1 - Criando o Universo

comportamento se apresenta em duas facetas: onda e partícula, com isso, em alguns fenômenos, pode-se dizer que fótons são partículas e, em outros, que é uma onda. É um comportamento duplo. Contudo, existem diversos fótons e o que os diferencia é a sua energia.

Figura 02: Onda eletromagnética



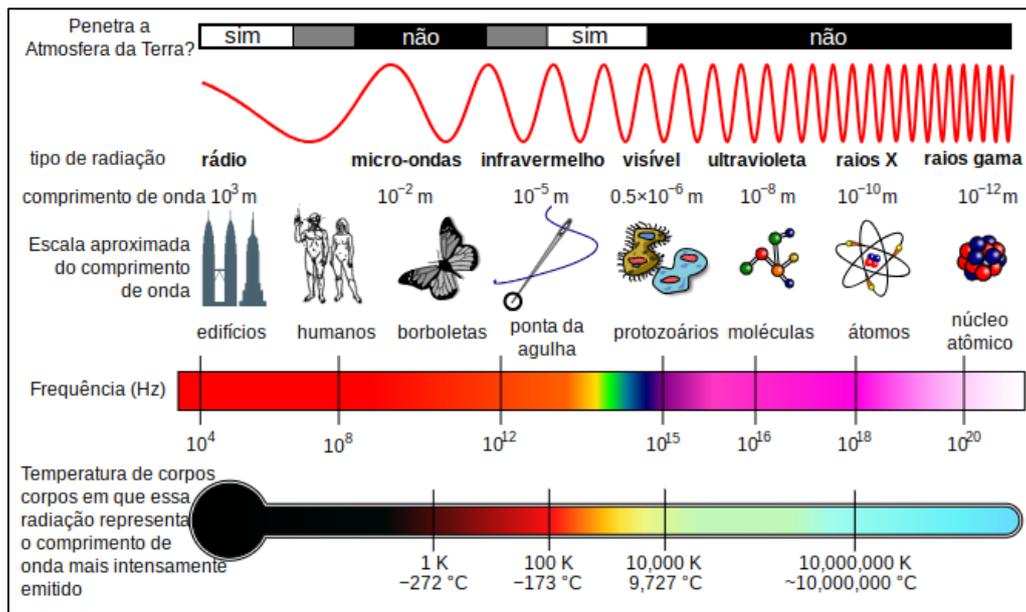
Fonte: <https://bit.ly/2OaeImA>

A luz é composta por fótons e tem uma determinada energia. Mas, por exemplo, os raios gama também são ondas eletromagnéticas e por consequência fótons. A diferença entre eles é a sua energia. Raios gama possuem muito mais energia do que a luz, assim como, a luz tem muito mais energia que as ondas de rádio. O espectro eletromagnético nos mostra perfeitamente o comportamento dos fótons, ou da radiação. Por serem onda, apresentam frequência e comprimento da onda. A frequência da onda nada mais é do que a oscilação dela e o comprimento, o seu tamanho. É interessante perceber que, quanto maior a frequência (oscilação) da radiação, maior é a sua energia. Apesar disso, quanto maior a energia, menor o comprimento de onda. Consequentemente, no caso dos raios gama, eles têm uma frequência alta, porém, um comprimento de onda pequeno.

A luz, comparando com os raios gama, têm uma frequência mais baixa, contudo, seu comprimento de onda é maior. Se olharmos para o espectro eletromagnético notamos que as ondas de rádio são as mais baixas ondas de energia e os raios gama serão as ondas com mais energia. A luz visível se encontra em uma pequena região deste espectro, logo acima está a radiação ultravioleta e abaixo, o infravermelho. Interessante perceber que as cores também têm energias distintas, as mais “fracas” começam no vermelho e vai subindo até o azul. O arco-íris é um fenômeno que representa esta beleza da natureza.

Capítulo 1 - Criando o Universo

Figura 03: Espectro eletromagnético



Fonte: <https://bit.ly/2JwuI43>

Com um trilionésimo de vida (ou 10^{-12} segundos, se preferir), o Universo começa a ficar mais interessante. É iniciado a era dos Quark e com isso, a matéria começa a tomar forma. A partir deste tempo, a temperatura baixou significativamente, porém continua bilhões de vezes mais quente que o núcleo do Sol [3]. Neste momento as forças elementares da natureza enfim estão separadas. A força eletromagnética se separa da força nuclear fraca e com isso o eletromagnetismo toma forma ficando responsável pelos fenômenos decorrentes de cargas elétricas e magnéticas, e a força nuclear fraca, a responsável pelo decaimento radioativo. A gravidade, o eletromagnetismo, as forças nucleares forte e fraca tem, a partir de agora, uma identidade própria.

Depois deste mar de radiação, agora temos os quark, glúon, léptons e a antimatéria. Esse montante de “tijolos” são o que temos de mais básico e indivisível na natureza. E a parte mais curiosa disto é a variedade que se pode ter destas partículas subatômicas.

O quark é o que consideramos como uma das unidades mais fundamentais e elementares da natureza, é um pequeno tijolo primordial que forma prótons e nêutrons. Ele possui característica bem peculiar como a carga elétrica fracionária e o fato de ser sempre encontrado aos pares ou mais [4][5]. Glúons são outras partículas subatômicas elementares, porém atuam como intermediários podendo serem vistos como uma “cola” ou um “elástico” que mantém quarks unidos. Com isso, são os responsáveis por transmitir a força forte.

Léptons são representados pelo elétron, o neutrino e outras partículas elementares (um pouco maiores). A principal característica está em não interagir com a força nuclear forte e com isso não serem formados por quarks, também podendo ter

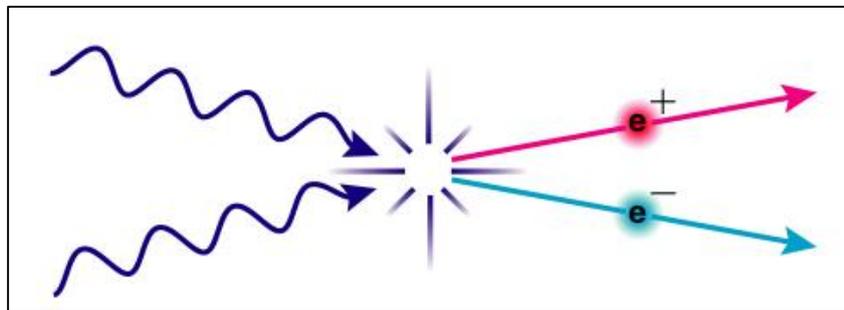
Capítulo 1 - Criando o Universo

carga elétrica inteira ou não. Lépton descende da palavra “leptos” do grego, algo como “magro” ou “fino”.

A antimatéria [4] talvez seja o ponto mais interessante do abordado até agora. Por hora somente falamos de matéria, contudo, a antimatéria tem como características carga e spin oposto à matéria comum. Sendo assim, cada partícula possui a sua antipartícula correspondente. Neutrinos possuem antineutrinos, elétrons possuem antielétrons (conhecidos também por pósitrons), partículas neutras como fótons são iguais às suas antipartículas. Ela foi produzida experimentalmente, porém, na natureza é rara às exceções onde se possa encontrá-la.

Evidências teóricas indicam uma assimetria, um desequilíbrio, de matéria-antimatéria, sugerindo assim que, no início do Universo este fenômeno mostra que uma parte da matéria conseguiu “escapar” e não ser aniquilada. Algo em torno de uma parte em um bilhão, uma pequeníssima parte que, em meio à bilhões de partículas e antipartículas se aniquilando e recriando, uma partícula tinha a oportunidade de não encontrar a sua antipartícula [3].

Figura 04: Par de criação-aniquilação por raios gama



Fonte: <https://bit.ly/2O89UOI>

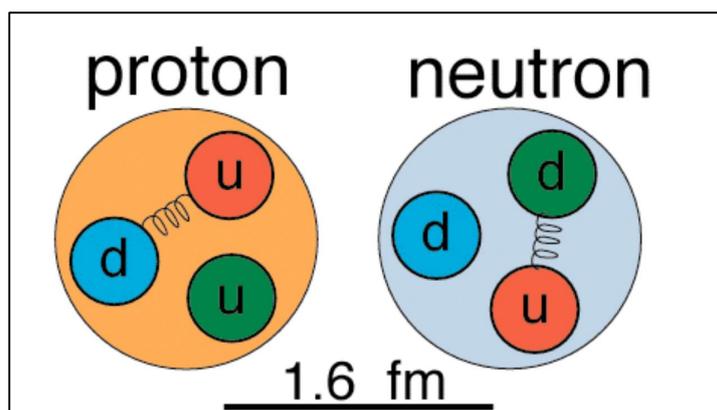
Agora com um milionésimo de vida, o Universo começa a ser descrito pelas nossas teorias. Já não tão quente e denso, os quarks que antes andavam livremente, começam a se unir formando hádrons (do grego “hádros”, sinônimo de “pesado”, “espesso”), também neste período, fótons se chocavam gerando prótons e nêutrons que se aniquilavam em seguida com suas antipartículas. Este período específico é chamado de era Hadrônica. Podemos dizer que os hádrons são uma família, são partículas que interagem com a força nuclear forte. Porém, dentro desta família pode ter duas distinções: bárions e méson [5].

Bárions são classificados como um trio de quarks, enquanto mésons, são um par formado de um quark e um antiquark. Atualmente sabemos que existem seis tipos de quarks: *up* (acima), *down* (baixo), *charm* (charme), *strange* (estranho), *top* (topo) e *bottom* (base). E a combinação destes quarks resultam mésons (enquanto um quark e um antiquark) ou bárions (enquanto um trio de quarks). Um grande número de combinações pode ser realizado, porém se destacam duas: o próton e o nêutron [4].

Capítulo 1 - Criando o Universo

O próton é a combinação de três quarks: dois *up* e um *down*, enquanto o nêutron, é formado por dois *down* e um *up*. Na atualidade é impossível flagrar um quark solitário, eles sempre estão aos pares ou trios. Pela simples existência da força que os mantém juntos (glúons), na tentativa de separá-los, a natureza recorre à famosa equação de Einstein: $E = MC^2$. Esta equação mostra a equivalência entre massa e energia, mostrando que são intercambiáveis. De uma forma simples a equação aponta quanto a sua massa vale em energia e vice-versa. Com isto em mente, na tentativa de separar quarks, a energia acumulada neste processo é o suficiente para produzir um novo quark e retornar ao estado inicial, ou seja, a natureza leva ao começo novamente [5].

Figura 05: Composição dos bárions: próton e nêutron



Fonte: <https://bit.ly/2TbHDYx>

A descrição deste fenômeno é que, quando se tenta separar quarks, a força dos glúons aumenta, isto é, a força atrativa entre quarks se torna mais poderosa quanto mais você os afasta. Metaforicamente, podemos interpretar os glúons como um elástico que mantém quarks unidos. Quando existe a tentativa de separar quarks, este elástico estica e armazena energia. Quando o elástico é rompido, a energia armazenada é liberada e esta mesma energia é o suficiente para formar um novo quark [4][5].

O Universo com um segundo de vida começa agora a formar léptons, surgindo a era Leptônica, a era das partículas leves. Os principais representantes dos léptons são o elétron e o neutrino (“pequeno nêutron” em italiano). Da mesma maneira como os quarks, léptons também possui seis tipos: o elétron e seu neutrino, o múon, o neutrino do múon, táuon e o neutrino do táuon.

Léptons também são partículas elementares, possuem carga elétrica inteira (podendo ser neutra ou negativa) e, junto com os quarks, não possuem estrutura interna [4]. Diferente dos quarks, os léptons sofrem influência da força nuclear forte, por consequência disto, conseguimos localizá-los sozinhos na natureza. Vale lembrar que cada lépton possui o seu par antilépton.

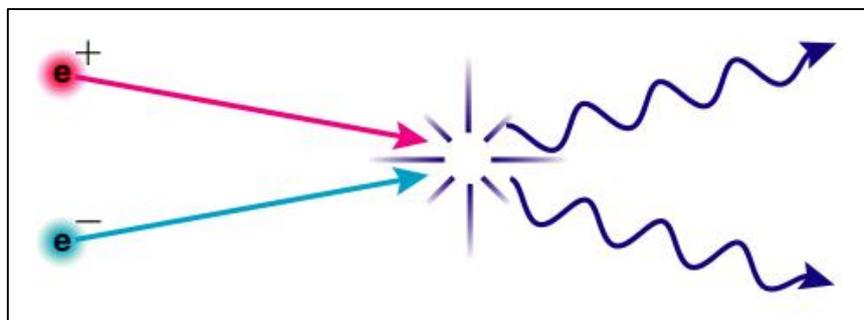
Neste período a temperatura já caiu pela metade de seu valor inicial (neste momento a temperatura do Universo era cerca de 1 bilhão kelvin, ainda centena de

Capítulo 1 - Criando o Universo

vezes mais quente que o núcleo do Sol) [3], fótons não conseguem mais produzir pares de prótons-antiprótons e nêutrons-antinêutrons (mas prótons e nêutrons continuariam a se aniquilar com suas antipartículas) e o tamanho do Universo já alcançava alguns ano-luz. Contudo, a energia do choque de fótons ainda era o suficiente para formar pares de elétrons-pósitrons que na sequência se aniquilavam. A leve diferença entre matéria e antimatéria era o suficiente para restar alguns sobreviventes.

No início, os sobreviventes desta guerra de produção e destruição de matéria-energia eram os quarks, com o avançar do tempo e a temperatura diminuindo, hádrons entravam nesta lista seguidos dos léptons. Assim como os quarks, os hádrons (prótons e nêutrons), a leve desigualdade que existia entre matéria e antimatéria dava a um elétron a sorte de sobreviver entre um bilhão de elétrons. Para aquelas partículas e subpartículas que não conseguiam “fugir” restava a aniquilação com seus pares de antimatéria, em um oceano de fótons.

Figura 06: Par de criação-aniquilação por pósitron-elétron



Fonte: <https://bit.ly/2O89UOI>

A era Leptônica iniciou quando o Universo chegou a um segundo de vida, e terminou quando completou três segundos. Durante este curto tempo de 2 segundos, a temperatura do Universo continua a baixar, hádrons já não mais sofrem com a guerra de criação e aniquilação, léptons lentamente começam a ter mais “sobreviventes”. A quantidade de aniquilação é maior que a quantidade de criação de matéria, com isso, a radiação tem um reinando neste universo. Porém, ainda que a radiação seja suprema neste universo, a matéria gradualmente começa a se sobressair. Com a persistência de prótons e nêutrons, a interação frequente entre partículas e fótons resulta em um número maior de prótons em relação aos nêutrons [3] [5].

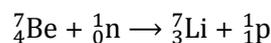
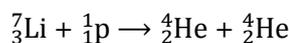
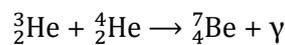
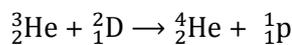
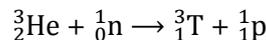
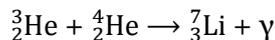
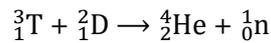
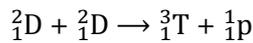
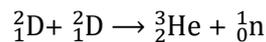
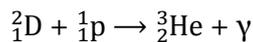
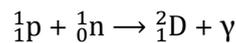
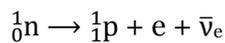
Quando o Universo alcança 3 minutos de vida inicia-se a nucleossíntese primordial. E com isso, existe a possibilidade de formar os primeiros átomos como o hidrogênio e o hélio. A temperatura chegou a um bilhão de kelvin e continua a diminuir conforme evolui no tempo. Prótons e nêutrons são partículas realmente pesadas se compararmos com as outras e, por consequência disto, o choque entre elas é inevitável. Porém, antes mesmo do choque, em dimensões minúsculas como 10^{-15} metros, a força nuclear forte (ou interação forte) passa a agir.

Capítulo 1 - Criando o Universo

Em um Universo extremamente quente, a força elétrica não é o suficiente para manter a repulsão entre partículas de mesma carga, como o caso de prótons com prótons. Dado estas condições, tanto prótons como nêutrons continham energia cinética, a energia associada ao seu movimento, tão grande que era possível se aproximar o suficiente para que a interação forte eclodisse e unisse as partículas. Neste ponto a força nuclear forte começa a ter uma influência maior entre prótons e nêutrons, e com isso, instaura-se a união entre eles e a formação de núcleos atômicos. Este tipo de processo de formação de núcleo é dado o nome de fusão nuclear.

É uma ideia simples, a fusão nuclear consiste na união de partículas (no caso entre prótons e nêutrons) e como resultado desta união, surge um núcleo maior e mais pesado junto com a liberação de energia em forma de radiação. Na contramão da fusão, existe a fissão nuclear, isto é, a divisão do núcleo. E esta divisão do núcleo atômico produz a formação de dois ou mais núcleos atômicos menores e também a liberação de energia na forma de radiação. A fusão nuclear é o fenômeno responsável pela energia das estrelas.

O período de nucleossíntese durou aproximadamente 3 minutos. Durante este tempo a matéria iria se compor predominantemente em hidrogênio, hélio, resíduos de deutério (um hidrogênio “pesado”, que é formado por um próton e um nêutron unidos), trítio (outro hidrogênio mais pesado que os anteriores, com dois nêutrons e um próton) e uma miúda fração de lítio e berílio. Todos os demais elementos serão formados futuramente no núcleo das estrelas[5].



Com 6 minutos de vida, a temperatura já não é alta o suficiente para continuar o processo de fusão. No “cabo de guerra” entre a interação forte e a força elétrica, a eletricidade começava a ganhar vantagem. O caminho que poderia percorrer um fóton era tão pequeno que sua colisão com algum elétron era praticamente inevitável, desta forma, a luz não conseguia percorrer uma longa distância [3].

Este cenário não mudaria pelos próximos 380 mil anos, desse modo, este período pode ser entendido como um plasma incandescente. O plasma representa o quarto estado da matéria e podemos caracterizá-lo de forma análoga a um gás ionizado [7]. Neste estado, a matéria não tem uma forma bem definida e neste caso, não conseguimos distinguir se é um gás ou líquido. É uma linha bem tênue entre os dois estados. Também, devido às altas temperaturas, as partículas andam livremente.

Capítulo 1 - Criando o Universo

1º de janeiro - 0 horas, 12 minutos e 40 segundos - 380 mil anos

Chegamos a era da Recombinação, com 380 mil anos, na qual o Universo apresenta uma temperatura cerca de 3 mil kelvin (metade da superfície do Sol) na qual prótons e elétrons conseguem estar ligados eletricamente formando átomos com carga neutra. A ligação entre eles permite que fótons viagem livremente e o Universo pela primeira vez se torna transparente. Esta radiação, que apresentava temperatura de 3 mil kelvin, é o que chamamos hoje de Radiação Cósmica de Fundo (RCF). Ela representa a gravação no céu do nascimento do Universo, e a partir disso a matéria começou a ter domínio sobre a radiação. Hoje nós detectamos esta mesma radiação como micro-ondas e no valor de aproximadamente 3 kelvin.

O prêmio Nobel de 1978 foi entregue à Pyotr Leonidovich Kapitsa (1894-1984) por estudos na área da Física em baixas temperaturas e aos pesquisadores Arno Allan Penzias (1933-) e Robert Woodrow Wilson (1936-) [8] pela descoberta da RCF. Em 1964, Penzias e Wilson eram apenas rádio-astrônomos que trabalhavam para a Bell Laboratories. Sua função era a calibração de uma antena de micro-ondas que seria utilizada para telecomunicações. Contudo, perceberam que na transmissão dos dados sempre havia presença de ruído o qual não sabiam a origem e que isso era independente da região para onde a antena estivesse apontada. Tal percepção mostrava que a emissão desta radiação era proveniente de todas as regiões do Universo. Paralelo a isso, Robert Henry Dicke (1916-1997), Philip James Edward Peebles (1935-), Peter G. Roll, e David T. Wilkinson (1935-2002) investigavam na Universidade de Princeton a construção uma antena para captar a radiação resultante do Big Bang, prevendo que a radiação teria o valor em torno de alguns kelvin. Em 1948, Ralph Asher Alpher (1921-2007) e Robert Herman (1922-1997) [9], em conjunto com George Gamow (1904-1968) fizeram a previsão de que a radiação deveria ter valor de 5 kelvin - hoje sabemos que este valor, obtido experimentalmente, é de 2,7 kelvin [3].

Desses estudos, um fato curioso é que Penzias e Wilson [10] publicaram os resultados de seus estudos em 1965 na *Astrophysical Journal* e no mesmo volume o grupo de físicos de Princeton [11] publicou a interpretação desta radiação como a “lembrança” deste momento. Penzias sabendo do trabalho de Dicke associou que o ruído detectado pela antena seria a radiação oriunda do início do Universo. Esse feito marcou a identificação acidental da RCF, o rendeu aos pesquisadores o prêmio Nobel.

O Universo não seria muito diferente pelos próximos 490 milhões de anos. Durante este tempo, a temperatura atinge os 100 kelvin. A matéria conhecida continua sendo composta pelo hidrogênio e hélio majoritariamente. Também este período é nomeado como a “Idade das Trevas”, sobretudo em virtude de que o espaço não tem objetos estelares e a radiação inicial já se degradou o suficiente para não conseguir iluminar este cosmo jovem.

Capítulo 1 - Criando o Universo

REFERÊNCIAS

- [1] ADAM, R et al. Planck 2015 results - I. Overview of products and scientific results. *Astronomy & Astrophysics*. v. 594, pp.1-38, A1, 2016.
- [2] HAWKING, Stephen W; PENROSE, Roger. The Singularities of Gravitational Collapse and Cosmology. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, vol 314, issue 1519, p. 529-548. 1970.
- [3] OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. *Astronomia & Astrofísica*. 3 ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2013.
- [4] MOREIRA, Marco A. O modelo Padrão da Física de Partículas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 31, n. 1, p. 1-11, 2009.
- [5] TYSON, Neil deGrasse. *Astrofísica para apressados*. Trad. Alexandre Martins. São Paulo: Planeta, 2017.
- [6] CHUNG, K. C. *Introdução à Física Nuclear*. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2001.
- [7] ZIEBELL, Luiz Fernando. *O quarto estado da matéria*. Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, p. 30, 2004.
- [8] "The Nobel Prize in Physics 1978". Nobelprize.org. Nobel Media AB 2014. Web. 1 Aug 2018.
<http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1978/index.html>
- [9] ALPHER, Ralph A.; HERMAN, Robert. Evolution of the Universe. *Nature*, v. 162, n. 4124, p. 774, 1948.
- [10] PENZIAS, Arno A.; WILSON, Robert Woodrow. A measurement of excess antenna temperature at 4080 Mc/s. *The Astrophysical Journal*, v. 142, p. 419-421, 1965.
- [11] DICKE, Robert H. et al. Cosmic Black-Body Radiation. *The Astrophysical Journal*, v. 142, p. 414-419, 1965.

CAPÍTULO 2

ILUMINANDO O COSMOS

Capítulo 2 – Iluminando o Cosmos

12 de janeiro - 17 horas, 44 minutos e 46 segundos - 480 milhões de anos

A RCF nos dá indícios de como foi distribuída a matéria no espaço. Satélites como o COBE (Cosmic Background Explorer) lançado em 1989, WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe) lançado em 2001 e até mesmo o mais recente, o satélite Planck em 2009 apresentam dados de que a distribuição da matéria não foi igual no espaço depois da era da recombinação. A justificativa para isso é, que durante este tempo a matéria e a radiação estavam à mesma temperatura e com isso, qualquer desigualdade na distribuição uniforme da matéria iria influenciar na distribuição da radiação. Partindo disso, na RCF temos pequenas variações na temperatura e estas pequenas variações permitem a formação de estruturas como galáxias, planetas, estrelas e outros. Os delatores deste fenômeno são os fótons desta época, pois, se eles estivessem em uma região mais densa que as demais, uma parte de sua energia seria gasta para escapar do campo gravitacional. Desta maneira, eles carregam informações sobre a disposição da matéria no espaço [1].

A formação do Universo como conhecemos inicia aqui, algo como uma nebulosa primitiva. Nebulosas, que vem do latim “nebula” ou “nuvem”, são regiões no espaço contendo hidrogênio, hélio, moléculas e gases ionizados (plasma). Contudo, nesta nebulosa pioneira a sua composição é de elementos leves como hidrogênio, hélio, lítio e outros. As nebulosas podem ser consideradas tanto como um berçário de estrelas ou o cadáver de uma estrela. Um berçário pelo simples motivo de ser uma região de constante formação estelar; quando partes de seu material começam a se juntar devido à gravidade, iniciando o processo de formação de uma estrela. E também um cadáver devido ao resultado do fim de vida estelar, quando no processo final a estrela não consegue formar elementos mais pesados e explode jogando sua matéria química pelo espaço.

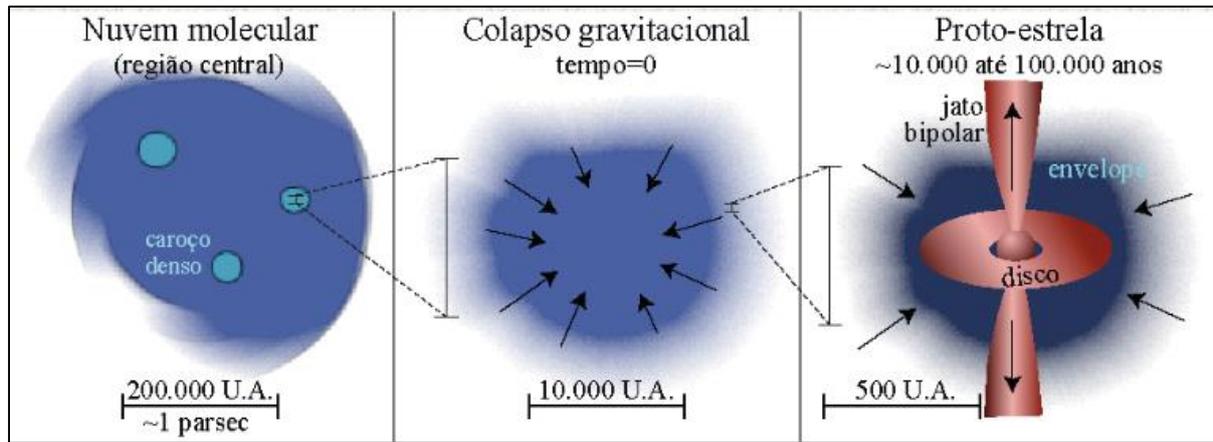
As nebulosas podem tomar diversas formas. Assim como as nuvens do céu, possuem movimento e com isso algumas mudam de formato. Outras tem um movimento tão lento que a sua mudança é imperceptível, podendo até dizer que são estáticas. Hoje sabemos que existem vários tipos de nebulosas como, por exemplo, nebulosas de emissão, reflexão, difusas e até mesmo escuras.

A partir deste período, o processo de formação das primeiras estrelas começa. Evidências indicam que a estrela mais velha, até agora descoberta, tenha cerca de 13,2 bilhões de ano [2], portanto, pode-se entender que as primeiras estrelas nasceram em torno de 500 milhões de anos depois do Big Bang. O estágio do nascimento de uma estrela é considerado violento, caótico e este processo pode levar alguns milhões de anos. As primeiras estrelas formadas são classificadas como estrelas de primeira geração e são as responsáveis pelo pontapé inicial. Comparando com o Sol, estas primeiras estrelas eram superiores em proporções de centenas e até milhares de vezes a massa, tamanho e temperatura. Estima-se que a vida das primeiras estrelas tenha sido alguns milhões de anos devido a quantidade de matéria que possuíam. Tratando-se de estrelas, a massa é um fator fundamental. É a massa que controla o seu tempo de vida, o seu brilho, a temperatura e o desfecho de morte.

Capítulo 2 – Iluminando o Cosmos

Os modelos de formação estelar apontam que o nascimento de uma estrela se inicia a partir de leves alterações no equilíbrio de uma nebulosa (gravitacional, térmico, cinético e etc.) [1]. Qualquer perturbação neste meio faz que a nebulosa comece a se compactar. Sendo a temperatura em uma nebulosa extremamente baixa, cerca de 10 a 20 kelvin, a matéria se condensa formando moléculas, favorecendo assim a aglomeração da massa e aumentando a sua densidade.

Figura 01: Formação estelar a partir de uma nebulosa



Fonte: <https://bit.ly/2TRoBZS>

Sob influência da gravidade, cada vez mais o material da nebulosa se compacta. Com cada vez mais matéria se aglomerando, surge a formação de um disco de acreção. Denominação dada pelo fato da matéria continuar a “cair” no centro, lugar mais denso do sistema e também por iniciar um movimento de rotação. A consequência deste fenômeno é o surgimento de uma proto-estrela, que fica no centro deste conjunto e inicialmente tem algo em torno de 1% de sua massa final.

Com o passar do tempo, a proto-estrela ganha cada vez mais massa devido a sua influência gravitacional, e como consequência, a sua temperatura e pressão aumentam. A queda de matéria em direção ao centro termina quando se inicia o processo de fusão termonuclear. E junto com isso, parte da matéria é ionizada e lançada para fora da proto-estrela produzindo jatos bipolares [1].

Com o começo da fusão termonuclear é dado início à sequência principal. Agora a proto-estrela já tem temperatura suficiente para fundir o hidrogênio em hélio, e com isso passa a ser uma estrela jovem. A sequência principal é o maior e principal período de uma estrela. É o momento quando a estrela atinge a capacidade de produzir fusões nucleares em seu núcleo, e termina quando a mesma não consegue mais fundir o hidrogênio em hélio. Durante a sequência principal, a estrela irá converter hidrogênio em hélio e o tempo de duração deste processo depende exclusivamente de sua massa. Após a sequência principal, a estrela evolui para uma gigante convertendo hélio em carbono e adiante em supergigante, quando o carbono é transformado em ferro. As possíveis evoluções das estrelas serão discutidas mais à frente.

Capítulo 2 – Iluminando o Cosmos

14 de janeiro - 13 horas, 36 minutos e 21 segundos - 550 Milhões de anos

Já se passaram 70 milhões de anos desde a nossa última parada, ou quase dois dias no nosso calendário. As estrelas no Universo podem ser observadas com um pouco mais de meio bilhão de vida, a luz percorre todo esse espaço deixando a ‘era das trevas’ para trás. Recordações deste período serão poucas, as estrelas maiores irão morrer em pouco tempo, as menores, em menor número, somente algumas irão sobreviver para contar a história até os dias atuais.

Estrelas são esferas de plasma incandescente, uma bola gigante de gás ionizado superaquecido. Sua vida começa a partir do momento em que a proto-estrela aquece o suficiente para começar a realizar fusões nucleares em seu núcleo, ou seja, a produção de átomos cada vez mais pesados. Podemos dizer que as estrelas são simples reatores nucleares astronômicos, emitindo energia de seu núcleo. Mas para a sua sobrevivência precisam de mais algumas condições, como por exemplo de um equilíbrio hidrostático, isto é, as estrelas necessitam de uma estabilidade entre a sua própria gravidade e a pressão exercida pelo gás em seu núcleo. Este equilíbrio hidrostático é um “cabo de guerra” entre as forças que agem sobre as estrelas, sendo a força gravitacional para dentro e a força da pressão para fora.

Porém, nem todas as proto-estrelas conseguem tal proeza, uma vez que a massa é o fator fundamental nesta equação. Se tomamos o nosso Sol como referência de massa e analisarmos algumas estrelas, vamos notar que, não somente a massa influencia na questão do tempo de vida, mas também no seu desfecho, envolvendo temperatura e brilho. De acordo com a sua massa podemos definir o seu futuro se tornando uma estrela anã branca, um buraco negro ou uma estrela de nêutron. Da mesma maneira, o brilho e a temperatura de uma estrela também será definido pela sua massa, uma vez que os corpos estelares mais massivos são mais quentes e luminosos (cores branca, azul), enquanto as menores são mais frias e menos luminosas (cores vermelho, laranja).

Para uma proto-estrela conseguir se tornar uma estrela, isto é, realizar fusões nucleares, ela necessita que seu núcleo atinja a temperatura de 8 milhões de kelvin. Todavia, para atingir este objetivo, a proto-estrela precisa ter ao menos 10% da massa do Sol, o que corresponde, por exemplo, a um pouco mais de 70 vezes a massa de Júpiter [1].

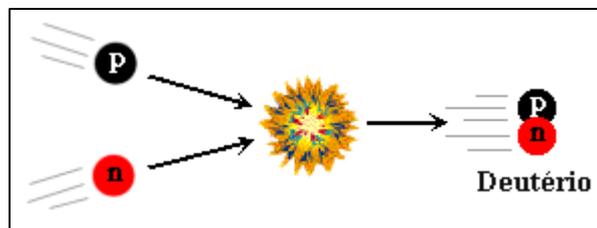
A grande fonte de energia de uma estrela é a fusão nuclear e consiste em uma ideia bem simples: a união de núcleos atômicos. A estrela, sob ação da própria gravidade, se comprime a ponto de superaquecer o seu núcleo. A temperatura atingindo os 8 milhões de kelvin inicia este processo que só termina ao final de sua vida. Hans Albrecht Bethe (1906-2005) desvendou esse mistério no artigo intitulado *A Produção de Energia nas Estrelas* [3] de 1939, e que lhe rendeu o prêmio Nobel em 1967. Hans Bethe utilizou para explicar esta produção de energia, uma cadeia de reações que envolve carbono e nitrogênio, conhecida como “Ciclo do Carbono”. No

Capítulo 2 – Iluminando o Cosmos

entanto, neste momento usaremos como exemplo um modelo mais simples mas que envolve o mesmo raciocínio.

Albert Einstein (1879-1955) mostrou que matéria pode ser convertida em energia e vice-versa. Então, tomando por exemplo a união entre um próton e um nêutron, o resultado desta junção será a formação de deutério, um hidrogênio mais pesado (um próton e um nêutron). Contudo, se somarmos a massa do próton com a do nêutron e compararmos com o deutério veremos que há uma diferença. O deutério é um pouco mais leve do que o próton e nêutron juntos e com isso, esta diferença de massa é a energia convertida. Essa porção de matéria, mesmo que mínima, ao ser convertida em energia é liberada na forma de radiação explicando assim o brilho das estrelas. No processo de criação do deutério, a energia liberada é milhões de vezes maior que em uma grama de carvão. E no caso do Sol, o processo que existe é a conversão de milhões de toneladas de hidrogênio em hélio. Neste processo de converter hidrogênio em hélio, a energia liberada é muito maior que a formação do deutério. A energia que o Sol converte em um segundo é equivalente à 5 trilhões de bombas de hidrogênio - a bomba atômica mais destrutiva que conhecemos [1][4].

Figura 02: Fusão próton-nêutron



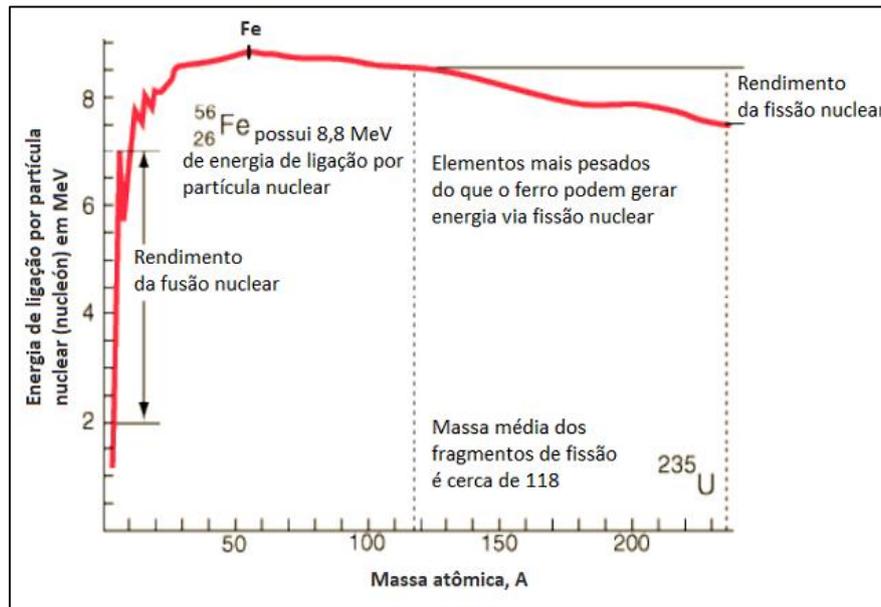
Fonte: <https://bit.ly/2TaZoXV>

Diferentes estrelas poderão ter diferentes processos de fusão nuclear. As mais simples e com menor massa que o Sol, somente conseguiram em sua vida transformar o hidrogênio em hélio, outras um pouco mais pesadas, só conseguiram converter a sua massa em carbono e oxigênio. Algumas estrelas produziram silício e enxofre e as mais massivas e com maiores temperaturas conseguiram formar somente até o ferro.

A partir da formação do ferro, as estrelas com maior massa não conseguem mais atingir temperaturas o suficiente para continuar a transmutação de elementos e, com isso, termina a sua vida explodindo como uma nova ou supernova. Os átomos mais pesados que o ferro, são somente formados nos eventos como estes, onde em alguns instantes de tempo, núcleos atômicos conseguem capturar nêutrons e isso ocasiona a fabricação tais átomos pesados [1][4].

Capítulo 2 – Iluminando o Cosmos

Figura 03: Rendimento fusão/fissão nuclear

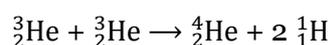
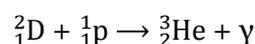
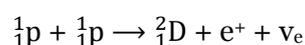


Fonte: <https://bit.ly/2CnjGYP>

Para descrever cada estrela usaremos o fator massa. Para tanto, iniciaremos falando daquelas com massas pequenas e prosseguindo com o aumento gradativo. Como já mencionado, a primeira etapa da formação é a proto-estrela e caso sua massa não chegue a 10% da massa do Sol, ela não realiza fusões em seu núcleo. Assim, o seu destino é ser uma anã marrom.

As anãs marrons possuem massa menor que o Sol, porém é maior que a de um planeta. Por não conseguir realizar fusão nuclear, são consideradas estrelas frustrada. Na sua composição pode-se encontrar hidrogênio, hélio e demais elementos. Também possuem altas temperaturas e com isso ganha uma pequena luminosidade na cor avermelhada. Contudo, ao longo do tempo, sua temperatura vai diminuindo e com isso seu pequeno brilho deixa de existir. No futuro, a anã marrom se torna uma anã preta, um objeto astronômico com tamanho semelhante ao planeta Júpiter e sem brilho.

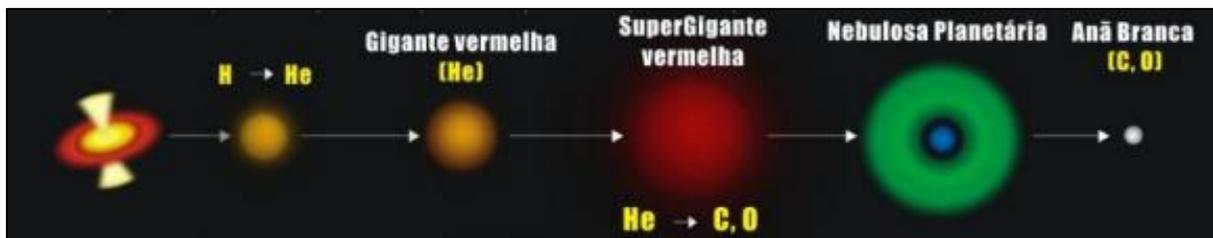
Estrelas com massa entre 10% e até 50% conseguem realizar fusões, porém somente há transformação de hidrogênio em hélio. Estas estrelas ganham o nome de anãs vermelhas. São corpos estelares frios (em relação ao Sol) e com brilho fraco. O futuro destes tipos de estrela é tornar uma gigante vermelha, quando terminar a fusão de hidrogênio em hélio. Neste processo, o seu tamanho irá aumentar, porém, não irá conseguir atingir temperatura o suficiente para converter o hélio. À vista disso, até o fim de sua vida irá se comprimindo até se tornar uma anã branca com sua composição majoritariamente em hélio [1][5].



Capítulo 2 – Iluminando o Cosmos

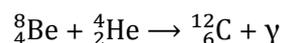
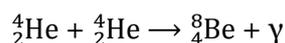
Agora, estrelas entre a metade e até 8 vezes a massa do Sol terão um final de vida semelhante. A sua evolução será, em primeiro momento, a transformação do hidrogênio em hélio. Quando acabar a fusão do hidrogênio e somente sobrar o hélio em seu núcleo, o equilíbrio entre a gravidade e a pressão deixa de existir. A partir disso, a estrela se contrai e o núcleo aumenta de temperatura. Com este aumento de temperatura, a luminosidade da estrela aumenta também. A contração somente termina quando o núcleo atinge temperatura o suficiente para começar a fusão do hélio em carbono e pequenas porções de oxigênio. Com a fusão do hélio, a energia liberada pela estrela é maior do que antes e, devido a isso, a pressão aumenta. As camadas mais externas da estrela se reajustam e este reajuste se dá com o aumento do seu tamanho. Conseqüentemente, com o aumento de tamanho, a temperatura na sua superfície diminui. Este processo de reajuste cessa quando ocorre o equilíbrio entre gravidade e pressão novamente. Esta fase de gigante vermelha irá durar até que o estoque de hélio acabe.

Figura 04: Evolução estelar de uma estrela com massa entre 0,5MSol até 8MSol



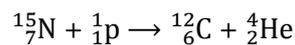
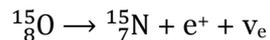
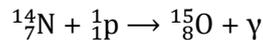
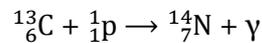
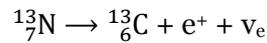
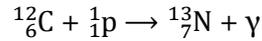
Fonte: <https://bit.ly/2JlrNLI>

Após a transformação do hélio em carbono e algumas pequenas partes em oxigênio, a estrela novamente se contrai e o processo se repete porém não chega ao seu final. Estrelas deste tipo não tem condições para realizar a fusão do carbono. E como as estrelas anteriores, termina a sua vida como uma anã branca formada por carbono e oxigênio. Dos seus últimos atos, as camadas exteriores serão ejetadas formando uma nebulosa planetária.



Capítulo 2 – Iluminando o Cosmos

Neste momento podemos voltar ao ciclo do carbono. Aqui envolve o carbono, nitrogênio e oxigênio como catalisadores, dominante como fonte de energia da estrela [1].



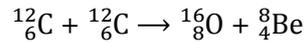
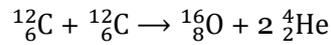
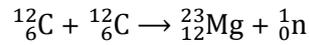
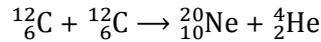
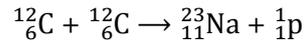
As anãs brancas são o fim de vida de uma estrela, aquele momento quando não consegue mais produzir energia nuclear. Contudo, por ser remanescente do núcleo de uma estrela, as anãs brancas possuem uma densidade e temperatura extremamente alta. Seu tamanho é semelhante à Terra, porém sua massa é equivalente à do Sol. Ainda que exista temperaturas e pressões altíssimas nestas estrelas, ainda não é o suficiente para dar início às fusões nucleares. O que resta para estas estrelas ao longo de milhares e até bilhões de anos é brilharem, devido a energia interna restante, e esfriarem até o ponto de se tornarem anãs pretas.

No caso das anãs brancas, a gravidade é contrabalançada pela pressão de degenerescência, isto é, este ponto a matéria está em um estado chamado “degenerado”, onde os elétrons não estão mais livres e sim, espremidos contra os núcleos atômicos. Devido a isto, os efeitos quânticos passam a atuar, e então, os elétrons passam a vibrar e esta energia contrabalança a gravidade, impedindo que a anã colapse. A anã irá esfriar pelo processo de radiação (emitindo luz) ou a emissão de neutrinos, quando raios gama produzem pares de neutrinos que escapam da anã levando energia. Ao passo que esfria, em seu núcleo pode formar uma estrutura organizada, liberando radiação. Isso ocorre quando a temperatura atinge um valor crítico e é chamado de “cristalização”. Após um longo tempo, quando quase toda a sua energia interna é irradiada, a anã branca se torna um corpo frio, sólido e cristalizado, denominado de “anã preta” [1].

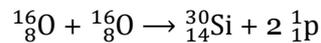
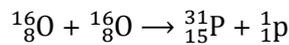
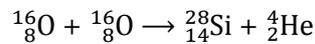
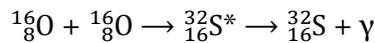
Estrela mais massiva, entre 8 e 25 vezes a massa do Sol, como todas as outras passam pelos mesmos processos porém evoluem muito mais rápido. Iniciaram a fusão de hidrogênio em hélio, como uma estrela normal e na cor azul. Passam do hélio para carbono e oxigênio, como uma gigante vermelha. Se transformam em uma supergigante vermelha e realizam a fusão do carbono e oxigênio em neônio, magnésio, silício até o ferro.

Capítulo 2 – Iluminando o Cosmos

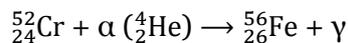
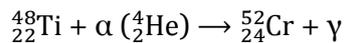
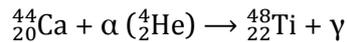
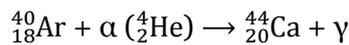
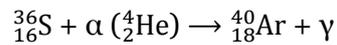
Queima do carbono [1]



Queima do oxigênio [1]



Ao produzir em seu núcleo átomos de ferro, a estrela chega a um momento crítico de sua vida. Diferentes dos outros elementos, o ferro absorve a energia produzida pela estrela e também não consegue ser fundido. A origem dos elementos a partir do oxigênio se dá pela captura de uma partícula alfa (${}^4_2\text{He}$) pelo núcleo atômico [5].

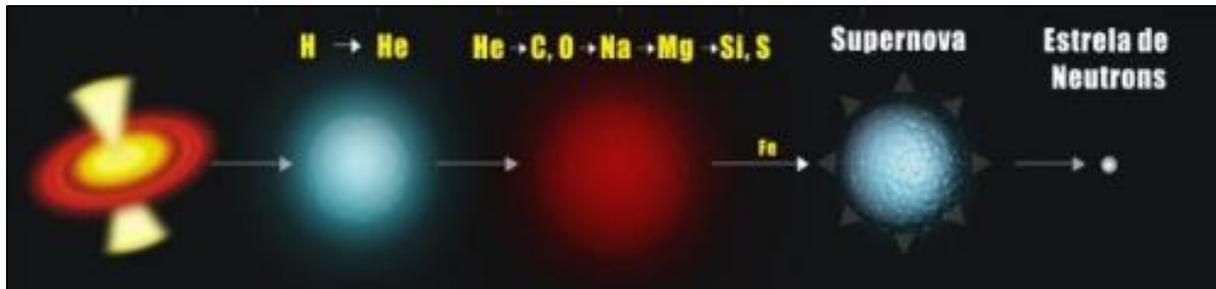


A consequência disto é a existência de um desbalanço de energia, o cabo de guerra do equilíbrio hidrostático começa a ficar do lado da gravidade, as camadas exteriores da estrela são comprimidas em direção ao centro e o caroço de ferro recém-

Capítulo 2 – Iluminando o Cosmos

formado rebate estas investidas ejetando matéria com velocidades extremamente altas para fora da estrela. Este fenômeno é chamado de supernova.

Figura 05: Evolução estelar de uma estrela com massa entre 8MSol até 25MSol



Fonte: <https://bit.ly/2JlrNLI>

Supernova é nome dado ao fenômeno quando uma estrela explode terminando a sua vida. Isto ocorre quando uma estrela forma em seu núcleo átomos de ferro, finalizando o processo de fusão nuclear. A partir deste momento, é liberada tanta energia que a supernova brilha ao equivalente à uma galáxia. Os elementos mais pesados que o ferro são formados neste processo devido às altas energias envolvidas. Este processo é tão rápido que somente com supercomputadores para simular [1].

Estrelas de nêutrons são o estágio final de corpos estelares deste tipo. Após a supernova, os resíduos lançados ao espaço podem ser reaproveitados e formarem novos sistemas, estrelas, planetas e etc. No seu centro, caso não ocorra disrupção total, isto é, um colapso gravitacional, se encontra uma estrela de nêutrons. Devido à força gravitacional intensa, elétrons e prótons são comprimidos e com isso, são obrigados a se unir e formar nêutrons e neutrinos. Sendo as estrelas mais densas e menores que conhecemos, estrelas de nêutron possuem raio de dezenas de quilômetros (muito menor que a Terra), contudo, a sua temperatura na superfície atinge facilmente os 50 mil kelvin [1].

Composta por matéria degenerada, em uma estrela de nêutrons, a distância média entre os nêutrons é de um fentômetro (10^{-15}m) ou igual ao tamanho de um nêutron. Por ter um raio pequeno, este astro não brilha o suficiente para ser notado. Assim como as anãs brancas, evidenciam uma relação do seu raio com a massa. Esta relação aponta para que quanto maior a massa de uma estrela de nêutrons, menor será o seu raio. Modelos apontam que o núcleo seja formado por um caroço superdenso com nêutrons superfluidos e prótons supercondutores, logo acima, um manto com nêutrons superfluidos e a crosta com elétrons e átomos de ferro. Em virtude de seu tamanho pequeno, giram com altas velocidades e com isso, surge um efeito parecido a de um dínamo, produzindo um campo magnético como a Terra [1].

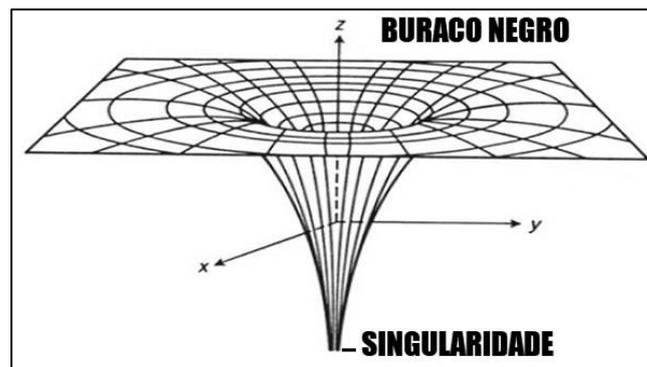
Os corpos estelares com 25 vezes a massa do Sol terão um desfecho um tanto pior que é a formação de um buraco negro. No início começaram como estrelas azuis, contudo, não existe um marco para reconhecer as fases de gigantes e supergigantes, bem como a fusão do hélio, carbono, neônio e demais átomos. Este período é contínuo

Capítulo 2 – Iluminando o Cosmos

e imperceptível. Estrelas deste tipo passam pela fase chamada “Wolf-Rayet” em que seu brilho varia e é formado um envoltório de poeira ejetado devido às pressões da radiação. A vida destas estrelas é relativamente curta, não chegando à centena de milhões de anos. Com a formação de ferro em seu núcleo, a estrela entra em colapso. As camadas da superfície caem em direção ao núcleo e são ejetadas para fora da estrela ao bater com o núcleo de ferro, disso resulta em uma supernova, formando um buraco negro em seu centro. Por causa de sua composição, não existe nada para contrabalançar a gravidade, o que leva a colapso gravitacional, onde a força gravitacional é tão forte que nem mesmo a luz consegue escapar.

Como a luz não consegue escapar do intenso campo gravitacional, surge o que conhecemos como “buraco negro”. O nome é decorrente do fato de que nesta região do espaço nenhuma informação sai e não em virtude de sua aparência, como porventura se possa imaginar. Se pudessemos olhar para um buraco negro, veríamos uma região negra no espaço, mas não um buraco negro em si. O que veríamos seria a sua influência gravitacional deformando o espaço-tempo ao seu redor, e em alguns casos, uma porção de matéria orbitando ao seu redor.

Figura 06: Buraco Negro sob perspectiva da relatividade (visão 2D)



Fonte: <https://bit.ly/2TgCpuM>

A melhor “imagem” de um buraco negro é a utilizada no filme *Interestelar*², onde seus autores e diretores contaram com a ajuda de físicos para tentar reproduzir esta região. Dessa maneira, a aparência do Gargantua (como é chamado o buraco negro do filme) é de uma esfera escura no espaço com matéria orbitando ao seu redor. Com o efeito da distorção do espaço, a matéria que orbita o Gargantua é possível ser vista em um mesmo plano e passando acima do buraco negro. Mas isso é apenas uma ilusão de óptica, pois existe apenas uma órbita.

Sob a perspectiva da Relatividade, os buracos negros são lugares no Universo onde o tecido do espaço-tempo está extremamente distorcido. A matéria está tão compactada em uma região do espaço tão infinitamente pequena que desaparece dando origem a uma singularidade. A singularidade é o coração do buraco negro, um lugar onde não existe espaço e tempo. Todavia, existe uma região chamada “horizonte

² *Interestelar*, Christopher Nolan, Paramount Pictures & Warner Bros. Pictures, 2014.

Capítulo 2 – Iluminando o Cosmos

de evento” que é marcada como o começo do buraco negro e o ponto-limite onde a informação consegue sair do astro [4].

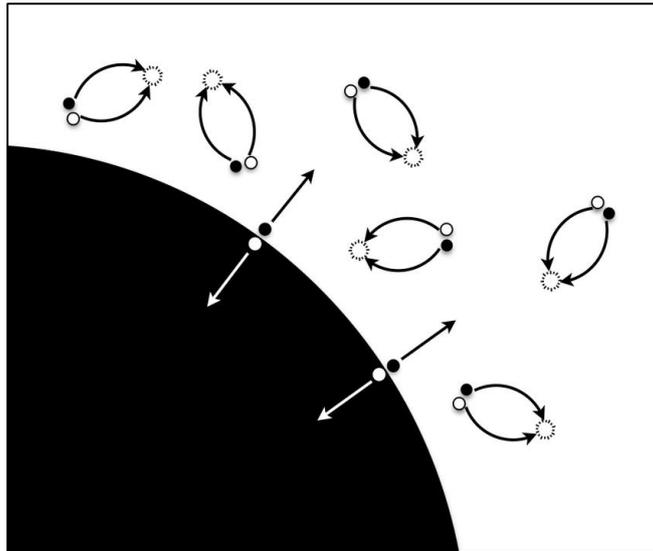
Acreditava-se que com isso nenhuma informação poderia sair do buraco negro e a informação que adentrasse nele era perdida. Contudo, em 1974, Stephen Hawking inferiu que, de uma certa forma, buracos negros emitem radiação e essa radiação emitida teria relação com a massa do buraco negro [6][7][8]. Inicialmente, buracos negros não tão massivos teoricamente iriam emitir mais radiação do que absorver. E como um sistema qualquer, os buracos negros menos massivos teriam a temperatura maior do que a radiação cósmica de fundo, e assim, iriam ceder a sua energia para o meio. Estando a temperatura relacionada em uma proporção inversa com a massa, a previsão é de que buracos negros ao longo do tempo irão evaporar e deixar de existir. Hawking embasa o seu argumento primeiro no *Princípio da Incerteza* formulado por Werner Heisenberg (1901-1976).

O Princípio da Incerteza nos diz que é inviável conhecer ao mesmo tempo duas propriedades de uma partícula, no caso, a sua posição no espaço e a sua velocidade. Então, caso conhecemos uma das propriedades da partícula, a outra por consequência teria uma imprecisão na sua medida, ou vice-versa. Em outras palavras, se conhecemos bem a posição de uma partícula, a sua velocidade será imprecisa. As duas propriedades estão ligadas ao passo que, quando uma cresce a outra decresce e vice-versa. Desta maneira, o resultado do produto das duas propriedades sempre será maior ou igual a um mínimo de energia. A consequência deste princípio é a flutuação quântica no vácuo, que acontece para manter a propriedade da incerteza. Isto configura uma dúvida, uma probabilidade, de existir ou não, no caso uma partícula, em uma determinada região do Universo. À vista disso, pares de partículas e antipartículas são produzidos em tempos extremamente curtos. Como a sua duração é extremamente curta, estes tipos partículas são considerados “virtuais”. As partículas virtuais não violam as leis da Física, pois respeitam o Princípio da Incerteza. Mas, elas contribuem para a “energia de ponto zero”, isto é, uma região no espaço com a menor quantidade de energia possível.

Ocorrendo este fenômeno de flutuação quântica na região do horizonte de evento, existe a probabilidade que uma destas partículas cair no buraco negro e a outra consiga escapar, forçando que ela se torne real e deixe se der virtual. Considerando que a antipartícula adentre o buraco negro, ela irá interagir com uma partícula e se aniquilar, fazendo assim, o buraco negro perder massa. A partícula que escapa do horizonte de evento é o que chamamos de “radiação Hawking”. Todavia, para acontecer a evaporação de um buraco negro seria necessário mais tempo que a própria idade do Universo.

Capítulo 2 – Iluminando o Cosmos

Figura 07: Radiação Hawking - criação-aniquilação de partículas perto da borda de um buraco negro



Fonte: <https://bit.ly/2O8eZXi>

O que relatamos até aqui, possivelmente, representa duas semanas de vida no nosso calendário - um pequena ponta do iceberg. Estes objetos representam uma parte do que realmente existe no Universo hoje. Neste instante de tempo que passou, estes diversos corpos astronômicos irão influenciar o futuro, de uma forma tão aleatória que é difícil assinalar se é sorte ou mera casualidade onde estamos hoje. No futuro outros objetos irão se formar, como planetas, asteróides, cometas e etc. Estruturas gigantescas como galáxias, aglomerados e grupos locais serão criadas por obra simples da Natureza.

REFERÊNCIA

- [1] OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. *Astronomia & Astrofísica*. 3 ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2013.
- [2] FREBEL, Anna et al. Discovery of HE 1523–0901, a Strongly r-Process-enhanced Metal-poor Star with Detected Uranium. *The Astrophysical Journal*. v. 660, n. 2, 2007.
- [3] BETHE, Hans Albrecht. Energy production in stars. *Physical Review*, v. 55, n. 5, p. 434, 1939.
- [4] TYSON, Neil deGrasse. *Astrofísica para apressados*. Trad. Alexandre Martins. São Paulo: Planeta, 2017.
- [5] CHUNG, K. C. *Introdução à Física Nuclear*. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2001.

Capítulo 2 – Iluminando o Cosmos

[6] HAWKING, Stephen W. *Uma breve história do tempo*. Trad. Cássio de Arantes Leite. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2015.

[7] HAWKING, Stephen W. Particle creation by black holes. *Communications in mathematical physics*, v. 43, n. 3, p. 199-220, 1975.

[8] HAWKING, Stephen W. *O universo numa casca de noz*. Trad. Cássio de Arantes Leite. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2016.

CAPÍTULO 3

SOBRE SER PEQUENO

Capítulo 3 – Sobre ser pequeno

26 de janeiro - 10 horas, 55 minutos e 14 segundos - 1 bilhão de anos

Estamos na iminência de terminar o primeiro mês do calendário e o que presenciamos até aqui representa o primeiro bilhão de anos do Universo. Desta forma, no ponto onde nos encontramos podemos dizer que algumas estrelas já morreram e jogaram no espaço as suas vísceras enriquecidas quimicamente formando novas nebulosas. Também neste mesmo cenário é possível a existência de algumas diferentes estrelas, a formação de uma segunda geração estelar, bem como a presença de buracos negros, estrelas de nêutrons e anã brancas.

Este período é marcado pelo início da formação das galáxias [1](termo que vem do grego “galaxias kyklos” e significa “caminho de leite” por referência a nossa Via Láctea). Elas são aglomerados de gás, poeira, nebulosas, estrelas, planetas, luas e demais objetos astronômicos, podendo ter diferente tamanhos e englobar de milhões à trilhões estrelas, com isso, se torna incalculável, e até mesmo inimaginável, a quantidade de objetos em uma única galáxia. O fator gravitacional é o que mantém uma galáxia coesa, porém, evidências indicam que grande parte da gravidade de uma galáxia é promovida pela matéria escura, isto é, uma matéria que só interage pela gravidade [2].

A galáxia que abriga o sistema solar e onde nos encontramos é chamada Via Láctea, o seu tamanho aproximado é de 100 mil anos-luz (de uma extremidade a outra), sendo que o sistema solar está aproximadamente 30 mil anos-luz de distância de seu centro [3]. Com idade aproximada de 13 bilhões de anos, acredita-se que ela se formou junto com as outras galáxias. Localizada na constelação de Sagitário, ela pode ser vista em lugares com pouca iluminação. Identificada como uma faixa luminosa no céu, de intensidade fraca, porém bem nítida, o seu nome é devido esta característica, um caminho de leite jorrado que se prolonga ao céu estrelado.

As galáxias só ganharam aspecto independente com Edwin Hubble, pois os astrônomos anteriores tinham dúvidas em relação a estes objetos. A descrição de alguns objetos estavam corretos como aglomerados estelar, porém outras, tinha a definição de nebulosas gasosas, contudo, a natureza das maiorias destes objetos ainda estava sem explicação. Em 1923, Hubble analisando a estrela Cefeida, que fazia parte da “nebulosa” de Andrômeda, conseguiu medir a sua distância. O dado indicava que a estrela se localizava à mais de 2 milhões de anos-luz, o que estava além dos limites da Via Láctea. Desta forma, ficou constatado que a “nebulosa” de Andrômeda, onde se localiza a estrela, é um sistema independente e, portanto, uma galáxia. Hubble também foi o pioneiro na classificação das galáxias e seus esquemas são utilizados até hoje, como indicado no seu livro *The Realm of the Nebulae* [4] de 1936.

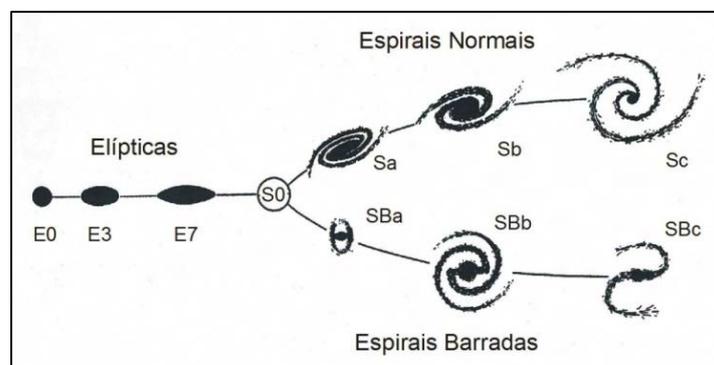
Capítulo 3 – Sobre ser pequeno

Março

20 de março - 08 horas, 45 minutos e 42 segundos - 3 bilhões de anos

Nesse momento se passaram quase 80 dias e o universo ainda jovem, começa a formação dos aglomerados de galáxias [5]. Durante o mês de fevereiro não existe fenômenos que ainda não tenham sido descritos. São um pouco mais de 2 bilhões de anos sem uma novidade no Universo, somente a presença dominante de corpos estelares. Estes corpos estelares serão criados e desmanchados em um ciclo quase vicioso. Ao menos, já previsto, podemos dizer que o universo está mais rico quimicamente, porque com as diferentes gerações de estrelas, novos elementos foram fabricados. Sabemos que, seguindo a tabela periódica, o ferro é a parada final. Somente até o ferro é gerado nos núcleos estelares. Porém, com a morte de algumas estrelas específicas e os episódios onde acontece supernovas, alguns raros elementos são formados.

Figura 01: Tipos de galáxias



Fonte: <https://bit.ly/2W8aOom>

Podemos dizer que os aglomerados de galáxias se formaram junto com as galáxias, contudo, para descrevermos um “rosto” para as maiores estruturas do Universo, inevitavelmente temos que esperar um tempo realmente grande. Neste ponto em específico, quando o Universo atinge os 3 bilhões de anos de idade, enfim podemos descrever estas estruturas. Como o nome sugere, um aglomerado de galáxias é um grupo de galáxias que interagem entre si gravitacionalmente. O conteúdo de um grupo é exorbitante, podendo haver centenas até milhares de galáxias em um único grupo. As maiores ganham destaque como superaglomerados e foram descobertas a pouco tempo.

Capítulo 3 – Sobre ser pequeno

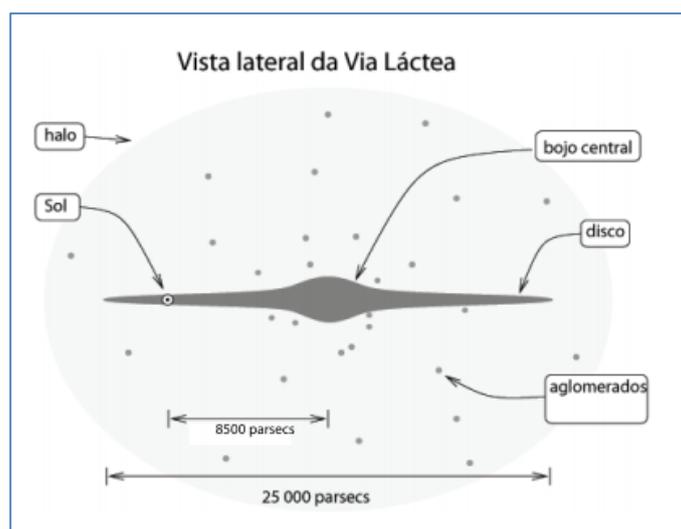
Setembro

02 de setembro - 05 horas, 56 minutos e 48 segundos - 9,2 bilhões de anos

Após o começo da formação dos aglomerados e superaglomerado - as maiores estruturas do Universo, passamos a focalizar nossa viagem em direção ao endereço atual. Para isso, necessitamos fazer um pulo de aproximadamente seis meses, ou um pouco mais de 6 bilhões de anos. Neste ponto, olhemos atentos a uma pequena região do Universo.

A região escolhida é o superaglomerado de Virgem. Afunilando mais um pouco, escolhemos o Grupo Local e dentro deste grupo, escolhemos uma simples galáxia: a Via Láctea. O que chama a atenção está em um dos braços desta galáxia, um lugar miúdo e insignificante, mas de grande importância para nós, mas onde uma pequena estrela, oriunda de outra, começa a se formar. Essa pequena estrela terá em sua órbita alguns planetas e em especial um, onde em um certo tempo existirá vida.

Figura 02: Estrutura da Via Láctea e a posição do Sol



Fonte: <https://bit.ly/2TNVdWz>

Com as últimas estimativas, entende-se que demoraram ao menos 9 bilhões de anos para que o Sol começasse a se formar. Hoje já sabemos que ele tem a idade aproximadamente de um pouco mais de 4,5 bilhões de anos [6]. Também sabemos que irá demorar os mesmos 4,5 bilhões de anos para que saia da sequência principal e evolua para uma gigante vermelha [2]. Um fato interessante é que devido a sua idade estimada, sabemos que o Sol deve ser uma estrela de segunda ou terceira geração, isto é, antes dele houveram ao menos uma estrela anterior. Com isso, os elementos que

Capítulo 3 – Sobre ser pequeno

podemos encontrar no Sol não são somente os exclusivos hidrogênio e hélio. Com a sua composição sendo de segunda ou terceira geração, mesmo que uma mísera (quase inexistente) parte, é possível encontrar ferro, silício, magnésio e outros átomos de elementos mais pesados.

Não diferente das outras estrelas, a formação do Sol é quase uma repetição do que já foi dito. Sendo assim, podemos imaginar que uma estrela chegou ao seu fim, espalhando pelo espaço toda a sua matéria. Esta matéria sabemos que contém diversos elementos pesados, porque na Terra encontramos estes elementos. Assim, sabemos que o fim desta estrela foi em uma supernova. Somente estes átomos pesados (como o urânio, rádio, plutônio e etc) são formados em supernovas. Então, partindo desta ideia inicial, dizemos que o sistema solar surgiu de uma nebulosa pós-supernova.

Ao longo da história da humanidade surgiram diversas tentativas para explicar a origem do sistema solar. René Descartes (1596-1650) talvez tenha sido o primeiro na tentativa de dar uma explicação científica ainda no século XVI. Dentro da teoria atual, Immanuel Kant (1724-1804) foi o que iniciou a argumentação a partir de uma nebulosa. A ideia é que o sistema solar teve começo de uma nuvem de gás e poeira, onde uma porção colossal (mais de 95%) desta matéria compõe o Sol e o restante, formou os demais corpos. Esta ideia teve suporte do matemático francês Pierre-Simon de Laplace (1749-1827), onde em seu livro *Exposition du Système du Monde* [7] desenvolveu a matemática para verificar se era sustentável este pensamento. Laplace verificou que, como todos os planetas estavam em um mesmo plano, como também giravam na mesma direção (tendo a exceção de Vênus), o sistema teria origem inevitavelmente de uma nebulosa de partículas em rotação. A versão moderna não se diferencia muito da ideia de Laplace, propondo que a nebulosa em rotação deu origem primeiro ao Sol e depois, ao demais objetos astronômicos.

O Sol é a estrela mais próxima que temos e como fonte de luz e vida, é a estrela que mais conhecemos. Sendo o maior corpo, ele contém 98% da massa do sistema, consegue influenciar, por meio de sua gravidade, objetos à um ano-luz de distância. Podemos falar que, a temperatura em seu núcleo atinge perto dos 15 milhões de kelvin, ao mesmo tempo que, na sua superfície, a temperatura é perto dos 6 mil kelvin.

Projeta-se o seu fim para daqui a 4,5 bilhões de anos, quando se tornará uma gigante vermelha. A sua fase de gigante vermelha terá uma duração de aproximadamente de 100 milhões de anos e depois desta fase, irá colapsar em uma supernova, formando uma nebulosa planetária com uma anã branca em seu centro, a qual poderá levar outros bilhões de anos até esfriar completamente. Durante a fase de transição da sequência principal para a gigante vermelha, o seu tamanho irá mudar. Espera-se que o Sol cresça passando da órbita da Terra, o que, por consequência, irá engolir Mercúrio, Vênus e a própria Terra.

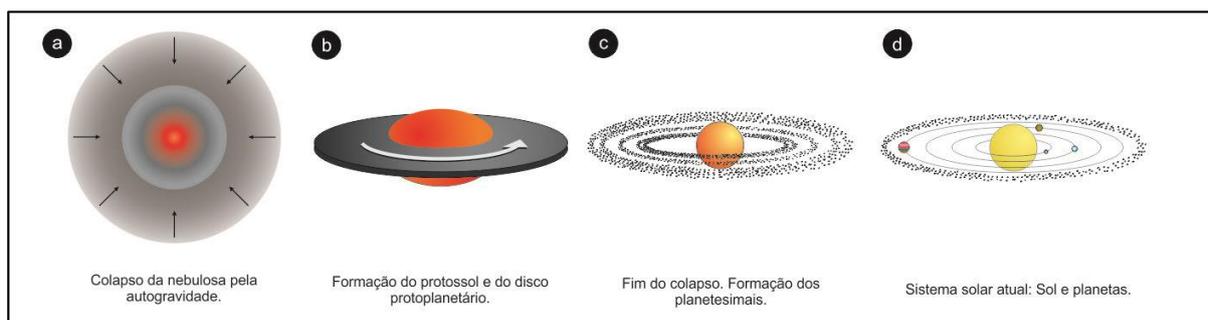
Capítulo 3 – Sobre ser pequeno

05 de setembro - 10 horas, 24 minutos e 25 segundos - 9,32 bilhões de anos

Com o colapso gravitacional da nebulosa, inicialmente é formado o Sol e logo depois os planetas. Das melhores estimativas, acredita-se que o sistema solar tenha a idade aproximadamente de 4,5 bilhões de anos [8]. À vista disso, o nascimento do Sol durou ao menos 100 milhões de anos. Este tempo foi o necessário para que toda matéria agrupada fosse o suficiente para esquentar e iniciar as fusões nucleares. Após este processo, o Sol não adquire mais massa, contudo, ainda tem a existência do disco de matéria ao seu redor. Este disco esfria com o passar do tempo, o que contribui para a matéria se reunir em pequenos corpos.

E sob ação da gravidade, estes corpos começam a se unir em corpos maiores e recebem o nome de “planetesimais” devido as suas dimensões serem realmente pequenas em comparação aos planetas atuais. Estes planetesimais crescem conforme a sua distância em relação ao Sol: lugares mais distantes têm temperaturas mais baixas, contribuindo para que os elementos mais leves pudessem se condensar, enquanto, as regiões mais perto, com temperaturas mais altas, os elementos pesados conseguem permanecer em estado sólido e se unirem. Consequentemente, isso implica que os planetas mais internos são constituídos de elementos pesados, porém os seus tamanhos são relativamente pequenos. Ao passo de que os planetas mais distantes do Sol conseguem reunir mais matéria, formando planetas gigantes [2].

Figura 03: Formação dos planetesimais



Fonte: <https://bit.ly/2CBmBgH>

Dentro do sistema solar, utilizando como parâmetro o tamanho, iremos encontrar 8 planetas que estão assim dispostos em ordem de distância do Sol: Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano e Netuno. Podemos diferenciá-los em duas categorias: terrestres e gasosos, sendo terrestres os quatro primeiros e gasosos (ou jovianos) os quatro últimos. Todos os planetas estão no mesmo plano do sistema, bem como a rotação em seu próprio eixo segue a mesma direção. Neste período em específico, acredita-se que todos os planetas tenham se formado na mesma época.

Capítulo 3 – Sobre ser pequeno

Decrescendo de tamanho, encontramos os planetas anões. Os planetas anões são corpos com massa o suficiente para terem forma esférica, contudo, sem uma grande influência gravitacional. Orbitando o Sol, podemos encontrar diversos objetos, mas estes em especial, não são tão significantes em tamanho e massa. O bastante lembrado é Plutão, que deixou de ser planeta em 2006 e desde que foi descoberto em 1930, ainda não completou um período orbital. Outros planetas anões são: Éris, Ceres, Haumea e Makemake. Eles podem ser encontrados em diversas regiões do sistema solar. Somente Ceres pode ser encontrado entre as órbitas dos planetas (Cinturão de Asteroides), os demais de encontrar além da órbita de Plutão (Cinturão de Kuiper).

Além dos planetas e do Sol, também fazem parte do sistema solar corpos menores. Estes corpos menores englobam as luas (satélites naturais), asteróides, cometas, meteoróides e todos os demais objetos que orbitam o Sol e os planetas. As luas, que são satélites naturais, são corpos relativamente pequenos que orbitam planetas e podem ser encontrados em diversos tamanhos que, em alguns casos, são maiores que outros planetas. O satélite natural mais conhecido é a Lua, e a sua origem ainda desperta a curiosidade dos pesquisadores. Normalmente, o número de lua de um planeta está ligado à sua massa, portanto, um planeta mais massivo, consequentemente, irá possuir mais luas.

Seguindo temos os asteroides, que são corpos um pouco menor que as luas, porém com órbita ao redor do Sol. Metálicos ou rochosos no geral, têm um formato irregular com diâmetro de alguns quilômetros. Na sua grande maioria, são encontrados no “Cinturão de Asteroides”, uma região entre as órbitas de Marte e Júpiter. Também é possível encontrar alguns asteroides fora desta órbita. Aqueles asteroides que se encontram no Cinturão, possuem uma órbita quase circular [2].

Outro grupo de corpos pequenos são os cometas. Suas órbitas normalmente são bem excêntricas, e não estão no mesmo plano como os demais objetos. Devido ao seu tamanho, como os asteroides, dificilmente são vistos à olho nú. Na sua composição podemos encontrar gelo, poeira e mais alguns compostos. Normalmente, os cometas se aproximam do Sol, e esta aproximação faz que o seu gelo em sua estrutura sublima. Esta sublimação resulta na produção de uma nuvem de gás e poeira ao redor do cometa [2].

Figura 04: Diferenças entre cometa, asteroide e meteoro



Fonte: <https://bit.ly/2FmjKtD>

Capítulo 3 – Sobre ser pequeno

Por últimos, temos os meteoroides, cujo tamanho não passa de centenas de metros e comumente são fragmentos de cometas ou asteroides. Passam a ser visíveis a olho nú quando a Terra consegue capturar algum pela força gravitacional, que ao adentrar a atmosfera, chamados este fenômeno de “meteoro”. E pelo atrito com a atmosfera, sua temperatura aumenta deixando um caminho brilhante pelo céu (são as famosas “estrelas cadentes”). Caso sobreviva, o meteoróide que atinge o solo é chamado de “meteorito”. Todo dia a Terra é cometida por diversos corpos vindos do espaço que, para nossa sorte, a grande maioria é de tamanho insignificante e muitas vezes são sobrevive ao atrito da atmosfera [2].

REFERÊNCIAS

- [1] SOBRAL, David et al. Evidence for PopIII-like stellar populations in the most luminous Ly α emitters at the epoch of reionization: spectroscopic confirmation. *The Astrophysical Journal*, v. 808, n. 2, p. 139, 2015.
- [2] OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. *Astronomia & Astrofísica*. 3 ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2013.
- [3] BOEHLE, A. et al. An improved distance and mass estimate for Sgr A* from a multistar orbit analysis. *The Astrophysical Journal*, v. 830, n. 1, p. 17, 2016.
- [4] HUBBLE, Edwin Powell. *The realm of the nebulae*. Yale University Press, 1982.
- [5] CANAMERAS, R. et al. Planck’s dusty GEMS: The brightest gravitationally lensed galaxies discovered with the Planck all-sky survey. *Astronomy & Astrophysics*, v. 581, p. A105, 2015.
- [6] BONANNO, A.; SCHLATT, H.; PATERNO, L. The age of the Sun and the relativistic corrections in the EOS. *Astronomy & Astrophysics*, v. 390, n. 3, p. 1115-1118, 2002.
- [7] MARQUIS DE LAPLACE, Pierre Simon. *Exposition du système du monde*. Bachelier, 1835.
- [8] BOUVIER, Audrey; WADHWA, Meenakshi. The age of the Solar System redefined by the oldest Pb–Pb age of a meteoritic inclusion. *Nature Geoscience*, v. 3, n. 9, p. 637, 2010.

CAPÍTULO 4



Capítulo 4 – Azul e verde

06 de setembro - 18 horas, 15 minutos e 55 segundos - 9,37 bilhões de anos

“Uma das grandes revelações da exploração espacial é a imagem da Terra, finita e solitária acomodando toda a espécie humana através dos oceanos do tempo e do espaço”

Carl Sagan (1934-1996)

Ainda que todos os planetas tenham se formado logo após o Sol, para falarmos da Terra em especial, precisamos dar um passo de 50 milhões de anos. Embora represente apenas um pouco mais de 24 horas em nosso calendário, vale mencionar que isso corresponde a um tempo maior que toda a existência da humanidade.

A Terra, o terceiro planeta em distância em relação ao sol, têm na sua estrutura a presença de elementos pesados, como ferro, níquel e outros. E até o final da sua formação irá sofrer diversos processos. Um sistema onde conseguimos encontrar milhares até milhões de organismos vivos. Sua distância em relação ao Sol é, em média, de 150 milhões de quilômetro, o que nos coloca em uma zona privilegiada em comparação aos demais planetas. A Terra leva 365 dias para completar uma volta ao redor do Sol e o seu dia tem duração de 24 horas. Ligeiramente maior que Vênus, a Terra possui características bem distintas, como por exemplo, a atmosfera e temperatura propícia para a vida. Em conjunto com o vasto oceano em sua superfície, que detêm a riqueza em elementos químicos.

Da estrutura dos planetas, os quatro primeiros ganham um aspecto rochoso (Mercúrio, Vênus, Terra e Marte), e os quatro últimos, são predominantemente constituídos por gases (Júpiter, Saturno, Urano e Netuno). Os terrestres são pequenos em tamanho e massa, com os valores próximos ao da Terra. A sua densidade é maior que os gasosos, superando significativamente em valores. Devido às estas características, a presença de satélites naturais é quase inexistente.

No caso dos planetas gasosos, seus tamanhos e massa são algumas centenas de vezes maiores em relação à Terra, porém, sua densidade é pequena, como Saturno, onde a sua densidade média é menor que a da água. O número de luas destes planetas é realmente grande, chegando a algumas dezenas [1].

Capítulo 4 – Azul e verde

08 de setembro - 2 horas, 7 minutos e 26 segundos - 9,42 bilhões de anos

“Este é um pequeno passo para o homem, mas um grande salto para a humanidade”

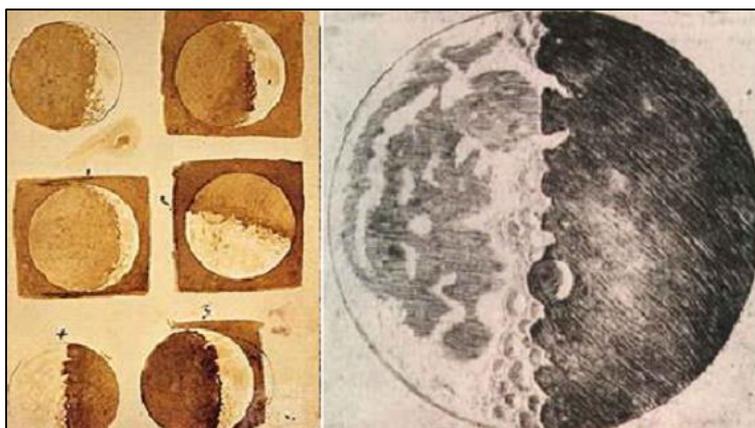
Neil Armstrong,

durante a missão Apollo 11 ao pisar na Lua em 1969

O objeto astronômico mais perto da Terra é a Lua, que fica cerca de 385 mil quilômetros da Terra e é o único astro que o ser humano pisou, além da Terra. Depois do Sol, é o objeto mais brilhante do céu. Sendo o único satélite natural da Terra, seu tamanho é, aproximadamente, quatro vezes menor do que nosso planeta.

Especula-se que a sua origem tenha sido entre 60 e 100 milhões de anos após a formação do sistema solar [2]. Ao olharmos para a Lua e para o Sol, temos a impressão de que ambos apresentam o mesmo tamanho. Essa sensação decorre do tamanho angular dos dois astros que é praticamente o mesmo, em virtude da Lua estar muito mais próxima da Terra que o Sol.

Figura 01: Desenhos da Lua feito por Galileu



Fonte: <https://bit.ly/2Csammj>

A principal teoria para a origem da Lua [3] (e a mais aceita atualmente) é que a Lua é o resultado de uma colisão de dois objetos: a Terra e um outro corpo chamado Theia. O período de formação da Terra, no início do sistema solar, é marcado pela intensa colisão entre corpos. Sendo assim, neste período a Terra sofreu com diversos choques de asteróides, meteoritos e dentre outros. Dentro destes acontecimentos, em especial acredita-se que Theia, um objeto astronômico do tamanho de Marte, tenha se chocado com a Terra. O choque entre Theia e a proto-Terra levou à fragmentação dos corpos [4]. Por ser no início de sua formação, a superfície da Terra não apresentava

Capítulo 4 – Azul e verde

uma crosta totalmente rochosa e, por isso, existia a presença de magma. Com a colisão, fragmentos da Terra foram jogadas ao espaço, enquanto, uma parte considerável de Theia fundiu-se com a Terra (parte principal do núcleo) e o restante foi jogado ao espaço. Entende-se que a colisão não ocorreu de maneira frontal, mas lateral. Os fragmentos jogados do espaço se aglutinaram sob a ação da gravidade e pouco a pouco formaram a Lua. Sobre a composição da Lua, ela revela que é quase idêntica à da Terra [5].

11 de setembro - o hora, 12 minutos e 4 segundos - 9,53 bilhões de anos

Dentro dos períodos geológicos estamos no período Hadeano, que consiste na formação da Terra, Lua, rochas e etc. Esse período corresponde ao primeiro e temos poucas informações desta época [6]. Sabemos, por exemplo, que a superfície da Terra foi tomada pelo magma, devido a intensa atividade vulcânica oriunda do núcleo e o choque de outros corpos advindos do sistema solar. Na atmosfera, sabemos que haviam indícios de água (H₂O), gás carbônico (CO₂), hidrogênio (H₂) e nitrogênio (N₂).

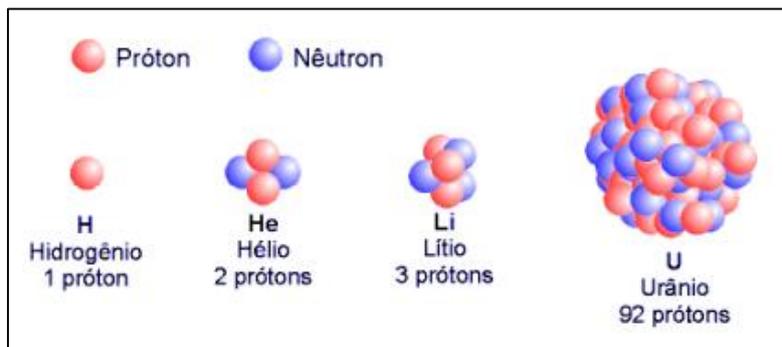
No entanto, na Austrália foi encontrado um fragmento de zircão e este fragmento foi datado aproximadamente 4,3 bilhões de anos. O zircão é um mineral composto de zircônio, silício e oxigênio (ZrSiO₄), se apresentando ao natural em diversas cores (vermelho, dourado e incolor). Sendo considerado atualmente como o mineral mais antigo do planeta Terra, a sua origem se situa próximo do fim do período Hadeano.

A estimativa da sua idade é possível em virtude da presença de isótopos de urânio (U-238 e U-235) e tório (Th-232), dois átomos radioativos, encontrados junto com o zircão. Em função da presença destes dois elementos (3 isótopos U-238, U-235, Th-232) e de acordo com a seu longo período de decaimento radioativo, o resultado final será a existência de dois isótopos de chumbo, Pb-206 e Pb-207 junto com o fragmento de zircão.

Para compreender como o processo de datação da estimativa da idade deste fragmento é feita, devemos primeiramente entender os fenômenos dos quais os elementos químicos sofrem. Inicialmente, olhamos para a tabela periódica, que representa uma organização sistemática dos elementos de acordo com o seu número atômico. Em outras palavras, cada elemento ganha uma posição na tabela de acordo com a quantidade de prótons existentes no seu núcleo atômico. Cada elemento é identificado essencialmente por meio deste número.

Capítulo 4 – Azul e verde

Figura 02: Número atômico



Fonte: <https://bit.ly/2sYRqqr>

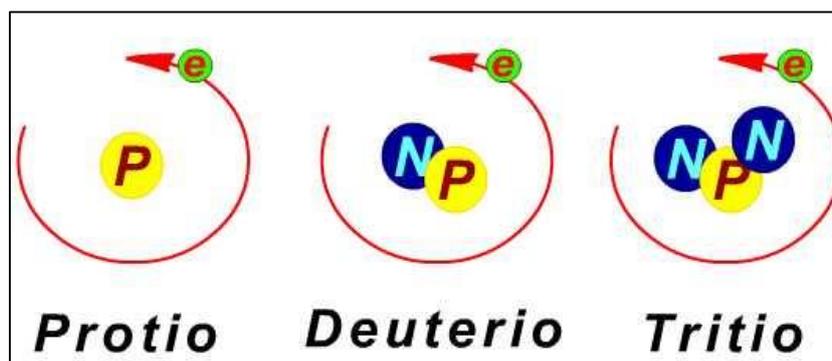
Ou seja, se tomarmos por exemplo o hidrogênio, para o elemento ser caracterizado como tal, só pode ter em seu núcleo um único próton (o número de nêutrons é indiferente). Desta forma, a tabela periódica está estruturada de forma crescente. Sendo eles: hidrogênio, hélio, lítio, berílio, boro, carbono, nitrogênio e oxigênio. O hidrogênio apresenta um único próton, o hélio dois, lítio três e assim sucessivamente até o oxigênio com 8 prótons no núcleo atômico.

Neste quesito, o nêutron não provoca diferença, entretanto, participa para a massa do elemento. A massa do elemento, ou massa atômica, consiste na soma de prótons e nêutrons existentes em seu núcleo. Desta forma, podemos diferenciar os mesmos elementos pela sua massa. Um exemplo que faz parte da produção de energia das estrelas, são os isótopos do hidrogênio. Isótopos são elementos iguais, mas com massa diferente.

No caso do hidrogênio são: o prótio, deutério e o trítio [7]. O prótio é o tipo de hidrogênio mais abundante (e que, muitas vezes, este nome não é usado). Ele consiste de um único próton em seu núcleo. Um hidrogênio mais “pesado” é o deutério, e em seu núcleo são encontrados um próton e um nêutron. O hidrogênio mais pesado de todos é o trítio, composto pelo mesmo único próton, porém, têm a companhia de dois nêutrons. O hidrogênio é o único elemento o qual seus isótopos possui um nome em específico, os demais são nomeados pelo nome do elemento seguido do seu número atômico (Por exemplo: Fe⁵⁷).

Capítulo 4 – Azul e verde

Figura 03: Isótopos do hidrogênio



Fonte: <https://bit.ly/2s9odXl>

Porém, na natureza alguns elementos se apresentam de forma instável, o que afeta o núcleo atômico provocando a transformação de um elemento em outro ou a liberação de energia. Estes dois fenômenos é o que chamamos de “radioatividade”.

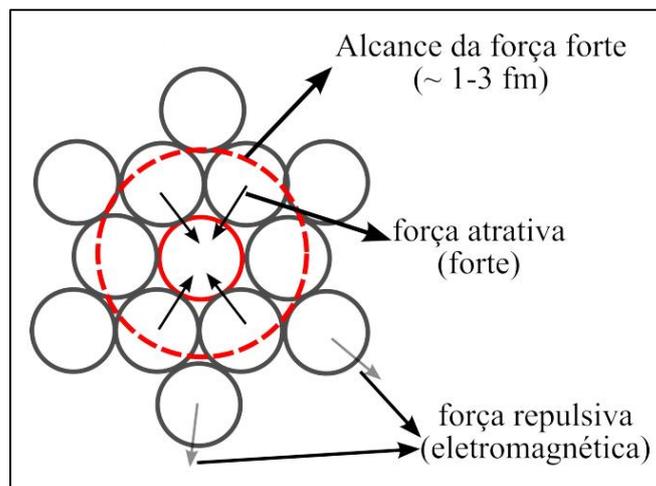
A instabilidade do núcleo tem origem na quantidade de prótons e nêutrons. Comumente núcleos atômicos muito grandes são instáveis, ao passo que, núcleos pequenos são estáveis. Como sabemos, prótons e nêutrons experimentam a força nuclear forte que surge a partir da interação de partículas. Estas partículas são os mésons e, em particular, possuem massa. Como os mésons não obedecem ao Princípio de Exclusão de Pauli (spin inteiro), podem ser trocados sem um valor limite. Contudo, por apresentar massa, os mésons possuem um alcance muito pequeno e são de difícil produção. Usando um exemplo contrário, temos os fótons (ou até mesmos os grávitons) que são partículas que fazem a interação de outras forças, porém, não possuem massa e com isso o seu alcance se torna ilimitado. O motivo de mésons terem uma vida curta é uma consequência direta da equivalência massa-energia (estabelecida pela Teoria da Relatividade) e da relação a partir do Princípio da Incerteza em termos de energia-tempo (mecânica quântica). Então, respeitando o Princípio da Incerteza, mésons tem um tempo de vida curto devido à grande energia que possuem, ao passo que, fótons não têm massa e o seu tempo de vida tende ao infinito. Desta maneira, a incerteza em relação a medidas realizadas destas partículas é mantida [8].

Então, pelo motivo dos mésons terem um alcance bem limitado, a interação forte não ocorre com todas as partículas do núcleo (em caso de átomos grandes). O alcance dos mésons é aproximadamente de 1,5 fentometro (um fentometro é igual à 10^{-15} metros), ou duas vezes o tamanho de um próton/nêutron. Em especial, existem algumas peculiaridades dentro do núcleo atômico. Isto é, no caso de duas partículas, a propriedade do Princípio da Incerteza exclui a possibilidade de uma partícula estar colada à outra partícula. Principalmente com corpúsculos com propriedades de carga tal como prótons, a força repulsiva elétrica tende ao infinito impedindo assim de as partículas estarem extremamente próximas umas das outras. Contudo, a força forte consegue, de maneira atrativa, manter estas partículas próximas o suficiente para formarem núcleos.

Capítulo 4 – Azul e verde

A força forte age de maneira atrativa com um valor extremamente alto (suficiente para superar a repulsão da força coulombiana), ao passo que se esta distância for maior que os 1,5 fentômetros, a interação forte deixa de existir e o seu valor cai à zero. A partir disso, podemos concluir que em átomos instáveis existe um desequilíbrio entre forças que atuam no núcleo atômico. Em outras palavras, o cabo-de-guerra, em dado momento, é vencido por uma das forças [87].

Figura 04: Atuação da força forte vs. eletromagnética



Fonte: <https://bit.ly/2HrLpvv>

Uma outra maneira de entender estas relações é imaginar uma fila pequena de partículas. Imaginemos que o primeiro lugar desta fila está ocupado por um próton e no segundo lugar, por um nêutron. A interação entre os dois é atrativa (o mesmo aconteceria caso no segundo lugar houvesse a presença de próton). Devido às dimensões envolvidas, não existe uma ação repulsiva significativa, somente predomínio atrativo e isso torna este núcleo estável, unificado. Agora, no terceiro lugar imaginemos outro nêutron. Como a carga elétrica do nêutron é zero, a sua energia de ligação é menor que a do próton (excluisse a força elétrica). Nesta fila, ainda que as dimensões forem maiores que 1,5 fermi (fermi é sinônimo do fentômetro) entre o primeiro e terceiro lugar, a força se mantém coesa. Um exemplo deste tipo é o trítio (3_1T), que cujo núcleo se apresenta na forma de um triângulo devido às forças envolvidas e, desta forma, as distâncias entre as partículas é diminuída e prevalece a força atrativa.

Não obstante, imaginemos agora outra situação. No mesmo terceiro lugar da fila, trocamos o nêutron por um próton. Neste caso agora devemos considerar a força elétrica envolvida no processo, porém, essa força elétrica ainda não tem uma ação significativa. Deste modo, o núcleo é estável e não ocorre um decaimento. Esta interação está tipificada como um 3_2He , que como o trítio, se apresenta também na forma de um triângulo. Sob a forma triangular, as distâncias entre as partículas são reduzidas ao máximo e assim, novamente, a interação forte atua de forma

Capítulo 4 – Azul e verde

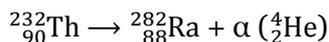
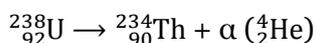
predominante. Portanto, fica fácil perceber que, em um dado momento a interação predominante nem sempre será atrativa.

Com o crescimento do núcleo atômico, se necessita de mais elementos para manter a coesão nuclear. Então, em um núcleo muito grande a interação forte é inexistente com as partículas dos extremos. Tendo presença somente com partículas próximas. Voltando-se ao exemplo da fila, um átomo grande enfileirado, as partículas dos extremos não interagem pelo meio da força forte, somente pela repulsão elétrica.

Isso tudo posto, podemos chegar à conclusão que a radioatividade é um modo encontrado pelo átomo para se tornar estável, isto é, uma maneira de se desfazer de uma porção de energia (sendo em forma de partículas ou em ondas eletromagnéticas) e assim encontrando um equilíbrio entre as forças que agem sobre o núcleo.

Chamamos de “radiação” a energia produzida pelo núcleo atômico, podendo ser de três maneiras, ou três tipos: a radiação alfa, beta e gama, sendo que para cada radiação existem uma característica específica. Por exemplo, a radiação alfa consiste em um átomo de hélio (dois prótons e dois nêutrons no núcleo) duplamente ionizado. Neste caso, o átomo que emite esta radiação sofre uma transmutação (ou decaimento), fazendo com que um elemento se transforme em outro. Na situação do decaimento alfa existe a perda dois prótons e com isso, o elemento se transforma em outro de menor número atômico. Também existe a perda de dois nêutrons, fazendo com que a massa do elemento caia em quatro unidades.

E o exemplo mais simples é o caso do urânio-238, o qual possui 92 prótons e 146 nêutrons em seu núcleo. Como o elemento é radioativo, o urânio emite uma radiação (ou partícula) alfa. Deste modo, o urânio-238 se transforma em tório-234, ficando com 90 prótons e 144 nêutrons. Todavia, as emissões alfas possuem energia mais baixa em comparação às demais, sendo facilmente barrada por qualquer objeto um pouco espesso (uma camada de 7 centímetros de ar, uma folha de papel, etc). Contudo, esta radiação habitualmente está inclusa com outras radiações tornando-se perigosa ao ser humano.



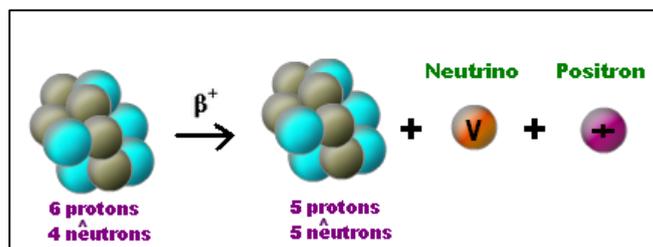
As equações mencionadas anteriormente fazem parte de três séries mais conhecidas, são elas: a série do urânio, actínio e tório respectivamente. São três exemplos de elementos radioativos que emitem partículas alfa, no entanto, estes exemplos são somente a ocorrência de um único decaimento. Diferentes elementos podem ter diferentes cadeias radioativas (sequências de transmutações). Algumas podem ser muito longas (com vários decaimentos), enquanto outras, podem ser pequenas ocorrendo um ou dois decaimentos [9].

Capítulo 4 – Azul e verde

A radiação beta é um pouco mais penetrante do que a radiação alfa, por isso, necessita uma barreira mais espessa para ser barrada. No ser humano essa radiação pode ocasionar queimaduras, no entanto, dificilmente afeta os órgãos internos. A radiação beta pode se dividir em duas: β^+ (beta mais) e β^- (beta menos).

A radiação β^+ (beta mais) é quando um próton se converte em um nêutron, um pósitron e um neutrino do elétron. Este decaimento, também chamada de “emissão de pósitron”, ocorre usualmente com núcleo com excesso de prótons. O núcleo ao realizar este decaimento, faz com que o elemento perca um próton e com isso, converte-se em um elemento mais leve da tabela periódica. Em resumo, o decaimento β^+ ocorre devido ao excesso de energia que é dispersa ao formar o nêutron, o pósitron, o neutrino e mais a soma das energias cinética de cada partícula [8].

Figura 05: Processo β^+

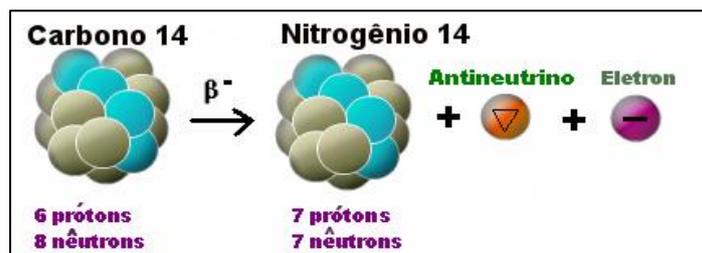


Fonte: <https://bit.ly/2TcAffy>

No decaimento de β^- (beta menos), a conversão acontece com um nêutron, que se transforma em um próton, um elétron e um antineutrino do elétron. O neutrino (e até mesmo o antineutrino), como já mencionado, é uma partícula sem carga e quase sem massa. Devido a estas características, a sua interação com a matéria é muito pequena e, por isso, é de difícil detecção. A todo momento milhões de neutrinos provenientes do Sol atravessam a Terra sem mesmo interagir com um único átomo. O próton fica aprisionado junto ao núcleo, enquanto o elétron é emitido junto com o antineutrino com velocidades próxima à da luz. O núcleo que sofre este decaimento, ao perder um nêutron, ganha um próton e com isso, se transmuta em um elemento mais pesado da tabela periódica [8].

Capítulo 4 – Azul e verde

Figura 06: Processo β^- (beta menos)



Fonte: <https://bit.ly/2TcAffy>

Uma outra forma de radiação beta é a captura eletrônica, que consiste na união de um próton e um elétron e resulta em um nêutron e um neutrino. O processo de captura eletrônica é responsável pela formação de estrelas de nêutrons. Isso ocorre porque ao chegar ao seu final de vida, a estrela colapsa devido a ação da gravidade fazendo que prótons e elétrons se unifiquem, formando assim um núcleo de nêutron [8]. Podemos resumir os processos β^+ (beta mais), β^- (beta menos) e a captura eletrônica na seguinte tabela:

Tabela 01: Processos betas e captura eletrônica

| Processo | Símbolo | Produto Inicial | Produto final | Equação |
|--------------------|-----------|-----------------------------|--|-------------------------------------|
| Beta mais | β^+ | Próton (p) | Nêutron + Pósitron (e^+) + Neutrino do elétron (ν_e) | $p \rightarrow n + e^+ + \nu_e$ |
| Beta menos | β^- | Nêutron (n) | Próton (p) + Elétron (e) + Antineutrino do elétron ($\bar{\nu}_e$) | $n \rightarrow p + e + \bar{\nu}_e$ |
| Captura eletrônica | - | Próton (p) + Elétron (e) | Nêutron (n) + Neutrino do elétron (ν_e) | $p + e \rightarrow n + \nu_e$ |

Fonte: [7], adaptado.

A radiação com mais energia é a gama, por isso tem o poder de penetração maior que as outras radiações, necessitando de uma barreira de chumbo bem espessa para poder impedi-la. Normalmente, após a emissão de partícula alfa ou beta, se o núcleo estiver em um nível excitado, isto é, ainda conter energia, a maneira encontrada de se estabilizar ocorre na forma de emissão de ondas eletromagnéticas (raios gama). Estas ondas eletromagnéticas de alta energia é o que formam a radiação gama. Existem outras maneiras de produzir os gamas, como a desaceleração de partículas carregadas ou processo de aniquilação de matéria e antimatéria (elétron-pósitron, próton-antipróton e etc).

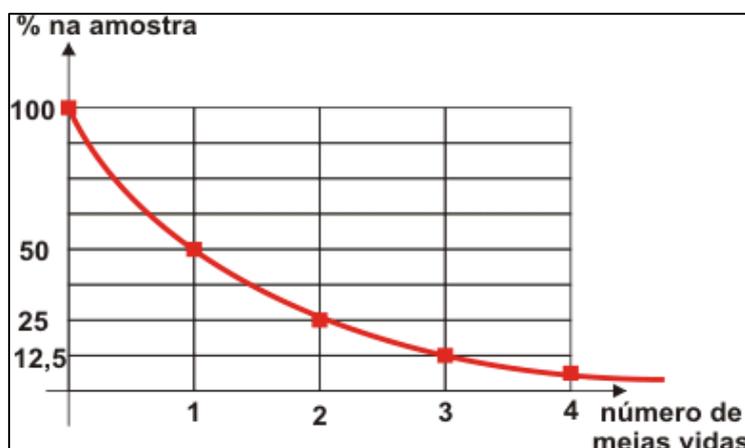
Capítulo 4 – Azul e verde

Analisando as várias transmutações que um elemento pode sofrer, então podemos afirmar que um átomo radioativo tem um “prazo de validade”. E que este prazo de validade é o tempo que um elemento permanece o mesmo ou conserva a sua configuração original. Então para acompanhar a vida deste elemento é preciso determinar uma maneira de comparar. Deste modo, foi instaurada a “meia-vida” como forma de medir a atividade de um átomo radioativo. A meia-vida é o tempo em que um elemento é reduzido à metade.

Podemos utilizar o exemplo do carbono-14 (isótopo mais usado para a datação de compostos orgânicos) onde a sua meia-vida é de, aproximadamente, 5000 anos. Isto significa que em 5000 anos, um quilograma de carbono-14 terá transmutado em 500 gramas em nitrogênio-14. Estes 500 gramas restantes de carbono levaram mais 5000 anos para que 250 gramas se transformem em nitrogênio e assim sucessivamente. Desta forma, a cada meia-vida de um elemento, a sua atividade radioativa se reduz à metade da anterior até que atinja valores insignificantes que, de tão pequenos não possam ser percebidos.

Vale ressaltar que a meia-vida é uma ideia probabilística [8]. Isso significa que olhando somente um núcleo radioativo é impossível prever quando irá ocorrer a transmutação. Porém, pode ser observado diversos núcleos de um mesmo elemento e contar quantas transformações ocorreram em um determinado tempo. Esta é a maneira mais fácil de estimar a meia-vida de um elemento com atividade radioativa.

Figura 07: Meia vida



Fonte: <https://bit.ly/2Hv1VuN>

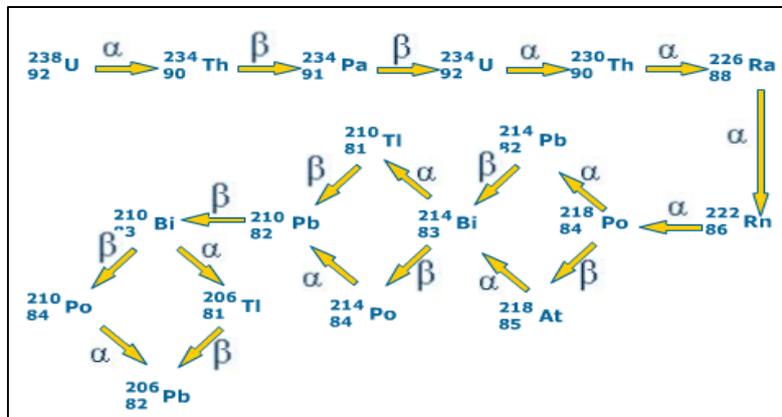
Dispostos os fenômenos que podem ocorrer com o núcleo atômico, podemos voltar a estimativa da idade das primeiras rochas do planeta Terra. Esta estimativa de

Capítulo 4 – Azul e verde

idade é chamada de “datação” e consiste na ideia de comparar as quantidades de elementos denominados “pai” e “filho”. Isto é, o elemento-pai é o átomo de origem e o elemento-filho é o produto final. No caso da datação das idades das rochas, foram considerados como cronômetros geológicos os seguintes elementos: urânio-238, urânio-235 e o tório-232. Os elementos chumbo-207 e 206 são os produtos finais desta longa cadeia [6]. Para fins de simplificação, usaremos somente como exemplo o urânio-238.

O urânio-238 possui uma longa cadeia radioativa, passando por 14 decaimentos até se estabilizar no chumbo-206. Contudo, isto não impede a sua datação. Sabendo o tempo de meia-vida do urânio e o seu produto final, basta uma mera comparação entre as quantidades de urânio-238 e o chumbo-206 para definirmos a idade do material. Então, sabendo que o tempo a meia-vida do urânio que é de 4,5 bilhões de anos, podemos deduzir que o mesmo está na sua primeira vida. Isto é, caso na amostra tivesse, por exemplo, 10 gramas de urânio na sua formação, hoje restariam apenas 5 gramas. Estas 5 gramas restantes formam o tório-234, porém o tório tem uma meia-vida curta de 24,6 dias. Então, parte deste tório já se transmutou em protactínio que também têm uma meia-vida extremamente curta (quase dois minutos). Com a emissão beta do protactínio, o mesmo volta a ser o urânio, porém o de massa atômica 234. Este urânio possui uma meia-vida relativamente alta em comparação aos demais elementos (cerca de 270 mil anos). Assim, o urânio agora 234 também é radioativo e continua o processo, que pode levar alguns bilhões de anos até se estabilizar no chumbo-206.

Figura: Série radioativa do urânio



Fonte: <https://bit.ly/2UIT5MP>

A critério de reflexão, caso conseguirmos um átomo de urânio-238 que se transmuta a cada segundo, depois de 15 segundos ele se tornaria o chumbo-206.

Capítulo 4 – Azul e verde

Contudo, em uma situação bem menos feliz; caso fosse um urânio da terceira meia-vida, ele levaria o tempo de aproximadamente 13,5 bilhões de anos (próximo a idade do Universo) somente para a primeira transmutação. Imaginando os mesmos 10 gramas de urânio, a sua terceira meia-vida seria da porção de 1,25 gramas restante. Em uma situação intermediária, no caso de cada transmutação ocorrer ao final de cada meia-vida de cada elemento, o tempo necessário seria de aproximadamente 4,6 bilhões de anos, indo do urânio até o chumbo.

REFERÊNCIAS

- [1] OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. *Astronomia & Astrofísica*. 3 ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2013.
- [2] BARBONI, Melanie et al. Early formation of the Moon 4.51 billion years ago. *Science Advances*, v. 3, n. 1, p. e1602365, 2017.
- [3] JENVEY, Karen. NASA. Lunar Scientists Develop New Theory on Earth and Moon Formation. 2012. Disponível em:
<https://www.nasa.gov/topics/solarsystem/features/moon_formation.html#>.
- [4] ZHANG, Junjun et al. The proto-Earth as a significant source of lunar material. *Nature Geoscience*, v. 5, n. 4, p. 251, 2012.
- [5] WIECHERT, Ulrich et al. Oxygen isotopes and the Moon-forming giant impact. *Science*, v. 294, n. 5541, p. 345-348, 2001.
- [6] VALLEY, John W. et al. Hadean age for a post-magma-ocean zircon confirmed by atom-probe tomography. *Nature Geoscience*, v. 7, n. 3, p. 219-223, 2014.
- [7] ROCHA-FILHO, R. C; CHAGAS, A. P. About The Names Of The Chemical Elements, Including The Transfermium Elements [sobre Os Nomes Dos Elementos Químicos, Inclusive Dos Transfêrmios]. *Química Nova*, v. 22, n. 5, p. 769-773, 1999.
- [8] CHUNG, K. C. *Introdução à Física Nuclear*. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2001.
- [9] CARDOSO, Eliezer de Moura. *A energia nuclear*. 3. ed. Rio de Janeiro: CNEN, 2012. (Apostila educativa)

CAPÍTULO 5

APRENDENDO A ANDAR



Outubro

1º de outubro - 10 horas, 49 minutos e 54 segundos - 10,3 bilhões de anos

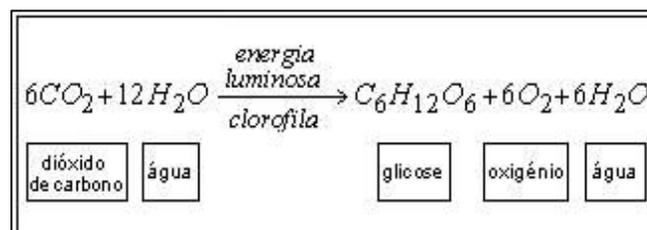
Os fósseis mais antigos encontrados na Terra apresentam idade de, aproximadamente, 3,5 bilhões anos [1]. Este são microfósseis de algas e bactérias primitivas do período Arqueano. Esse período é marcado pela continuidade da atividade vulcânica, aparecimento das primeiras formações rochosas expostas, início da vida, das grandes bacias hidrográficas no planeta e o decréscimo da temperatura da Terra. A vida no planeta se apresentava na forma mais simples, em organismos unicelulares. Estes organismos são chamados de “procariontes” e contêm características bem sutis, como células procariontes que tem como principal característica o fato de que seu material genético está disperso pelo citoplasma, sem nenhuma delimitação.

Estas evidências indicam que a vida surgiu na Terra em torno de um bilhão de anos após a sua formação. Este tempo em específico é considerado como o período pré-cambriano (período anterior à explosão de formas de vida) e, ainda, levaria mais alguns milhões de anos para que os organismos tomassem uma forma mais evoluída.

20 de outubro - 01 horas, 50 minutos e 58 segundos - 11,15 milhões de anos

Evidências encontradas em organismo unicelulares mostram que alguns apresentavam a capacidade de gerar oxigênio [2]. Esta capacidade é oriunda do processo da fotossíntese que, é a maneira que as plantas utilizam para obter alimento. O processo consiste em utilizar a energia da luz solar para converter o dióxido de carbono e a água em glicose (açúcar), oxigênio e uma fração de água como subproduto. A fotossíntese teve grande importância, pois, uma vez que levou a atmosfera a ficar inundada de oxigênio.

Figura 01: Processo de fotossíntese



Fonte: <https://bit.ly/2ujcVm4>

Capítulo 5 – Aprendendo a andar

Novembro

23 de novembro - 13 horas, 10 minutos e 5 segundos - 12,3 bilhões de anos

Na escala do nosso Calendário Cósmico, levou ao menos 2 bilhões de anos [3] para que a vida pioneira evoluísse de unidades solitárias para organismo mais complexos. As células, denominadas como “eucariontes” que antes tinha o seu material disperso pelo citoplasma, passam a conter em seu interior organelas, ou seja, compartimentos delimitados. Das hipóteses mais aceitas para essa evolução de procariontes para eucariontes, temos a de que foram anexadas as primeiras, células bacterianas, criando assim uma relação chamada de “simbiose”, onde existe uma relação mútua de ganho. A célula fornece nutrientes e proteção do meio externo, enquanto a bactéria oferta um maior rendimento e aproveitamento energético por meio da respiração. O resultado desta relação são as organelas mitocôndrias e o cloroplasto.

Dezembro

06 de dezembro - 19 horas, 45 minutos e 7 segundos - 12,8 bilhões de anos

No último mês do calendário, destacamos o início do surgimento de organismo mais complexos no planeta Terra. Estamos no último bilhão de anos e com isso cada segundo de tempo começa a ganhar importância. Com origem nas colônias, os organismos começam a agrupar formando estruturas. A vantagem de seres multicelulares é que podem dividir as funções para cada célula, cada uma exercendo um papel específico. Isso ocorre desde os seres mais complexos como o ser humano, animais e planta, até às mais simples como as esponjas do mar. O caso do ser humano é um exemplo bem nítido com suas células neurais, musculares, e etc. Cada uma com uma determinada função. Mas isso varia para cada organismo, os mais simples possuem dois ou três tipos de células, enquanto, os mais complexos, possuem centenas de variedades.

Capítulo 5 – Aprendendo a andar

06 de dezembro à 31 dezembro - Entre 12,8 a 13,76 bilhões de anos

Neste momento temos um compilado da evolução da vida no planeta Terra, na qual temos dificuldade de estimar datas, especialmente em se tratando de seres vivos. Podemos perceber que a vida é o resultado de uma longa cadeia natural de evolução tanto sob o ponto de vista da química, como da biologia. De uma forma geral, as características apresentadas pelos seres vivos são a existência de um metabolismo, a reprodução e a alteração de seu sistema. Tais características permitem sintetizar que a vida sofre adaptações, acumulando informações para a sua sobrevivência. Contudo, para o surgimento da vida inteligente, como a concebemos hoje, é necessário um tempo maior, com uma longa seleção cumulativa de informações e adaptações.

Entretanto, as características mencionadas permitem uma tendência a vida, por meio das mutações, que é a evolução para sistemas mais complexos. A partir disso e considerando ser o último ponto onde ocorre o surgimento dos organismos multicelulares, podemos dissertar sobre o caminho da evolução da vida na Terra. Assim, após a formação de sistema multicelulares, alguns milhões anos mais tarde apareceu os primeiros animais simples. Com capacidade de reagir ao ambiente ao seu redor, estes animais se alimentam não mais por meio da fotossíntese, mas por meio de outros seres vivos.

Os artrópodes representam a maiores quantidades de espécimes na atualidade, surgindo a aproximadamente 550 milhões de anos, no período Cambriano. Envoltos por um exoesqueleto e sendo invertebrados, são os ancestrais na forma de aranhas, caranguejos, centopéias e etc. Durante o período Cambriano eram encontrados nos oceanos e hoje são conhecidos somente por fósseis restantes desta época.

Passados ao menos mais 50 milhões de anos, ocorre o surgimento dos primeiros peixes e anfíbios. A vida neste momento existe somente nas águas, contudo, passados alguns milhões de anos e por meio do processo evolutivo, a vida começa gradativamente a surgir na terra. A crosta terrestre começa a ser colonizadas primeiro sob a forma de plantas e depois por insetos e sementes.

A presença de uma coluna vertebral, bem como um crânio para a proteção do cérebro, é o que caracteriza os vertebrados. Com a passagem de 100 milhões de anos, no período Siluriano é notado a presença dos primeiros seres vivos dotados com estas características. Fósseis indicam que os primeiros animais vertebrados foram os peixes.

Após os peixes, os anfíbios foram os primeiros animais a desenvolver membros e a sair da água. Seguidos pelos répteis com a capacidade de reprodução através de ovos e com isso, sem a necessidade de voltar a água. Nesse momento a vida começa a ser colonizada na crosta terrestre em conjunto com as plantas.

Com o início da Era Mesozóica, o supercontinente começou a se dividir em dois: Laurásia e Gondwana. Esta Era é conhecida pelos seus habitantes, os dinossauros, que formaram o grupo de répteis que dominaram a crosta terrestre durante este período. Possuindo diversos tamanhos, alguns tinham característica tanto de herbívoros quanto carnívoros. Novamente, a vida começa a florescer na Terra e novas formas de

Capítulo 5 – Aprendendo a andar

vidas, como os mamíferos, plantas e etc, começam a surgir pelo próximos milhões de anos.

Com mais alguns milhões de anos, aparecem os mamíferos. Estes seres, diferentes dos répteis, começam a adquirir algumas características como a temperatura corporal constante e o desenvolvimento de membros para a locomoção. Vivendo nas sombras dos dinossauros, estes seres tinham hábitos noturno e se alimentavam inicialmente de pequenos insetos.

As aves apareceram quase que conjuntamente com os mamíferos. Considerados os últimos dinossauros sobreviventes, fósseis indicam a sua origem em dinossauros emplumados, isto é, dinossauros muito semelhantes com as aves atuais e que possuíam penas. Os primeiros ancestrais tinham característica diferentes como a presença de mandíbula e a ausência de capacidade de voar.

O fim da Era Mesozóica é compreendido pelo período do Cretáceo, algo em torno de 65 milhões de anos atrás. Este momento é conhecido pelo fenômeno que ocasionou a extinção dos maiores animais da Terra, os dinossauros e é compreendido dentro do dia 30 de dezembro do nosso calendário.

Após a última extinção em massa, os poucos sobreviventes desta época foram os mamíferos, aves e alguns répteis. Durante esta época conhecida como “Paleoceno”, com o extermínio dos dinossauros, as aves ganham destaque conseguindo se tornar os maiores predadores terrestres. A vida no planeta ainda consegue sobreviver, dar alguns suspiros e os últimos sobreviventes continuam os seus processos evolutivos. No caso dos mamíferos, ao final do período Paleoceno surge os primeiros primatas e com eles começam a aparecer características como pelo, pele e lactação, ocorrendo a evolução placentária, isto é, a formação de vida dentro do ser vivo e não mais em ovos.

Capítulo 5 – Aprendendo a andar

31 de dezembro - Os últimos 40 milhões de anos - 13,76 milhões de anos

Chegamos ao último dia do Calendário Cósmico, os últimos 40 milhões de anos restantes. A partir deste ponto o foco estará no homem, embasados pela evolução biológica. Na época do Eoceno, onde estamos localizados, houve uma explosão de variedade de espécimes e houve o predomínio dos mamíferos, onde podemos encontrar ancestrais dos cavalos, rinocerontes, camelos e alguns lêmures.

As 6 horas do dia 31, surgem os primeiros macacos que vivendo entre galhos de árvores se alimentavam de pequenos insetos. Este quadro vai mudar com o crescimento dos ossos e do cérebro. Inicialmente com os gibões, evoluindo para gorilas e depois para chimpanzés, a presença da laringe entre a faringe e os pulmões indica algo como a precursora da fala.

O começo do desenvolvimento para o ser humano como conhecemos hoje iniciou aproximadamente a 2 milhões de anos. Os primeiros do gênero Homo são o Homo Habilis, que devido a habilidade manual ganharam este nome. Essa capacidade resultou na confecção de ferramentas, que inicialmente eram feitas de ossos e pedra.

O Homo Erectus acredita-se que seja o primeiro hominídeo a lidar com o fogo. Tendo não só tamanho maior em relação ao Habilis, o seu crânio também era ao menos 50% maior. Com cérebro maior, possibilitou-lhes a construção de ferramentas mais elaboradas. Além do fogo, foram os primeiros a iniciar uma migração para fora do continente africano.

O Homo Neanderthalensis é uma subespécie do homem que surgiu a aproximadamente 400 mil anos atrás e desapareceu a cerca de 35 mil. Ainda que o seu DNA seja praticamente igual ao humano, eles não são os nossos ancestrais. Existem algumas evidências entre o convívio do Homo Neandertal com o Sapiens e um possível cruzamento entre as espécies. As teses sobre a extinção do Neandertal sugerem que ocorreram vários conflitos, tiveram baixa mobilidade da população e apresentaram dificuldade em se reproduzir [4][5].

Nos últimos 200 mil anos aparece o Homo Sapiens, do latim “homem sábio”. Essa espécie apresentava a habilidade de compreender conceitos abstratos, curiosidade, capacidade de observar a natureza e de estabelecer conclusões sobre como o ambiente.

Capítulo 5 – Aprendendo a andar

31 de dezembro - 23 horas, 59 minutos e 0 segundos - 40 mil anos

Estamos agora no último minuto do nosso calendário. Neste período inicia a existência do “homem comportavelmente moderno”, isto é, pequenos grupos caçador-coletor, sobretudo nômade. Além de pedras e madeiras, agora este homem usava outros materiais para as suas ferramentas, como: ossos, galhadas, marfins e dentes. Outras ferramentas como: facas, anzóis, agulhas e alfinetes demonstravam uma superior habilidade tecnológica e complexa, indicando uma alta capacidade de caça. Como também de pesca, com a construção de barcos [6].

Um ponto forte a ser considerado é o desenvolvimento da linguagem por estes homens. Na carona do desenvolvimento genético, a linguagem possibilitou uma melhora significativa sobre aprender e inovar. Os humanos mais primitivo não tinha controle de uma linguagem, principalmente de funções mais elevadas como a descritiva e argumentativa. Assim, no controle da linguagem, informações poderiam ser transferidas além do espaço e do tempo e não ficando apenas refém dos instintos e imitações [6].

Todavia, esta sobrevivência dependia do ambiente ao seu redor. Essencialmente parasitárias, o desafio principal e insolúvel destes grupos era o esgotamento de recurso. Não existia a produção de recursos, excluindo as ferramentas, somente o consumo. Assim, havia a necessidade da espera da natureza se regenerar e reabastecer. Este modo de sobrevivência, somente a retirada de suprimentos, não favorecia o crescimento populacional. Para manter um padrão alto de sobrevivência precisaria necessariamente de um limite de caça e coleta e, muitas vezes, incluía abortos e infanticídio em casos em que a população superasse estes limites [6].

Ainda que existisse práticas para limitar o aumento da população dentro dos grupos, estas medidas não solucionavam o problema. Restava poucas alternativas como: lutar por mantimentos, migrar de regiões ou adotar uma nova organização social e desenvolver tecnologia para se manter no mesmo território. Assim, quanto a primeira alternativa, existem diversas provas antropológicas que deixam bem claro o nível de violência neste período. Principalmente em níveis de brutalidade extrema e fatalidade quase certa. Com o aumento da população, encontros assim se tornavam cada vez mais frequentes e, pela característica parasita, não existia excedentes e conseqüentemente, o comércio.

A segunda solução, a migração, apesar de ser custosa, aparentemente se tornava a escolha menos prejudicial. Iniciando ao leste da África, grupos atravessaram o Mar Vermelho em direção à península arábica, alguns continuaram prosseguindo rumo a Àsia e a Indonésia, outros tomaram a direção noroeste partindo da Índia, atravessando o Afeganistão, Irã e Turquia. Outras rotas foram tomadas e regiões ocupadas como: a Sibéria, atravessando a estreito de Bering e chegando até a Patagônia, cruzando o Pacífico e chegando às ilhas da polinésia. Quase que um processo ritual, os grupos ocupavam uma região, a população aumentava, alguns grupos permaneciam e outros alcançavam outras regiões [6].

Ao passar de alguns milhares, grande parte dos territórios acessíveis estava ocupado (Europa, Àsia e África). O estilo de vida parasitário não agregava em nada à

Capítulo 5 – Aprendendo a andar

sobrevivência destes grupos, e a armadilha malthusiana persistia. A dispersão de diversos grupos contribuiu com a modificação a partir da seleção natural, sobretudo com o fator do clima, da separação e isolamento destas sociedades [6].

A Revolução do Neolítico resolveu temporariamente o problema malthusiano, uma vez que, o modo de produção parasitário - caça e coleta - foi trocado para um modo de produção baseado no cultivo de plantas e criação de animais. Assim se desenvolvia a agricultura e a domesticação de animais. Foi um marco cognitivo fundamental, principalmente por esboçar as primeiras inovações como: a propriedade privada, o estabelecimento da família, o ambiente doméstico e a divisão do trabalho. Desta forma, com o desenvolvimento da agricultura e da domesticação dos animais, houve também aumento de produtividade e a disponibilidade de alimentos era maior. Isso melhorou a qualidade de vida do homem e auxiliou no desenvolvimento de outras atividades [6].

A descoberta do cobre e as técnicas de fundições marcam o começo da Idade dos Metais. O domínio das técnicas de fundições possibilitou vantagens as comunidades que tinham este conhecimento. Vantagens essas na competição de melhores condições para a sobrevivência como: pastagens, terra férteis e alimentos. A existência de bens escassos gerou conflitos, e uma comunidade tendo o domínio da tecnologia da época desencadeou um controle sobre uma outra. Assim, sob a conquista de uma comunidade sobre outra, houve o surgimento dos primeiras cidades-estados.

Logo após o cobre, as técnicas de fundição levaram ao surgimento do bronze. A Idade do Bronze é datada o seu começo aproximadamente 6 mil anos atrás, em torno dos últimos 13 segundos do nosso calendário. Da mesma maneira que o cobre, o bronze garantiu poder de comunidades que detinham o domínio das técnicas de fundição. Começando na Grécia e China, se estendendo pelo Oriente Médio até mais ou menos 1.500 anos antes de cristo. Também houve o aparecimento da escrita com os sumérios e, em especial, da primeira ciência: a astronomia.

O homem desta época, em sua luta de sobrevivência, nitidamente percebeu os fenômenos que ocorriam à sua volta e com sua capacidade intelectual, teve a iniciativa de entendê-los. Inicialmente, deu atenção aos fenômenos que influenciavam a sua vida, como a luminosidade e a escuridão periódica, a temperatura e clima variáveis, bem como a percepção do Sol, Lua, planetas e demais estrelas. Com certeza, os homens pré-históricos perceberam também que fenômenos ocorriam no céu estrelado, como por exemplo: as fases da Lua, eclipses, cometas e etc. Estes acontecimentos levaram a crença em deuses, símbolos de divindades e influenciaram suas vidas, tudo decorrente da mistificação e desconhecimento. Disto levou o surgimento da Astrologia, a capacidade de interpretar a vontade dos deuses e o futuro dos indivíduos.

Capítulo 5 – Aprendendo a andar

REFERÊNCIAS

- [1] ALTERMANN, Wladyslaw; KAZMIERCZAK, Józef. Archean microfossils: a reappraisal of early life on Earth. *Research in Microbiology*, v. 154, n. 9, p. 611-617, 2003.
- [2] SOO, Rochelle M. et al. On the origins of oxygenic photosynthesis and aerobic respiration in Cyanobacteria. *Science*, v. 355, n. 6332, p. 1436-1440, 2017.
- [3] RIBEIRO, Tiago. *O Surgimento das Células Eucarióticas*. Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/biologia/o-surgimento-das-celulas-eucarioticas.htm>>.
- [4] SERAFIM, Teresa Sofia. *Os neandertais têm uma nova história (romântica) para contar e nós também entramos*. 2017. Disponível em: <<https://www.publico.pt/2017/10/11/ciencia/noticia/os-neandertais-tem-uma-nova-historia-romantica-para-contar-e-nos-tambem-entramos-1788383>>.
- [5] SIMONTI, Corinne N. et al. The phenotypic legacy of admixture between modern humans and Neandertals. *Science*, v. 351, n. 6274, p. 737-741, 2016.
- [6] HOPPE, Hans-Hermann. *Uma breve história do homem: progresso e declínio*. Trad. Paulo Polzonoff. São Paulo: LVM Editora. 2018.

The background of the page is a grayscale aerial photograph of a city with a distinct circular urban plan. A central circular plaza is surrounded by a ring of buildings, with numerous streets radiating outwards in all directions, creating a sunburst pattern. The overall appearance is that of a well-planned, symmetrical urban environment.

CAPÍTULO 6

A CIÊNCIA MODERNA

Capítulo 6 – A Ciência moderna

31 de dezembro - 23 horas, 59 minutos e 48 segundos - 4000 antes de Cristo

A origem da astronomia vem de uma região situada entre os rios Tigres e Eufrates: a Mesopotâmia [1][2]. Na Idade do Bronze, a Mesopotâmia abrigava sumérios, assírios e babilônios. Sendo os sumérios ao sul dos rios, os assírios ao norte do rio Tigre e os babilônios, na margem do rio Eufrates mais ao sul. Hoje, a Mesopotâmia se localiza na região do atual Iraque e Kuwait, além de se estender em pequenas porções da Síria, Turquia e Irã.

Contudo, podemos atribuir aos sumérios a fundação da astronomia. Com a escrita cuneiforme, isto é, inscrições de símbolos em tábuas de argila com o auxílio de uma cunha de madeira, impulsionou em muito o desenvolvimento desta ciência. Como verdadeiros arquivos, foram encontrados milhares e milhares destes pequenos tijolos com preciosas e precisas informações astronômicas. Analisando estes registros, nota-se que a astronomia para estes povos não era apenas observacional, mas também investigativa onde a participação da matemática se fez importante [2].

Devido às longas observações, o uso da matemática e os registros, conheciam o período de luação, em outras palavras, o intervalo de período o qual a Lua leva para apresentar a mesma fase. Também o tempo do movimento do Sol (ano) e a sua inclinação variável. Conheciam uma estreita região percorrida pelo Sol onde se encontram os planetas e a Lua. Perceberam que a velocidade da Lua ao redor da Terra era variável, como também conseguia prever os eclipses [1].

Para um melhor estudo do céu, iniciaram o agrupamento de estrelas. Principalmente ao longo da eclíptica, onde estes grupos formavam imagens de animais. Estes agrupamentos nós conhecemos por constelações e as constelações ao longo da eclíptica são conhecidas como as constelações do Zodíaco. Formando um círculo, dividiram-na em 12 partes iguais (ou 30° cada), dando origem aos signos [1].

Ao longo do tempo, com o aumento do conhecimento, foi possível a criação de calendário. No início não eram muito precisos o que levou ao longo do tempo uma aprimoração. A semana também é uma criação dos mesopotâmios e é utilizada até hoje. Derivando da astrologia, tinham a ideia de que os planetas eram deuses e tinham influência sobre os acontecimentos terrenos [1][2].

Todos esses conhecimentos astronômicos foram obtidos pelos mesopotâmios com persistentes e sistemáticas observações realizadas durante séculos e até milênios fazendo uso de aparelhos muito rudimentares [2].

Observando outros povos, também percebe se seus conhecimentos sobre astronomia. Como os maias em seus calendários e observatórios. Monumentos de pedra como Stonehenge e Newgrange que são essencialmente calendários astronômicos [1].

Capítulo 6 – A Ciência moderna

31 de dezembro - 23 horas, 59 minutos e 54 segundos - 1000 a.C.

Mas foram com os gregos onde a astronomia atingiu o seu ápice [1][2]. Fundamentando com a razão, afastou o misticismo da astronomia. Antes astronomia e astrologia eram tidas como sinônimos e com os gregos, iniciou-se uma mudança e uma separação gradual entre as duas áreas.

Com os gregos, a astronomia ganha uma importância cultural. Desenvolvendo a matemática e a astronomia em níveis que só seriam ultrapassados no século XVI. Em especial, uma herança dos povos da Mesopotâmia e Egito. A ideia do “cosmo” apareceu com os gregos, com o intuito de definir o Universo. Assim, inicia-se a Cosmologia que interessa pela constituição, formação, origem e fim do Universo [2].

A história da astronomia grega inicia-se com Tales de Mileto (623 a.C. - 548 a.C.), como um dos primeiros filósofos gregos. Acreditava que a água era a origem de todas as coisas, ainda que houvesse discussão entre seus discípulos. Quando jovem, viajou ao oriente, especificamente à Mesopotâmia e Egito, reunindo os conhecimentos e informações destes povos e trazendo a Grécia Antiga [1].

Contemporâneos de Tales, Leucipo e Demócrito foram os primeiros a tentar explicar a composição da matéria. Eles acreditavam de que a matéria seria finita e sua mínima parte seria o átomo. O átomo seria finito, inquebrável e único; e toda a matéria no universo seria composta por estes tijolos elementares.

Pitágoras de Samos (572 a.C. - 497 a.C.) defendia que os corpos celestes possuíam formato esférico e foi o primeiro a chamar os céus de “cosmos”. Acreditava que a Terra girava em torno de seu eixo devido às diversas observações. Fundador da escola pitagórica, ele e seus discípulos tinham interesses nas propriedades dos números. Desta forma, desenvolveram estudos não só na matemática, mas também na área da física. Segundo eles, o cosmo obedeceria às relações matemáticas. Evidenciado pelos fenômenos como: dia e noite, as estações, o movimento dos astros, o universo poderia ser chamado de cosmo, isto é, a ideia de ordem, beleza e harmonização [1][2].

Aristóteles de Estagira (384-322 a.C.) é considerado como um dos maiores filósofos da Antiguidade. Contribuindo com várias áreas do conhecimento, sua filosofia ganhou importância ao final da Idade Média dominando o pensamento ocidental. Sobre a cosmologia e astronomia, Aristóteles afirmava que o Universo seria finito e esférico e, onde a Terra ocuparia o seu centro [1][2].

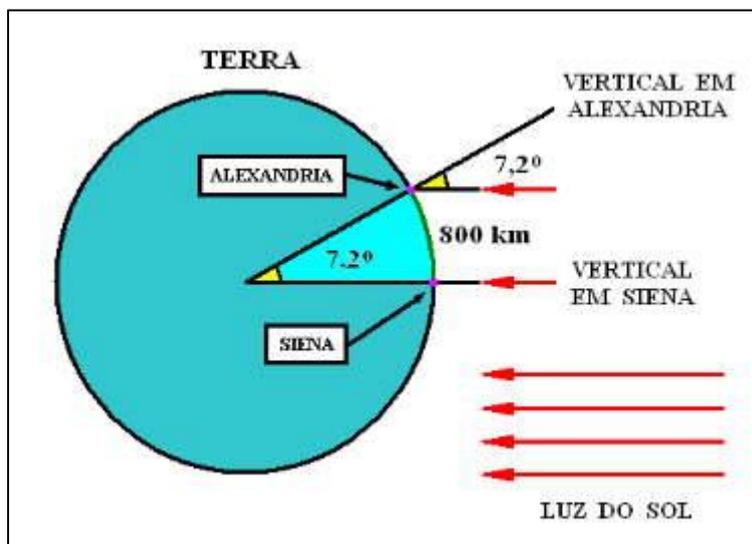
Surgiria ainda nesta época o modelo Heliocêntrico com Aristarco de Samos (310 a.C. - 230 a.C.). Quase todas suas obras foram perdidas, contudo, suas ideias são conhecidas devido às menções nos trabalhos de seus contemporâneos como Arquimedes, Plutarco e outros. Assim, defendendo a ideia da translação da Terra ao redor do Sol e a rotação em seu próprio eixo, Aristarco é o precursor do Heliocentrismo. Desta forma, antecedendo Nicolau Copérnico em quase dois milênios. Contudo, não fora bem aceito devido às insatisfatórias explicações de alguns fenômenos advindos do pensamento da época [1][2].

Ainda da escola de Alexandria, Eratóstenes de Cirênia (276-194 a.C.) foi o primeiro a medir o diâmetro da Terra. Diretor da Biblioteca de Alexandria,

Capítulo 6 – A Ciência moderna

Eratóstenes sabia que, na cidade de Siena, no primeiro dia do verão, ao meio-dia, a luz solar atingia o fundo de um grande poço, ou seja, o Sol a pino (seu ponto mais alto). Em outras palavras, a luz do Sol estava incidindo perpendicularmente à Terra em Siena. Enquanto em Alexandria, localizada ao norte de Siena, o mesmo fenômeno não acontecia. Medindo o tamanho da sombra de um bastão na vertical, Eratóstenes observou que em Alexandria, no mesmo dia e hora, o Sol estava aproximadamente 7 graus mais ao norte [1].

Figura 01: Cálculo realizado por Eratóstenes para medir a circunferência da Terra



Fonte: <https://bit.ly/2Wo6HUc>

A distância entre Alexandria e Siena era conhecida como de 5000 estádios, sendo o estádio uma unidade de distância usada na Grécia antiga. Eratóstenes sabia que 7 grau corresponde a $\frac{1}{50}$ de um círculo completo (360 graus). Alexandria deveria estar a $\frac{1}{50}$ da circunferência da Terra ao norte de Siena e a circunferência da Terra deveria ser 50 vezes a distância entre Alexandria e Siena (de outra forma, 50 vezes 5000 estádios). Se baseando por estimativas, Eratóstenes deve ter encontrado um valor com erro de 1% do encontrado atualmente [1][2].

Também da escola de Alexandria, Hiparco de Nicéia (190 a.C. - 120 a.C.) ao lado de Cláudio Ptolomeu, é considerado como um dos maiores astrônomos da era pré-cristã. Produzindo dezenas de obras sobre diversas áreas, em especial a Astronomia, das quais se perderam com o tempo. Assim, as informações ao seu respeito se fazem em citações de outros autores. Sobretudo, Ptolomeu que em suas obras o menciona diversas vezes. A invenção do astrolábio é atribuída a Hiparco, um instrumento com objetivo de determinar distâncias angulares e que fora muito utilizado até os séculos XVI durante as navegações. Construiu um catálogo com a posição no céu e a magnitude de mais de 850 estrelas. A magnitude, que especificava o brilho da estrela, era dividida em seis categorias, de 1 a 6, sendo 1 a mais brilhante, e 6 a mais fraca visível a olho nu [1][2].

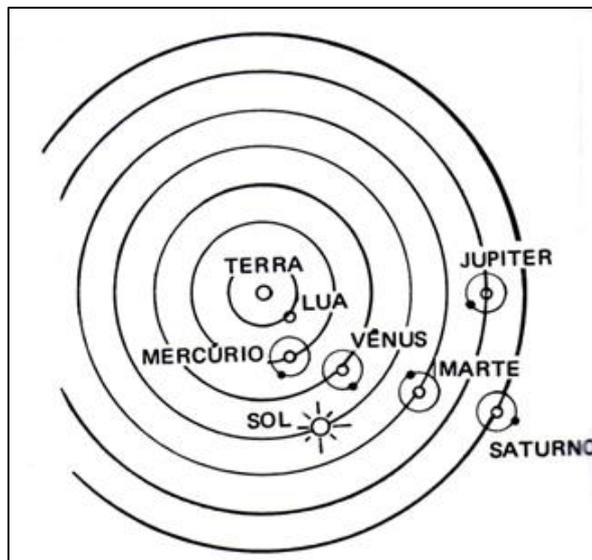
Capítulo 6 – A Ciência moderna

31 de dezembro - 23 horas, 59 minutos e 56 segundos - 0 à 500

Ainda na Antiguidade, porém no começo da Era Cristã, o último importante astrônomo que conhecemos: Cláudio Ptolomeu (85 a.C. - 165 a.C.). Vivendo em Alexandria, Ptolomeu confeccionou uma série com vários volumes sobre astronomia. Esta série é conhecida como Almagesto, e é a maior fonte de conhecimento da astronomia grega. Também, sob influência de Aristóteles e munido de dados observacionais, idealizou o Modelo Geocêntrico que foi usado até a Renascença, século XVI [1][2].

O Modelo Geocêntrico de Ptolomeu utilizava-se de representações geométricas do sistema solar, isto é, para explicar os diversos fenômenos recorria a diversas formas geométricas. Ptolomeu tinha como objetivo produzir um modelo que permitisse prever a posição dos planetas de forma correta. Ainda que houvesse uma margem de erro, o modelo de Ptolomeu se saía em parte coerente. Este e outros motivos levaram o modelo a ser usado por quase um milênio e meio [2].

Figura 02: Modelo Geocêntrico



Fonte: <https://bit.ly/2HIT8ED>

Capítulo 6 – A Ciência moderna

Depois de adentrar a Era Cristã, com o último grande astrônomo, a Astronomia não suporta mais que alguns séculos para se esfarelar com o tempo. Durante a Idade Média, a produção do conhecimento ficou estagnado, chegando perto de um esquecimento. Ainda que houvesse o começo das primeiras universidades, o desenvolvimento militar, da arquitetura, a ciência em si não progredia. Contudo, com as invasões islâmica na Europa contribuem para começar a reacender uma brasa que por hora estava quando se esgotando. Os árabes ao descobrir os textos gregos, se fascinaram com o conhecimento, fazendo-os a assimilar em sua própria língua. À vista de um renascimento cultural, ainda não haverá inovações. Este renascimento irá somente ganhar forças ao final da Idade Média [2].

31 de dezembro - 23 horas, 59 minutos e 59 segundos - 1500 à 2000

“E pur si muove!”

Galileo Galilei (1564-1642)

Ao final da Idade Média se inicia o pensamento escolástico. Isto é, a fusão do elemento grego com o cristão e a necessidade de se ter centro de conhecimento. Em outras palavras, a necessidade do surgimento da Universidade. Este movimento surge a partir da redescoberta de Aristóteles, quando árabes pertencentes da Igreja Católica promovem a tradução dos textos gregos do árabe para o latim [1][2].

Com o início da Renascença no século XVI, o conhecimento moderno agora toma um novo rumo. Se inicia uma fase de quebras de paradigmas e o primeiro a romper com os mesmos seria um monge polonês. Nicolau Copérnico (1473-1543) estudando na Itália, consegue acessar as idéias de Aristarco, em específico a Teoria Heliocêntrica. “De Revolutionibus Orbium Coelestium”, livro lançado no ano de sua morte, Copérnico defende que o Universo é composto por 7 esferas concêntricas. Colocando o Sol no centro do sistema, dispendo os planetas em ordem de distâncias e com isso em suas respectivas órbitas. Relacionou que quanto mais perto do Sol, a velocidade orbital do planeta é maior e com isso o movimento retrógrado (laçada) era facilmente explicado. Contudo, ainda que não era bem aceita, o sistema de Copérnico fornecia explicações para os fenômenos, porém, tinha dificuldades para prever as posições de forma precisa [1][2].

Tycho Brahe (1546-1601), um astrônomo dinamarquês, realiza fantásticos trabalhos (antes mesmo da invenção do telescópio) em catalogar e mapear os céus. E devido a excelência de seus trabalhos, conseguiu construir o seu próprio observatório com patrocínio do rei da Dinamarca, Frederic II (1534-1588). Contudo, com a morte do rei e o desentendimento com o sucessor, Tycho perdeu os seus privilégios e foi forçado a sair da Dinamarca. Seus trabalhos eram de grande importância para época devido às navegações, que encontravam nas estrelas o seu mapa para orientação e navegação, como a alta precisão de seus estudos [1].

Capítulo 6 – A Ciência moderna

Ao longo dos próximos 20 anos, Kepler tentou de várias soluções até encontrar aquelas que correspondiam verdadeiramente a realidade. Hoje conhecidas como as Leis de Kepler, são enunciadas da seguinte maneira: 1) a Lei das órbitas elípticas: a órbita de cada planeta é uma elipse, com o Sol em um dos focos. Como consequência de a órbita ser elíptica, a distância do Sol ao planeta varia ao longo de sua órbita; 2) a Lei das áreas: a reta unindo o planeta ao Sol varre áreas iguais em tempos iguais. O significado físico desta lei é que a velocidade orbital não é uniforme, mas varia de forma regular: quanto mais distante o planeta está do Sol, mais devagar ele se move; 3) a Lei harmônica: o quadrado do período orbital dos planetas é diretamente proporcional ao cubo de sua distância média ao Sol. Esta lei estabelece que planetas com órbitas maiores se movem mais lentamente em torno do Sol e, portanto, isso implica que a força entre o Sol e o planeta decresce com a distância ao Sol [1].

Contemporâneo de Kepler, na Itália, Galileu Galilei (1564-1642) contribuía para a ciência moderna de forma significativa com estudos da mecânica e na construção de telescópios. O italiano colaborou para estabelecer os conceitos importantes de inércia e gravidade, como também estudos sobre a queda livre e pêndulos. Inaugurou a astronomia observacional, contudo não é a ele creditado a invenção do telescópio. Munido de seu telescópio, Galileu realizou investigações importantes como a descoberta do planeta Júpiter e seus satélites naturais, a análise da superfície da Lua e que identificou que os planetas também apresentam fases semelhantes ao que ocorre com a Lua. Os resultados de suas pesquisas davam suporte para o Modelo Heliocêntrico, cuja defesa lhe custou a perseguição pela inquisição romana sob acusação de heresia. Situação que o obrigou a se retratar e ficar sob prisão domiciliar até o final de sua vida. Galileu foi perdoado pela Igreja em 1992 [1].

No mesmo ano de morte de Galileu, nasceu na Inglaterra, Isaac Newton (1642-1727). Considerado um dos maiores cientistas de todos os tempos, publica em 1687 *Philosophiae naturalis principia mathematica* (“Princípios Matemáticos da Filosofia Natural”). Sendo a sua *Magnum Opus* (e um dos livros mais influentes do mundo), nesta obra Newton descreve as leis do movimento e a atuação da Força. Aplicando tanto a colisões, pêndulos e projéteis, como também a corpos celestes. Newton também contribuiu em outras áreas como na óptica com estudos sobre a luz, na matemática com o cálculo infinitesimal (paralelamente aos estudos do alemão Gottfried Wilhelm von Leibnitz [1646-1716]) e na astronomia com a criação do telescópio. Em especial, no terceiro volume do Principia, Newton concebe a teoria da gravitação universal e assim, une os céus e a Terra pela primeira vez. Dando um passo importante para o entendimento da primeira força fundamental da natureza [1].

Outro ponto importante seria a unificação da Eletricidade com o Magnetismo. O conhecimento sobre forças de origem elétrica e magnética vem desde o começo da humanidade, contudo, foram os gregos os primeiros a racionalizar sobre estas forças. O pioneiro nestes estudos foi William Gilbert (1544-1603) na Idade Média, descrevendo a força elétrica a partir de materiais friccionados. Benjamin Franklin (1706-1790) foi um dos primeiros a conseguir armazenar cargas por meio de um experimento com uma pipa. Charles Coulomb (1736-1806) foi o primeiro a quantificar a força elétrica utilizando uma balança de torção e expressá-la matematicamente – Lei de Coulomb. Hans Christian Orsted (1777-1851) em 1820, após diversos e repetidas experiências se utilizando de correntes elétricas e agulhas imantadas, consegue evidenciar que fenômenos elétricos e magnéticos estavam relacionados um com o outro. Michael Faraday (1791-1867) em direção oposta à de Orsted, demonstrou

Capítulo 6 – A Ciência moderna

experimentalmente que uma força magnética é capaz de gerar uma corrente elétrica. Utilizando-se dos trabalhos de Gauss, Faraday e Ampère, James Clerk Maxwell (1831-1879) reconheceu similaridades entre os dois fenômenos e conseguiu descrevê-los por meio de quatro equações – Equações de Maxwell. Tais empreendimentos possibilitaram o surgimento do Eletromagnetismo e, na continuidade a previsão da existência de ondas eletromagnéticas [3].

Em 1650, Otto von Guericke (1602-1686) construiu a primeira bomba de vácuo, o que representou para muitos o início da Termodinâmica. O calor sempre foi associado ao fogo, entretanto, hoje a Termodinâmica é entendida como fenômeno relacionado a troca de calor em sistemas físicos. Seu objeto de estudo vai além do fogo, envolvendo o comportamento de grandezas físicas como pressão, temperatura e volume nos sistemas. Essa ampliação do entendimento da Termodinâmica oportunizou o aprimoramento das máquinas térmicas e representou um importante elemento na Revolução Industrial. Thomas Savery (1650-1715) criou a primeira máquina à vapor, James Prescott Joule (1818-1889) conseguiu em seus experimentos expressar a igualdade entre trabalho mecânico e calor. William Thomson (1824-1907), também conhecido como Lord Kelvin, propôs a existência de um nível mínimo de energia para a matéria o qual seria zero na escala Kelvin. Sadi Carnot (1769-1832), Ludwig Boltzmann (1844-1906), Julius R. von Mayer (1814-1878) e Rudolf Clausius (1822-1888) contribuem para as formulações das Leis da Termodinâmica, que fala sobre a conservação de energia, equilíbrio térmico e entropia [4].

Em especial, durante os séculos XVIII e XIX surgem as bases filosóficas para as ideologias coletivistas e totalitárias. Onde o resultado culminará nos regimes socialistas, fascistas e nazistas do século XX. Ainda que se acredita que sejam distintos, estes regimes apresentam, em base, os mesmos objetivos. Podendo ser considerados como “irmãos briguentos”, suas divergências aparecem em poucas ideias, contudo se afluem no modus operandis [5].

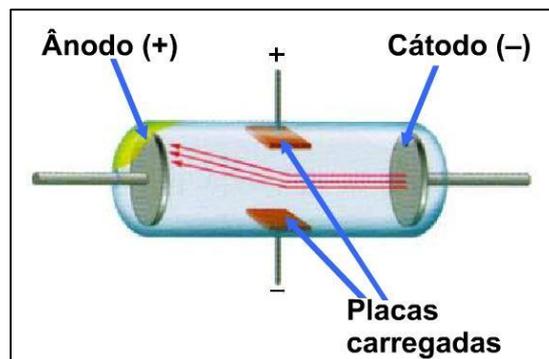
Ideias sobre a matéria foram retomadas em 1803 por John Dalton (1766-1844) em sua Teoria Atômica, também conhecida como “Modelo Bola de Sinuca”. Nessa teoria Dalton infere que os elementos químicos são partículas discretas, indivisíveis e que possuem característica específicas. Todos os átomos de um mesmo elemento são idênticos, sendo o peso a única característica que os diferencia. Segue Dalton afirmando que os compostos químicos são formados pela união de átomos de diferentes elementos [6]. Nesse contexto, assume relevância o experimento de eletrólise realizado por Faraday que possibilitou atribuir que os átomos possuem carga elétrica e que subsidiou os estudos de Dmitri Mendeleev (1834-1907) ao formular uma classificação para os átomos - Tabela Periódica dos Elementos.

Em 1894, J. J. Thompson (1856-1940) trabalhando com o tubo de raio catódicos descobriu o elétron. O tubo de raios catódicos consiste em uma ampola de vidro com vácuo em seu interior, acrescido de dois eletrodos nas extremidades. Junto com isso, é fornecida uma corrente elétrica de alta voltagem e o resultado é a produção de raios. Estes raios são um fluxo de partículas carregadas eletricamente. Depois de três anos analisando o experimento, Thompson sugeriu que esses raios eram partículas menores do átomos e aceitar que havia descoberto uma nova partícula: o elétron. À vista disso, um novo modelo atômico fora formulado: o “Pudim de Passas”. Este nome é em virtude da semelhança com esse doce que era comum na época. Na analogia o centro

Capítulo 6 – A Ciência moderna

do pudim é o núcleo do átomo (positivo) e as “passas” seriam o elétron (negativo) que orbita ao redor [6].

Figura 03: Tubo de raios catódicos



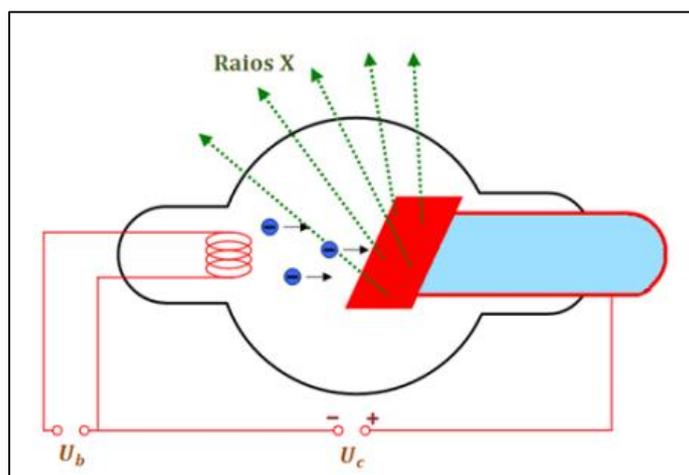
Fonte: <https://bit.ly/2TFY9oC>

Quase na virada para o século XX, a Física Atômica e Nuclear começa a aparecer. O alemão Wilhelm Roentgen (1845-1923), ao final do ano 1895, trabalhando com um tubo de raios catódicos procurava encontrar radiação de alta frequência como também observar um estranho fenômeno dos raios catódicos que escapavam do tubo. Este estranho fenômeno já fora observado por outros físicos, contudo não lhe deram a mesma atenção assim como já era conhecido que estes mesmos “raios fugitivos” eram capazes de iluminar uma placa cuja superfície já havia recebido material fosforescente. Um detalhe que surpreendeu Roentgen foi que, mesmo com o equipamento encoberto por um papelão preto, o fenômeno ainda acontecia. As características que estes raios traziam era de: produzir luminescência em certos materiais fluorescente (independente da face voltada ao equipamento), conseguir impressionar chapas fotográficas, ser invisível ao olho humano, não sofrer desvio por ímãs e ter um alto poder de penetração na matéria. Pelo total desconhecimento da natureza deste raios, Roentgen deu o nome de “raios x” (um tempo depois, eles foram rebatizados de “raios Roentgen”). Hoje sabemos que, na produção de raio-x, o fenômeno que ocorre pelo choque de um feixe de elétrons contra uma superfície (vista macroscópica), onde o elétron libera energia na forma eletromagnética [6][7].

Com esta descoberta, Roentgen se voltou seriamente sobre o fenômeno e passou ao longo de semanas buscando entender este fato. Em menos de dois meses de investigações, Roentgen fizera o primeiro comunicado de suas observações e dados obtidos em um artigo publicado nos últimos dias de dezembro de 1895. Na primeira semana do ano de 1896, providenciou separatas de seu trabalho e enviou à diversos físicos do mundo. Assim que seu trabalho foi lido e reproduzido, Roentgen tornou-se famoso. E por este trabalho foi laureado com o prêmio Nobel de 1901 [7][8].

Capítulo 6 – A Ciência moderna

Figura 04: Produção de raios x



Fonte: <https://bit.ly/2FmoY4b>

Os estudos sobre a Física Nuclear e Atômica estão intimamente ligados pela série de fatos históricos que contribuíram para as suas descobertas. Pois, tão logo a divulgação do trabalho de Roentgen, o fenômeno foi amplamente discutido em diversas academias de ciências. Assim, ainda no mês de janeiro do ano de 1896, Henri Poincaré (1854-1912) fez um relato verbal à Academia Francesa de Ciências e se mostrou interessado pelo assunto e levantou uma hipótese. Na experiência realizada por Roentgen, quando aplicada uma descarga elétrica no tubo de raios catódicos e o mesmo começa a emitir raios x, a parede de vidro do tubo de frente ao cátodo ficava luminescente e era naquela região que se originava os raios x. Poincaré conjecturou que existia uma relação entre os raios x e a fluorescência do vidro, de tal forma que, se os tubos fossem capazes de emitir tal radiação, provavelmente outros materiais tivesse a mesma propriedade. Esta hipótese foi verificada e pouco tempo depois foi “confirmada” com alguns experimentos, contudo, com os conhecimentos atuais sabemos que não existe tal relação. Porém, esta pista falsa tem uma importância pois serviu como guia para descobertas futuras [9].

Testando a conjectura de Poincaré, chegaram a algumas conclusões como: um material fosforescente poderia emitir os raios x mesmo sem o tubo de raios catódicos, um material poderia emitir tal raios apenas com a exposição aos raios solares e também no escuro após a exposição. Desta forma, foram testados diversos materiais para determinar se era de validade geral e dentro dos vários experimentos realizados, um em especial teve um resultado inesperado.

Henri Becquerel (1852-1908) trabalhando com a relação dos raios x e a luminescência, sabia que o sal de urânio ficava fluorescente sob luz do sol, porém se necessitava saber se era também emissor da tal radiação X. No seu primeiro artigo sobre o assunto chegou às mesmas conclusões de seus predecessores, contudo na sua segunda pesquisa foi diferente. Nos dias em que esperava realizar as experiências, o clima da região não favoreceu, o Sol aparecia de forma irregular. O que levou a Becquerel a guardar o material do experimento. Em uma gaveta fechada, colocou as chapas fotográficas com seus envoltórios e o sal de urânio. Como a porção de sal de urânio não estaria sendo iluminada pelo Sol, não iria ficar fluorescente e assim, não

Capítulo 6 – A Ciência moderna

iria impressionar a chapa fotográfica. Passados alguns dias, ao analisar a chapa fotográfica, Becquerel percebeu que ela estava impressionada e levou ele a deduzir que o sal de urânio não emitia a radiação X, porém, emitia outro tipo de radiação com poder de penetração diferente entretanto também desconhecida. Silvanus Phillips Thompson (1851-1916) quase que simultaneamente com Becquerel, chegou às mesmas conclusões. A explicações de ambos consiste que, estes materiais após excitados, possuíam uma fosforescência longa. Thompson deu o nome de “hiperfosforescência” a este fenômeno, porém futuramente fora substituído por radioatividade [9].

O termo “radioatividade” fora cunhado primeiramente por Marie Skłodowska Curie (1867-1934) e não só o conceito, como também a inauguração de uma nova área de pesquisa: a radioatividade. Assim, com a descoberta dos raios x, a guia pela conjectura de Poincaré e da descoberta da hiperfosforescência, já em 1897 os experimentos com o urânio não despertavam tanto o interesse. Nesta época, um ponto dos trabalhos era a relação dos raios x com descargas elétricas e por isso, alguns métodos elétricos foram desenvolvidos bem como a observação de “raios secundários”, isto é, raios semelhantes, porém menos penetrantes, oriundos do raios x quando o mesmo colidia com metais [9][10].

Neste contexto, Marie Curie ao final do ano de 1897 buscou o seu doutoramento em física com uma pesquisa sobre a radiação do urânio. Uma pesquisa padrão, que buscava um estudo sistemático sobre a condução elétrica do ar sob influência dos raios do urânio (ou raios Becquerel). Os primeiros testes foram basicamente de testes e familiaridade com os equipamentos, sobretudo confeccionado por Pierre Curie (1859-1906), marido de Marie Curie. No primeiro e segundo mês, reproduções de experiência já realizadas com os raios x, e depois, testada com o urânio. Mas Curie registrou alguns pontos nestes trabalhos de rotina: i) aquecer a amostra não aumenta a intensidade da radiação do urânio e, ii) a iluminação e irradiação com raios x também não altera as propriedades da amostra de urânio. Curie havia aceitado as conclusões de Becquerel e Thompson, então podemos acreditar que, este primeiros experimentos visavam testar se a radiação do urânio era um tipo de fosforescência. Marie Curie começou a questionar o conceito de hiperfosforescência pois o urânio não se encaixava nas propriedades dos materiais fosforescentes. Isto é, os dois pontos assinalados por Curie tinham forte influência sobre materiais fosforescente ao passo que não tinham nenhuma influência com o urânio [9][10][11].

Seguindo com a sua pesquisa, Curie testou uma variedade de substâncias disponíveis a fim de comparar com o urânio, porém observou que nenhuma tinha as mesmas propriedades. Logo depois, examinou um mineral de urânio (pechblenda) e que, como previsto, exibia os mesmo efeitos que o urânio puro. Contudo, um resultado chamou-lhe a atenção: a corrente elétrica sob influência da pechblenda era maior que a do urânio. Becquerel já havia analisados outros compostos e chegado à conclusão que sua atividade era menor do que a substância pura, assim, o esperado que a atividade da pechblenda fosse menor. Após diversos e repetidos teste, a pechblenda ainda se mostrava com atividade maior que a do urânio. Este fato capturou a sua atenção e que levou a testar mais substâncias disponíveis no momento, na qual nenhuma mostrou a mesma atividade. Desta forma, Marie Curie suspeitou que poderia haver, na pechblenda, uma outra substância que também emitia raios semelhantes ao urânio e ainda não fora descoberta [10][11].

Capítulo 6 – A Ciência moderna

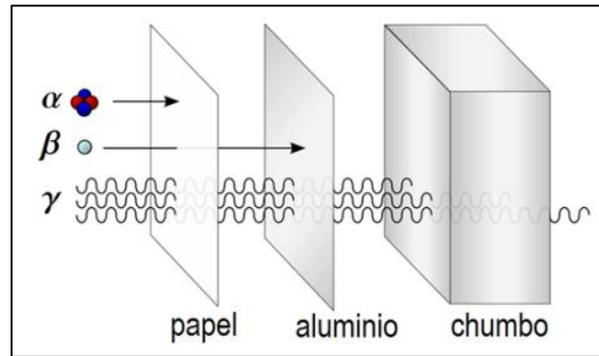
Na composição da pechblenda continha, além do urânio, outras substâncias em pequena quantidade, sendo uma delas o tório. Isto levou Marie Curie a examinar outros minerais com tório, nióbio e outros elementos. O resultado obtido mostrou que o tório continha atividade semelhante ao urânio, enquanto as outras substância não. Esta conclusão não foi exclusiva de Curie, outros pesquisadores obtiveram mesmas observações. Todavia, fortaleceu a hipótese que este fenômeno seria de origem atômica, uma vez que, ocorria com a presença de determinados elementos químicos e era independente das propriedades moleculares. Contudo, esta explicação conflitava com os conhecimentos sobre minerais da época, pois, no caso da própria pechblenda e da calcolita a sua atividade era superior ao urânio e tório em condições puras [10].

Desta forma, Marie Curie procurou esclarecer este ponto sintetizando o fosfato duplo de urânio e de cobre presentes na calcolita. A calcolita artificial se comportava de maneira “tradicional”, isto é, com sua atividade menor que a do urânio puro. Tal fato apoiava a hipótese atômica e sugeria que, na calcolita natural, haveria alguma substância desconhecida com atividade maior que a do urânio. Esta hipótese conduziu as pesquisas restantes e levou a hipótese da existência de novos elementos químicos. O primeiro fora o polônio, nome dado em referência ao país de Marie Curie e o segundo, o rádio. Devido aos conhecimentos químicos da época, na primeira comunicação sobre a existência do polônio, o casal Curie ainda não o tinha em mãos. O processo de extração destes elementos da pechblenda era difícil, sobretudo do rádio. Era necessário diversos processos químicos e ainda assim, não se tinha de fato o elemento em si. A grande evidência era que, o polônio deveria existir junto ao bismuto, pois o mesmo não apresentava atividade radioativa. O mesmo acontecia com o rádio, encontrado junto ao bário, também não radioativo. Levou algum tempo até que se tivesse de fato o polônio e o rádio isolado. Todavia, em 1903 Henri Becquerel junto com o casal Curie foram agraciados com o prêmio Nobel. Marie Curie voltaria ganhar mais tarde, porém em química, no ano de 1911 [11][12][13].

Ainda na década de 1890, Thompson também analisava os raios x e, sobretudo, o seu poder de penetração. Thompson teve ajuda de Ernest Rutherford (1871-1937), físico neozelandês recém chegado ao laboratório Cavendish. Rutherford já havia identificado que os raios x produzia partículas carregadas, que em pouco tempo se recombinavam e formavam moléculas neutras. A estas partículas, Rutherford deu o nome de raios alfa (α) e raios beta (β). Em pouco tempo, Becquerel e outros físicos observaram que estes raios sofriam uma deflexão quando estavam presente a um campo magnético, um fato que corroborou com a hipótese de Rutherford [14].

Capítulo 6 – A Ciência moderna

Figura 05: Tipos de radiação e sua penetração na matéria



Fonte: <https://bit.ly/2Fm0Y4b>

Não obstante, ainda sobre a radiação, Paul Villard (1860-1934) identificou um terceiro tipo de radiação e deu o nome de raios gama (γ). Diferente das outras, os raios gama não sofrem deflexão por campos magnéticos, contudo, tinha um poder de penetração maior do que as anteriores. Hoje nós sabemos que os raios alfa são partículas de hélio duplamente ionizados, os raios beta são elétrons e os raios gama são ondas eletromagnéticas [14].

Outro problema que despertava a atenção da física neste período era a “catástrofe do ultravioleta”. O contexto da época não possuía respostas satisfatórias ao problema, aliás, o criava. Um objeto em temperatura ambiente emite radiação térmica e esta aumenta a sua emissão conforme o acréscimo de temperatura. As tentativas de modelagem matemática para este fenômeno levavam à conclusão de que, quanto maior a temperatura maior a emissão e especialmente de forma contínua. De uma maneira prática, ao aquecer um metal o mesmo irá emitir radiação. Se observamos, com o aumento de temperatura, o metal irá começar a mudar de cor. O metal antes que estava em condições normais, irá se apresentar na cor rubra, laranja, amarelo e assim sucessivamente com o aumento da temperatura. Podemos imaginar que, em tal ponto o metal irá emitir todas as cores (branco) e com isso todos os comprimentos de onda. De fato, isto não ocorre. Não ocorre a emissão infinita de radiação.

Este problema foi solucionado por Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858-1947) e inaugurando assim a física quântica. Planck rompe com a teoria clássica inferindo que a radiação não obedecia às leis clássicas da Física. Assim, propõe que a energia irradiada por um objeto a certa temperatura não era de forma aleatória mas em “pacotes” de energia discretos, o *quantum*. Ou seja, o metal incandescente somente consegue emitir definidos comprimentos de onda, isto é, uma radiação finita. Planck nega o caráter contínuo da radiação e assume que as trocas de energias ocorrem em doses bem definidas. E sobretudo, as conclusões de Planck concordam com os dados experimentais. Um trabalho audacioso e que até mesmo o próprio Max Planck não estava bem convencido da solução, contudo, foi por este trabalho que foi laureado com o Prêmio Nobel de física de 1918 [14].

Em 1905, Albert Einstein publica cinco artigos. Considerado o seu *annus mirabilis*, os trabalhos envolvem a interação da matéria e radiação, dimensões moleculares, o movimento browniano e as noções de tempo e espaço. Em 1921,

Capítulo 6 – A Ciência moderna

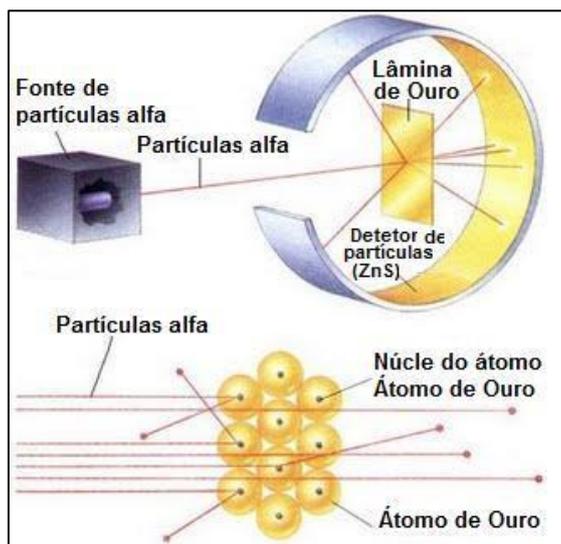
Einstein recebeu o prêmio Nobel de física por sua explicação para o fenômeno do efeito fotoelétrico. O efeito consiste na emissão de elétrons por uma placa metálica quando a mesma incide sobre luz. Utilizando-se da idéia do quantum, Einstein propôs que a luz interagia com a matéria de forma corpuscular, assim, ao incidir sobre uma placa metálica, cedia parte da sua energia. A emissão do elétron só ocorre em comprimentos de onda bem definidos, portanto, para o elétron ser arrancado do metal, a luz, necessariamente, precisa ter uma quantidade de energia específica. Caso contrário, o efeito não ocorria [14].

Também dentro deste conjunto de trabalhos, Einstein iniciou os estudos sobre a Teoria da Relatividade, o que acaba lhe consagrando na história. A teoria da relatividade muda significativamente a maneira de pensar grandezas como espaço, tempo, energia e matéria. Einstein em dois momentos trabalhou na teoria da relatividade, sendo possível distinguir ela em duas partes: a relatividade restrita publicada em 1905 e, a relatividade geral publicada em 1915. A teoria da relatividade restrita trata de fenômenos inerciais, ou seja, com ausência da aceleração, propõe a equivalência entre massa e energia e a dilatação temporal e dimensional, admitindo assim, que espaço e tempo não são absolutos. Assim, quebrando um paradigma iniciado com Galileu e Newton e, sobretudo, conciliando a mecânica newtoniana com o eletromagnetismo de Maxwell [15].

Ainda sobre a matéria, Ernest Rutherford ganharia um novo destaque. Mesmo após ganhar o Nobel, colaborou significativamente na formulação do modelo atômico planetário. Realizando o experimento de lançar partículas alfa sobre uma fina folha de ouro que estava em uma sala coberta por folhas de sulfeto de zinco. Nos vários testes realizados, Rutherford conseguiu observar que grande parte das partículas atravessavam a folha de ouro e muito poucas tinha um desvio na sua trajetória. Tal feito provocou discussões em torno de a possibilidade da matéria ser constituída de um grande espaço vazio. De uma forma análoga, Rutherford formulou outro modelo atômico, inferindo uma analogia com um sistema planetário, onde no núcleo estariam os prótons (positivo) e se movimentando de forma circular ao redor desse núcleo estariam os elétrons (negativo) [14].

Capítulo 6 – A Ciência moderna

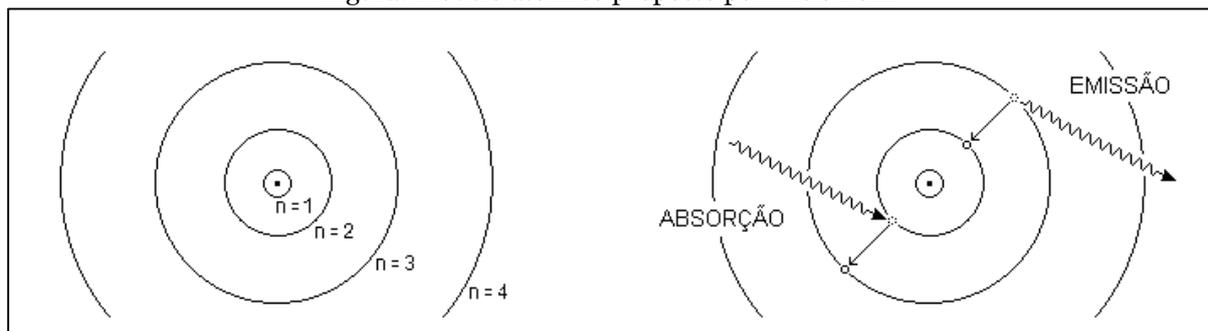
Figura 06: Experimento de Rutherford



Fonte: <https://bit.ly/2YdhQCT>

Aluno de Rutherford, Niels Henrick David Bohr (1885-1962), um físico dinamarquês propõe a quantização do átomo. Bohr buscava solucionar os problemas deixados pelos modelos atômicos anteriores, sobretudo de seus professores: Thomson e Rutherford. Com o modelo planetário, onde os elétrons transitam em órbita ao redor do núcleo, o pensamento da época direcionava a concluir que o mesmo modelo seria instável, pois ao estar em órbita, o elétron necessariamente iria emitir radiação, perder energia e colidir com o núcleo. De fato, isto não ocorre. A solução dada por Bohr fora de que, o elétron em sua órbita não emite radiação e, somente este fenômeno iria ocorrer caso houvessem transições de níveis, isto é, o elétron indo de uma camada para outra. Especificamente, o elétron para se deslocar de uma camada inferior para uma superior, seria necessário absorver energia (salto quântico), enquanto, ao contrário, isto é, indo de uma camada superior para uma inferior, deveria se desfazer (emitir) de uma porção de energia. A grande sucesso de Bohr foi a explicação dos dados sobre o espectro do hidrogênio, apesar da introdução da quantização não tivesse uma fundamentação sólida [14].

Figura: Modelo atômico proposto por Niels Bohr



Fonte: <https://bit.ly/2T7zPXP>

Capítulo 6 – A Ciência moderna

Einstein voltaria em 1915 com a Relatividade Geral, investigando os sistemas acelerados. Nessa teoria é retomada e questionada as discussões sobre a gravidade, especialmente as noções galileana e newtoniana de a gravidade é uma força entre corpos. Para Einstein, a gravidade é fruto da deformação do espaço-tempo e como consequência temos que sob influência de um campo gravitacional, a noção de tempo e espaço flui de forma diferente para diferentes referenciais, também, pelo espaço estar curvado a luz sofre deflexão na sua trajetória. Uma das previsões de Einstein que derivada da relatividade geral é a existência de ondas gravitacionais. Na relatividade geral, o espaço-tempo pode ser olhado na forma de um tecido, e este tecido pode ser curvado e distorcido. A partir disto, esta deformação pode se propagar pelo tecido, o que Einstein denominou de “ondas gravitacionais”. Isso leva a considerar que a forma do universo depende da quantidade de matéria existente nele [15].

Pouco tempo depois, novamente Rutherford, iria propor a existência do próton. Utilizando-se do mesmo experimento, agora a novidade era lançar partículas alfas em sobre o nitrogênio e o resultado que Rutherford encontrou foi: a combinação do nitrogênio com as partículas alfa formava oxigênio e hidrogênio. A conclusão dele foi de que o hidrogênio tinha origem do oxigênio, de tal forma, que o oxigênio poderia se desintegrar e formar novos elementos, tal como o hidrogênio. Assim, este hidrogênio poderia ser uma partícula elementar que fazia parte do núcleo [14].

Após a proposta do próton, em 1932, James Chadwick (1891-1974) identifica o nêutron. Mais uma vez sob a proposta de Rutherford, pois, o mesmo ao realizar o seu experimento, apontou que encontrará um isótopo do oxigênio. Este oxigênio teria uma partícula a mais com a mesma massa do próton, porém neutra. Assim, Chadwick bombardeou amostras de berílio com partículas alfa. Este processo tinha como resultado uma radiação neutra capaz de arrancar prótons da parafina. Chadwick testou então com outras amostras e identificou uma partícula com massa um pouco maior do que a do prótons, como proposto por Rutherford [14].

Na década de 1920 seria inaugurada a Mecânica Quântica. Formulada primeiramente por Werner Karl Heisenberg (1901-1976) com a mecânica matricial, onde como o nome sugere, usava matrizes para representar grandezas física. Também auxiliou com a formulação do Princípio da Incerteza, já discutido. Um segundo nome foi Erwin Rudolf Josef Alexander Schrödinger (1887-1961) com a famosa equação que leva o seu nome. Schrödinger usa uma abordagem ondulatória, incluindo o postulado de Louis-Victor-Pierre-Raymond, mais conhecido por Louis de Broglie (1892-1987), a famosa dualidade onda-partícula.

Haveria ainda uma terceira abordagem com o inglês Paul Adrien Maurice Dirac (1902-1984), incluiu a relatividade especial na sua formulação. A sua principal contribuição foi a previsão da antimatéria, especialmente do pósitron em 1932 descoberto por Carl David Anderson (1905-1991).

Também houve a descoberta da radioatividade artificial por Frédéric e Irène Joliot Curie (filha do casal Curie). Núcleos pequenos, porém pesados, como por exemplo o excesso de nêutrons, pode realizar processos radioativos tal como núcleo grandes. O novo casal Curie bombardearam o alumínio com partículas alfa, obtendo um isótopo radioativo de fósforo e provocando emissão de nêutrons [16].

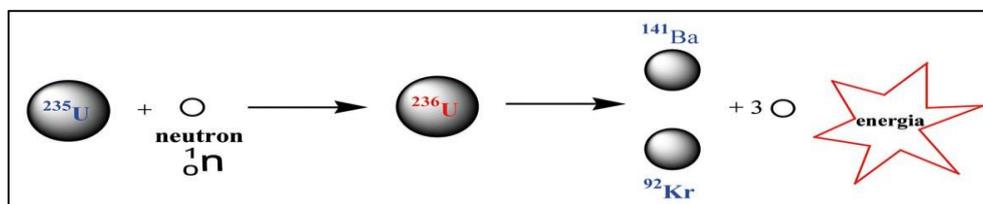
Capítulo 6 – A Ciência moderna

Enrico Fermi (1901-1954), um professor que de Roma atravessou o Atlântico para se estabelecer em Chicago, foram um dos principais nomes para a física nuclear. Quando descoberto o nêutron, Fermi começou a realizar diversos experimentos que consistiam no bombardeio de nêutron em núcleo, e desta forma, provocando várias reações. Também foi Fermi o primeiro a construir um reator nuclear, usando o processo de reação em cadeia [16].

Usando a ideia de bombardeamento por nêutron, Otto Hahn (1879-1968) e Fritz Strassman (1902-1980) realizaram a fissão do urânio em Berlim. O urânio 235, quando bombardeado com nêutrons, dava origem a núcleos de criptônio e bário. Muito mais leves que o urânio, o processo também libertava nêutrons. Contudo, a explicação para este fenômeno ocorreu por uma mulher, Lise Meitner (1878-1968) e o seu sobrinho, Otto Frisch (1904-1979). O urânio ao receber o nêutron em seu núcleo ficava instável, liberava energia em forma de calor e radiação e se dividia em elementos mais leves. Junto com os elementos leves produzidos, havia liberação de nêutrons de alta energia dos quais poderiam introduzir-se em outros núcleos de urânio e assim ocasionando uma reação em cadeia de fissões nucleares [16].

Então, podemos definir a fissão nuclear como um processo onde os átomos grandes sofre resultando na sua fragmentação. Ao contrário da fusão, onde existe a produção de elementos mais pesados, na fissão ocorre a produção de elementos mais leves. Utilizando o urânio e o plutônio como exemplo, ao absorverem o nêutron em seus núcleos, os átomos adquirem um estado de excitação. Passado um curto período, o núcleo de rompe e se dividem em fragmentos. Estes fragmentos são constituídos de elementos mais leves como também de partículas e radiação.

Figura 08: Fissão do urânio 235



Fonte: <https://bit.ly/2OgZEUD>

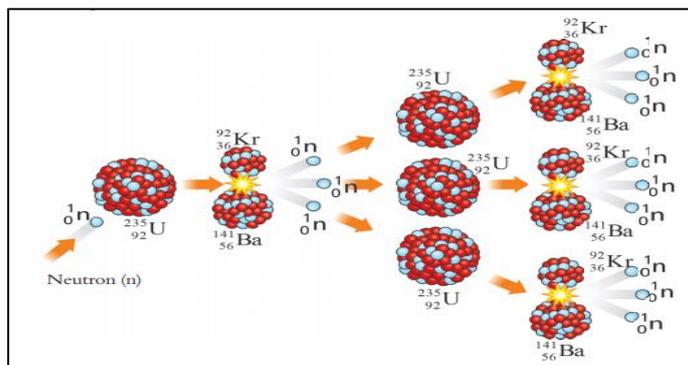
Durante a Segunda Guerra Mundial, a Alemanha ciente dos estudos sobre a fissão nuclear e o seu enorme potencial de destruição, organizou forças para a construção de uma bomba atômica. Em virtude das relações de amizade entre os cientistas da época esta informação foi vazada. Com a informação de que a Alemanha poderia ter em mãos uma bomba atômica, Albert Einstein de viu obrigado a escrever uma carta ao presidente dos Estados Unidos, Franklin Roosevelt, alertando sobre o perigo da bomba atômica em poder dos nazistas e a consequente derrota na guerra [16].

A carta de Einstein culminou na criação do Projeto Manhattan, o qual foi um projeto que reuniu cientistas para a confecção da bomba atômica antes dos nazistas. Com base no deserto de Los Alamos, o Projeto Manhattan resultou em três bombas

Capítulo 6 – A Ciência moderna

atômicas: Trinity, Fat Man e Little Boy. A bomba Trinity foi testada no deserto, enquanto a Little Boy e Fat Man foram lançados sobre as cidades japonesas de Hiroshima e Nagasaki respectivamente. As consequências da explosão das bombas resultaram em um total de 300 mil mortes devido à explosão, queimaduras, envenenamento radioativo e outras lesões. Os efeitos em razão das explosões são sentidos até os dias atuais [16].

Figura 9: Processo de reação em cadeia do urânio-235



Fonte: <https://bit.ly/2JqmFFz>

Logo após o término da Segunda Guerra Mundial, o mundo se dividiu. Iniciada a Guerra Fria, um período onde, de fato não houve guerra, mas somente a demonstração de poder entre nações, a União Soviética (URSS) e os Estados Unidos encabeçaram a liderança de cada lado. Os Estados Unidos com o sistema capitalista baseado na propriedade privada, trocas voluntárias e o respeito pelos direitos individuais como a livre associação e expressão. A União Soviética fazia a defesa do sistema socialista, se baseando na economia planificada, abolição do mercado e um estado autoritário [17].

Nos anos 1950, o Estados Unidos são os primeiros a confeccionar a bomba de hidrogênio. Baseada na fusão nuclear, o poder destrutivo da bomba é muito superior às usadas em na Segunda Guerra. Não demorando muito tempo para que a URSS consiga desenvolver a sua, seguida pela Inglaterra, China e demais países. Durante os anos cinquenta e sessenta era normal os testes envolvendo estas bombas e devido as suas consequências, como o material radioativo fabricado e a exposição mesmo em regiões muito afastadas, promoveu campanhas contra a sua utilização.

Ao longo dos anos haveria um crescimento na construção de reatores nucleares, sendo o seu principal objetivo em uso militar e como fonte de energia. Em 1979 ocorreu o mais grave acidente com reatores nucleares no Estados Unidos, na usina de Three Mile Island onde houve erros na operação do sistema. Entretanto, os trabalhos de emergência conseguiram evitar que o material radioativo fosse liberado e contaminasse o ambiente [18].

Capítulo 6 – A Ciência moderna

Os efeitos provenientes da radiação em organismos biológicos no começo do século XX ainda eram desconhecidos e por isso, não havia precaução alguma. Assim, logo após a descoberta dos raios x, a exposição à radiação aumentou consideravelmente. Com o passar dos anos e mais estudos realizados, medidas de prevenção foram adequadas e melhoradas. No Brasil, a responsável sobre os cuidados da radiação fica a cargo da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) [19].

A interação da radiação com o corpo humano pode trazer alterações em maior ou menor grau. Esta exposição pode resultar na morte do organismo como também mutações em seu material genético. Com grande energia, a radiação é capaz de destruir as moléculas que compõem esses órgãos. Contém vários relatos de mortes devido a manipulação de elementos radioativos que na época eram ignorados. No corpo humano podem ocorrer lesões, leves ou mais graves, dependendo da intensidade da radiação. Essas lesões podem ocorrer na pele ou em órgãos internos do corpo [19].

Porém, o acidente mais grave até então envolvendo reatores foi na usina de Chernobyl em 1986, localizado hoje na Ucrânia. Neste caso, durante um teste em um dos reatores, diversas falhas tanto dos equipamentos quanto humanas levou a perda de controle sobre as reações nucleares que ocorriam. Assim, sem controle das reações levaram a explosões que provocaram a liberação do material radioativo. Pelos ventos, o material foi espalhado por uma parte grande da Europa levando a milhares de pessoas a ficarem contaminadas. Chernobyl foi evacuada fazendo um êxodo de centenas de milhares de pessoas. As estimativas de pessoas afetadas pelo incidente são difícil de se calcular, tanto direta ou indiretamente. Em pouco tempo foram constatados aumentos de doenças como câncer, leucemia, deformações. Doenças essas que formam um indicativo de uma grande exposição à radiação [18].

Em Goiânia no ano de 1987, houve uma contaminação de civis por material radioativo. O episódio ficou conhecido como o Acidente Radiológico de Goiânia. É o maior, até então, acidente radioativo que ocorreu no Brasil e fora de usinas nucleares. E ainda que tenha passado mais de 30 anos, os efeitos são sentido tanto diretamente quanto indiretamente. O episódio se inicia com o Instituto Goiano de Radioterapia (IGR) que foi fundado em 1971 e funcionou até o ano de 1985. O Instituto possuía duas máquinas de radioterapia, uma usando cobalto-60 e a outra césio-137. No ano de 1985, devido a problemas contratuais, o Instituto mudou de lugar de operação. A máquina de radioterapia que continha o césio foi abandonada na antiga sede. A antiga sede teve algumas partes demolidas e o que restou ficou em ruínas. A máquina ficou abandonada e desativada durante dois anos, e durante esse tempo [20].

A partir do longo tempo de abandono do local, já em ruínas, e do desconhecimento do que se poderia encontrar, catadores de sucatas invadiram os escombros do antigo Instituto, em busca de objetos que pudessem vender, tiveram acesso a máquina abandonada e, conseqüentemente à cápsula onde se encontrava o cloreto de césio-137. A cápsula de cloreto de césio que foi encontrada nos escombros da sede do Instituto foi retirada da máquina de radioterapia e vendida como ferro velho. Foi no ferro-velho em que a cápsula foi aberta e o material radioativo descoberto. O material foi exposto e manipulado entre os donos do ferro-velho, familiares e amigos. A luminescência do Césio na ausência de luz e a aparência com o sal de cozinha foram as principais razões que levaram as pessoas a manipularem o material. O acontecimento resultou na morte de quatro pessoas, e a contaminação de aproximadamente duzentas [20].

Capítulo 6 – A Ciência moderna

Estimativas consideram que dezenas de pessoas morreram posteriormente devido complicações da contaminação, mas não há estatísticas cobrando o número exato dessas pessoas. A contaminação ocorreu ao longo de duas semanas e somente após esse período e já com sintomas como náuseas, diarreia e vômitos, as pessoas procuraram ajuda médica. O incidente gerou toneladas de lixo radioativo, problemas de saúde na população, assim como afetou o setor do comércio e imobiliário da região. Outra consequência desastrosa foi o preconceito criado com os moradores da cidade em virtude do medo de contaminação. Isso resultou em dificuldades de diversas natureza para toda população, inclusive econômica. O impacto desse acidente na sociedade local foi imensa, tanto que após passado tanto tempo, ainda são sentidos os reflexos do acidente [20].

Ainda sobre os acidentes, temos que em 2011, o Japão foi abalado por um terremoto o qual deu a origem a um tsunami que atingiu a usina de Fukushima. Este fenômeno foi responsável por danificar o sistema de resfriamento da usina e resultando no último acidente nuclear registrado. Com o sistema de resfriamento da usina danificado, três dos seis reatores da usina superaqueceram o suficiente para derreter e lançar elementos radioativos no ambiente. Junto com Chernobyl, o acidente nuclear em Fukushima também é considerado um dos piores já ocorridos e o segundo a chegar a nota 7 na escala de acidentes nucleares. Mas devido a competência das autoridades, os protocolos de segurança seguidos, as consequências do acidente foram mínimas em comparação à Chernobyl [18].

Atualmente temos diversas áreas se servindo da Física Nuclear, dentre as quais a medicina, pesquisa, indústria farmacêutica e agricultura. O uso nestas áreas vem trazendo grandes avanços e vários benefícios para o ser humano. Como o uso de elementos radioativo em diagnósticos, a radioterapia, raios-x e o uso de equipamentos que se utilizam de irradiações na medicina [18].

Na agricultura, o uso de materiais radioativos permite um acompanhamento mais de perto da plantação e da mesma maneira, como uma forma de eliminação de pragas. Para a conservação de alimentos utilizam-se da irradiação de certo elementos.

Nas indústrias é muito usada para verificar a qualidade de peças e equipamentos, como fissuras que podem ocorrer. Para medições de níveis, esterilização de peças, falhas e vazamentos. Além de usada como controle de qualidade, é utilizada para a segurança dos trabalhadores.

O uso de usinas nucleares para produção de energia corresponde à 15% de da produção mundial. A utilização da fissão nuclear nos processos de produção tem como consequências alguns perigos referentes ao lixo produzido. O lixo produzido pode ser convertido em matéria prima para a produção, o que torna as reservas energéticas superiores às reservas de combustíveis fósseis. Mas em casos de acidentes, como aqueles já ocorridos, os perigos de contaminação e exposição à radiação, os impactos ambientais ocasionados pela utilização e a possível camuflagem para produção bélica são alguns fatores que exercem influência para a mínima utilização.

Capítulo 6 – A Ciência moderna

REFERÊNCIAS

- [1] OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. *Astronomia & Astrofísica*. 3 ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2013.
- [2] ALARSA, Flávio; FARIA, Romildo Póvoa (Coord.). *Fundamentos de astronomia*. 3. ed. Campinas: Papirus, 1987, 209 p.
- [3] OKA, Mauricio Massazumi. *História da eletricidade*. USP, 2000. Disponível em: <https://bit.ly/2C914M3>
- [4] BRAGA, Marco. *Breve história da ciência moderna - volume 4: a belle-époque da ciência*. Zahar, 2008.
- [5] HAYEK, Friedrich August. *O caminho da servidão*. 6. ed. São Paulo: Instituto Ludwig von Mises Brasil, 2010.
- [6] BYNUM, William. *Uma breve História da ciência*. Trad. Iuri Abreu. L&PM. 2017
- [7] LIMA, Rodrigo da S; AFONSO, Júlio C; PIMENTEL, Luiz Cláudio F. Raios-x: fascinação, medo e ciência. *Química Nova*, vol. 32, n. 1, p. 263-270, 2009.
- [8] MARTINS, Roberto de Andrade. A Descoberta dos Raios X: O Primeiro Comunicado de Röntgen. *Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência*, São Paulo, SP, v. 20, n.4, p. 373-391, 1998.
- [9] MARTINS, Roberto Andrade. Hipóteses e Interpretação experimental: a conjectura de Poincaré e a descoberta da hiperfosforescência por Becquerel e Thompson. *Ciência e Educação*, v. 10, n. 3, p. 501-516, 2004.
- [10] MARTINS, Roberto de Andrade. As primeiras investigações de Marie Curie sobre elementos radioativos. *Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência*, Rio de Janeiro, v. 1, n.1, p. 29-41, 2003.
- [11] MARTINS, Roberto de Andrade. *Do urânio ao rádio: os curie e os novos elementos radioativos*. Disponível em: <http://www.ghtc.usp.br/server/pdf/ram-CURIE-2b.PDF>
- [12] “*The Nobel Prize in Physics 1903*”. NobelPrize.org. Nobel Media AB 2019. Web. <<https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1903/summary/>>
- [13] “*The Nobel Prize in Chemistry 1911*”. NobelPrize.org. Nobel Media AB 2019. Web. <<https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1911/summary/>>
- [14] PINHEIRO, Lisiane A; COSTA, Sayonara S. C. da; MOREIRA, Marco A. *Do átomo grego ao Modelo Padrão: os indivisíveis de hoje*. Textos de Apoio ao Professor de Física, Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, v. 22, n. 6, 2012.

Capítulo 6 – A Ciência moderna

- [15] WOLFF, Jeferson F. de S; MORS, Paulo M. *Relatividade: a passagem do enfoque galileano para a visão de Einstein*. Textos de Apoio ao Professor de Física, Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, v. 16, n. 5, 2005.
- [16] CNEN. *A História da energia Nuclear*. Apostila educacional. 2015
- [17] MISES, Ludwig von. *As seis lições*. Trad. Maria Luiza Borges. São Paulo: Instituto Ludwig von Mises Brasil, 2009.
- [18] CARDOSO, Eliezer de Moura. *A energia nuclear*. 3. ed. Rio de Janeiro: CNEN, 2012. (Apostila educativa)
- [19] MEDEIROS, Rogério Fachel de; SANTOS; Flávia M. T. dos. *Introdução à Física das Radiações*. Textos de Apoio ao Professor de Física, Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, v. 22, n. 5, 2011.
- [20] ROSA, Cleci. T. W. da; SILVA, Júpiter C. da R; DARROZ, Luiz. M. Acidente nuclear de Goiânia nos livros didáticos de física. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, v. 14, n. 1, p. 51-62, 2019.