

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA - MNPEF

DENIS MARCEL GOUVEIA DE SOUZA

**CONSTRUÇÃO DE UM WEBSITE SOBRE A FÍSICA DOS NEUTRINOS
PARA ALUNOS DO ENSINO MÉDIO.**

Santo André, SP

2020

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



Universidade Federal do ABC



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC
PROGRAMA MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM
ENSINO DE FÍSICA – POLO UFABC

Construção de um *website* sobre a física dos neutrinos para alunos do ensino médio

Denis Marcel Gouveia de Souza

Dissertação apresentada ao programa Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF, Polo Universidade Federal do ABC, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. José Kenichi Mizukoshi

Santo André – SP
2020

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do ABC
Elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da UFABC
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Gouveia de Souza, Denis Marcel

Construção de um website sobre a física dos neutrinos para alunos do ensino médio / Denis Marcel Gouveia de Souza. — 2020.

119 fls. : il.

Orientador: José Kenichi Mizukoshi

Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do ABC, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - MNPEF, Santo André, 2020.

1. Física de Partículas. 2. Neutrinos. 3. Ensino de Física. 4. Ensino híbrido.
I. Kenichi Mizukoshi, José. II. Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - MNPEF, 2020. III. Título.

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, de acordo com as observações levantadas pela banca no dia da defesa, sob responsabilidade única do(a) autor(a) e com a anuência do(a) orientador(a).

Santo André, 29 de junho de 2020

Assinatura do(a) autor(a):

Rui Seizo

Assinatura do(a) orientador(a):

Adriano



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

Fundação Universidade Federal do ABC

Avenida dos Estados, 5001 – Bairro Santa Terezinha – Santo André – SP
CEP 09210-580 · Fone: (11) 4996-0017

FOLHA DE ASSINATURAS

Assinaturas dos membros da Banca Examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato, DENIS MARCEL GOUVEIA DE SOUZA realizada em 21 de Fevereiro de 2020:

Prof.(a) GISELLE WATANABE
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC

Prof.(a) Marcelo Moraes Guzzo
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

Prof.(a) MARIA BEATRIZ FAGUNDES
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC

Prof.(a) OSCAR JOSE PINTO EBOLI
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Prof.(a) JOSE KENICHI MIZUKOSHI
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC - Presidente

* Por ausência do membro titular, foi substituído pelo membro suplente descrito acima: nome completo, instituição e assinatura



Universidade Federal do ABC

Resumo

Construção de um *website* sobre a física dos neutrinos para alunos do ensino médio

Denis Marcel Gouveia de Souza

Orientador: Prof. Dr. José Kenichi Mizukoshi

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF, Polo Universidade Federal do ABC, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

O presente trabalho tem a finalidade de aproximar um tópico da Física Contemporânea aos estudantes e professores do ensino médio. Baseado no contexto educacional brasileiro, sabemos que a Ciência produzida atualmente é pouco discutida em sala de aula, sendo muitas vezes de maneira superficial. Desta forma, alunos interessados nos temas contemporâneos das Ciências devem pesquisar e estudar de maneira autônoma. Mesmo assim, os curiosos de plantão esbarram no baixo número de materiais didáticos em nosso idioma; muito disso deve-se ao distanciamento entre os pesquisadores de fronteira e o ensino básico. Visando diminuir esse abismo, criamos e aplicamos um produto educacional que aborda a física dos neutrinos, uma Ciência que está sendo construída atualmente. Esse produto educacional consiste em um *website* com linguagem acessível ao público alvo. Para testar a aceitação deste produto, apresentamos o site a um grupo de alunos do ensino médio, aplicamos uma sequência didática com ênfase no ensino híbrido e posteriormente realizamos uma pesquisa de avaliação do *site* junto aos alunos participantes. Esta dissertação fornece os detalhes da criação do *website*, da aplicação da sequência didática e o *feedback* dos alunos, além de disponibilizar o guia do professor, que consiste em um manual de orientações para o uso do produto educacional.

Palavras-chave: neutrinos; *website*; ensino médio.

Abstract

Constructing a website about neutrino physics aiming high school students

Denis Marcel Gouveia de Souza

Supervisor: Prof. Dr. José Kenichi Mizukoshi

Abstract of master's dissertation submitted to Programa de Pós-Graduação Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF, Polo Universidade Federal do ABC, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Physics Teaching.

This current work has a goal to bridge Contemporary Physics and high school students and teachers. Based on Brazilian education context, it is known that Science produced in the present is barely discussed in the classrooms, and many times, only superficially. Thus, who are interested in contemporary science themes must do a research in the autonomous way. Even so, the curious persons bump into a lack of pedagogical materials available in Portuguese; a lot of these problems are due to a distance between frontier science researchers and basic education. Aiming to narrow this gap, we created and applied an educational product about neutrino physics, a Science which is still in process of being built. This educational product is a website with an accessible language for the target public. In order to test the product acceptance, we presented it to a group of high school students, we applied a pedagogical learning sequence using hybrid learning, and next we conducted a satisfaction survey among those students. This Dissertation provides the details of the creation of the website, an application of pedagogical sequence using it, a feedback from the students, as well as a teacher's guide, which is a manual orienting how the educational product can be best used.

Keywords: neutrinos; website; high school.

Dedico este trabalho as duas pessoas que me ajudaram, incentivaram e inspiraram a estudar sempre. Meu pai, Antonio Vieira de Souza (in memoriam) e minha mãe, Maria de Jesus Alves de Gouveia de Souza.

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço ao Prof. Dr. José Kenichi Mizukoshi pela orientação e compreensão na elaboração deste trabalho. Também, sou muito grato pelos inúmeros ensinamentos ofertados tanto na sala de aula quanto fora.

Agradeço a todos os professores do programa, os quais contribuíram muito com a minha formação. Aprendi muito neste curso e isso tem um impacto positivo em minhas aulas.

Agradeço a parceria e as ótimas trocas de experiências com todos os amigos da turma, todos “guerreiros”.

Agradeço meu amigo Stephan Spacov pelos ensinamentos dos comandos básicos do Wordpress e, pelo apoio dado até o final deste trabalho.

Faço um agradecimento especial aos diversos alunos que se envolveram com a construção do site de forma espontânea. Agradeço as alunas que desenvolveram muitas ilustrações e criaram uma “identidade” para o site, Mariana Nitti, Júlia Nitti e Ana Paula Yukiko. Também agradeço os alunos que ajudaram nas revisões dos textos, Laura Gabriel, Maria Fernanda Gabriel, João Gabriel, João Curi e Giovanna de Cassia.

Agradeço meus alunos do Colégio Salesiano Santa Teresinha, terceiro ano 2019, pelo empenho e seriedade empregados durante a aplicação do produto educacional.

Agradeço minha esposa Ingrid Cremm, pelo apoio dado em momentos difíceis e que suportou minha ausência muitas vezes ao longo do mestrado.

E, acima de tudo, agradeço minha família (mãe, pai e irmão) por nunca medirem esforços em incentivar meus estudos.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Índice

1	Introdução	7
2	Uma breve discussão sobre a inserção da Física Moderna e Contemporânea no ensino médio	9
2.1	Reflexões para a inserção da Física Moderna e Contemporânea no ensino médio	9
2.2	Algumas dificuldades para a inserção da Física Moderna e Contemporânea no ensino básico	10
2.3	Soluções que podem auxiliar a inserção e uso adequado da FMC	11
2.4	A relação entre o produto educacional e a BNCC	12
2.5	Publicações sobre neutrinos que podem ser utilizados no ensino básico . . .	13
3	Fundamentação teórica	15
3.1	Teorias de Aprendizagem	15
3.1.1	Teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel	15
3.1.2	O processo de educação de Jerome S. Bruner	17
3.2	Metodologias e estratégias de ensino	19
3.2.1	Ensino Híbrido	19
3.2.2	Sala de Aula Invertida (Flipped Classroom)	20
3.2.3	Instrução pelos Colegas (Peer Instruction)	21
4	A física dos neutrinos explorada no produto educacional	24
4.1	Situando os neutrinos no modelo padrão	24
4.1.1	As partículas elementares	25
4.1.2	Relação entre as interações fundamentais e as partículas.	26
4.1.3	Representação gráfica das interações	28
4.2	Uma introdução às propriedades dos neutrinos	29
4.2.1	Sabor	29
4.2.2	Carga elétrica	29
4.2.3	Número leptônico	29
4.2.4	Helicidade e quiralidade	30
4.2.5	Processos de interação dos neutrinos	31

4.2.6	Oscilação de neutrinos	32
4.3	Fontes de produção dos neutrinos	35
4.4	Observando os neutrinos	41
4.4.1	Detectores de neutrinos	41
4.4.2	Principais experimentos	44
5	Descrição do produto educacional – o <i>website</i> “Neutrinos”	47
5.1	A construção do <i>website</i>	47
5.1.1	A escolha do tema dentro do <i>Wordpress</i>	47
5.1.2	Elaboração do conteúdo do site	47
5.2	Estrutura do <i>website</i> e descrição das páginas	51
5.2.1	Página inicial (Home)	52
5.2.2	Situando os neutrinos	53
5.2.3	Propriedades dos neutrinos	56
5.2.4	Fontes de neutrinos	58
5.2.5	Detectores de neutrinos	62
5.2.6	Experimentos	62
5.2.7	Extras	63
5.2.8	Para professores	63
6	Aplicação do produto educacional	64
6.1	O local de aplicação e o público alvo	64
6.2	A sequência didática para a aplicação do produto educacional	65
6.3	Questionário de avaliação do produto educacional	68
7	Análise das respostas	69
7.1	Caracterizando o aluno pesquisado	69
7.2	Influência do <i>website</i> sobre o aluno	71
7.3	Avaliação do site	73
8	Conclusões	80
A	Guia do professor	82
B	Questionário de avaliação do site	111

Capítulo 1

Introdução

Muitas pessoas acreditam que a Ciência pode produzir conhecimentos benéficos para nossas vidas, poucos conseguem entender e defender a sua importância. Poucos sabem dizer o que os físicos estudam atualmente. Poucos conseguem justificar os bilhões de dólares investidos na Física ou outras áreas da Ciência. Poucos sabem quais são as metas e os objetivos das diversas Ciências nos dias de hoje. Neste contexto, desenvolvemos um produto educacional que visa levar um pouco da Ciência produzida atualmente para os alunos do ensino básico e para os curiosos de plantão. O tema escolhido para discutir um pouco dessa Física Contemporânea, os neutrinos, está inserido na área de Física de Partículas.

Dentre as muitas áreas da Física Contemporânea, escolhemos desenvolver um produto educacional utilizando os neutrinos pelas seguintes razões: i) a rara e/ou superficial abordagem dos neutrinos nas salas de aula do ensino básico; ii) possui pouco ou nenhum material didático disponível em língua portuguesa; iii) tema raramente explorado no MNPEF; iv) está inserido na Física Contemporânea, em construção e longe do conhecimento do público em geral e finalmente, v) possui grande relevância para confirmação ou expansão de teorias científicas (por exemplo, o Modelo Padrão).

Para apresentar a física dos neutrinos de maneira didática, desenvolvemos um *website*, pois este recurso permite um rápido e fácil acesso aos alunos. Além disso, utilizamos uma linguagem acessível com uso de imagens e simuladores virtuais para aumentar o interesse do aluno com o conteúdo do site. Além dos aspectos teóricos sobre os neutrinos, também há tópicos sobre experimentos e sua detecção, discussões sobre o modelo padrão, um pouco da história destas partículas e uma coletânea de materiais sobre o tema.

Outro aspecto levado em consideração na elaboração do produto foi como aplicá-lo, assim desenvolvemos uma sequência didática que tenta atender as diversas realidades escolares. A sequência didática da aplicação ocorreu através do ensino híbrido, utilizando o menor número de aulas possíveis e a maior flexibilização tecnológica possível. A estratégia de ensino empregada foi a sala de aula invertida com auxílio da instrução pelos colegas, desta maneira os alunos estudaram o conteúdo do *website* em casa e utilizaram do ensino

colaborativo em sala de aula para refinar e consolidar o aprendizado. Esta aplicação, também utilizou estratégias mais tradicionais como a aula expositiva, o estudo dirigido e a verificação de conhecimento por testes conceituais.

Após o contato com o produto educacional, esperamos que os alunos enxerguem a Física de Neutrinos como algo próximo da nossa realidade e que tenham mais envolvimento com a Ciência contemporânea. Não temos a pretensão que esses alunos queiram tornar-se cientistas após o envolvimento com o tema, mas esperamos que valorizem as instituições científicas e as pessoas que lá trabalham, que consigam argumentar em defesa da Ciência e entendam o papel fundamental da Ciência na evolução humana.

Esta dissertação tem 3 objetivos principais: descrever o produto educacional, descrever a aplicação para os alunos e apresentar uma análise da sua eficácia. Assim, o leitor encontrará no capítulo 2 uma breve discussão sobre a inserção da Física Moderna e Contemporânea (FMC) no ensino básico, uma análise das exigências da Base Nacional Curricular Comum (BNCC) em relação a FMC e, por fim, também há um levantamento de outros trabalhos do MNPEF que abordaram os neutrinos.

Já o capítulo 3, apresenta as fundamentações teóricas sobre teorias de aprendizagem e metodologias de ensino, ambas empregadas no produto educacional. Em relação as teorias de aprendizagem, o leitor encontrará noções básicas da Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel e algumas ideias centrais do livro “O processo de educação” de Jerome Bruner. Em relação as metodologias de ensino, o leitor encontrará definições e discussões pertinentes sobre o Ensino Híbrido, a Sala de Aula Invertida (Flipped Classroom) e a Instrução pelos Colegas (Peer Instruction).

O capítulo 4 apresenta de forma sucinta, a Física dos Neutrinos, a qual também é apresentada no produto educacional.

O capítulo 5 tem a função de descrever o produto educacional, assim explica como o *website* foi construído, explicitando os recursos e fundamentos teóricos empregados na sua criação, além de descrever o conteúdo presente em cada página.

No capítulo 6, o leitor tem a descrição da aplicação do produto educacional e a apresentação o público envolvido no projeto. Após a aplicação do produto, os alunos responderam um questionário avaliando o site e a física que aprenderam, os resultados foram apresentados e discutidos no capítulo 7.

Por fim, o capítulo 8 apresenta comentários gerais e conclusões acerca do produto educacional desenvolvido e aplicado.

Capítulo 2

Uma breve discussão sobre a inserção da Física Moderna e Contemporânea no ensino médio

2.1 Reflexões para a inserção da Física Moderna e Contemporânea no ensino médio

O tema do nosso produto educacional, a física de neutrinos, está inserido na Física Contemporânea. Desta maneira, começaremos apontando algumas razões para a inserção dos neutrinos e de outros tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) no ensino médio.

Para tal, utilizaremos o trabalho de Pena [1], o qual apresenta uma coletânea de razões para um professor inserir tópicos de FMC em suas aulas de física. Primeiramente, ele traz a ideia de que muitos fenômenos cotidianos só podem ser explicados com conhecimentos da FMC, além disso, os fundamentos das tecnologias atuais também são pautados nesses conhecimentos. Com isso, percebe-se que os conteúdos de FMC são essenciais para um entendimento do mundo construído pelo homem atual e pelas intervenções conscientes do cidadão. Outra razão para a inserção da FMC no ensino básico é o despertar da curiosidade e interesse dos estudantes pela física, pois coloca o aluno em contato com a física consolidada no último século e a física que está sendo construída nos dias de hoje. Assim, o aluno entende que a Física é feita por humanos “normais”, quebrando o rótulo que este conhecimento está restrito ao “cientista maluco”.

Como vimos, o entendimento da FMC ajuda o estudante compreender os fenômenos e tecnologias presentes no seu cotidiano, além de entender a física como uma construção humana em constante transformação. Tudo isso, gera uma aproximação do aluno com a carreira científica, a qual não é atraente no Brasil [1].

Munido de algumas razões para a inserção da FMC no ensino médio, podemos refletir

sobre a maneira de fazer isso. Por exemplo, o trabalho de Moreira [2] nos traz um ponto de reflexão, ele ressalta que a inserção de mais conteúdos de física associados ao ensino tradicional, com memorização mecânica, não causará o impacto desejado. Assim, ele relaciona o sucesso da inserção da FMC com o contexto em que esse novo conteúdo será ensinado.

É preciso pensar em como ensinar esses conteúdos, é preciso dar atenção à didática específica, à transferência didática, a como abordar a Física de modo a despertar o interesse, a intencionalidade, a predisposição dos alunos, sem os quais a aprendizagem não será significativa, apenas mecânica para “passar”. (p. 76) [2]

Importante ressaltar que trouxemos apenas algumas ideias para a reflexão do leitor, assim utilizamos poucos autores. O tema é muito abrangente e há inúmeros trabalhos acadêmicos para aprofundamento.

2.2 Algumas dificuldades para a inserção da Física Moderna e Contemporânea no ensino básico

Na mesma linha da seção anterior, traremos apenas as ideias de alguns autores para instigar reflexões e indagações sobre as dificuldades da inserção da FMC no ensino médio.

O trabalho de Moreira [2] apresenta algumas dificuldades encontradas pelo professor de Física em seu cotidiano. Em geral, ele critica a baixa carga horária semanal, “2 (aulas) ou menos”, a falta de aulas práticas e o foco do ensino na preparação dos vestibulares (p. 73). Nesse contexto, é muito difícil a inserção de conteúdos de FMC na maioria das escolas de Ensino Médio no país e, quando inseridos, o entendimento dos alunos pode ser superficial devido ao pouco tempo destinado à aprendizagem.

Pena [1] levanta outros pontos que dificultam o ensino da FMC na sala de aula. Ele enfatiza que a abordagem de física é excessivamente tradicional, desmotivando os estudantes e, também destaca a desatualização dos currículos, os quais apresentam FMC de maneira não adequada (p. 1)

Nos casos em que os professores conseguem trabalhar a FMC, a disposição e a motivação do aluno torna-se um grande empecilho para o sucesso da aprendizagem. Pois, segundo Moreira [2], muitas vezes, a física do Ensino Médio “é ensinada como se as teorias físicas fossem acabadas, como se as respostas às perguntas da Física fossem definitivas, como se os conceitos físicos fossem apenas definições” (p. 76). Infelizmente, os alunos sofrem com esse ensino focado no “treinamento para respostas de curto prazo”, eles “chegam à universidade como se não tivessem estudado Física no Ensino Médio” (p. 75).

Moreira [2] também faz crítica a maneira que alguns professores são formados, pois eles refletem as práticas educacionais que tiveram na universidade em suas práticas no ensino básico. Para ele,

[...]a formação em Física é fraca. Além de serem formados com o ensino tradicional, das aulas expositivas e listas de problemas, têm pouca Física na graduação, quase nada de Física moderna e contemporânea. [...] (Quando se tornam professores) não passam da Física clássica, iniciando com a Cinemática, na qual os alunos começam a não gostar da Física. (p. 76)

Outro empecilho para a popularização da FMC está na academia, onde parte dos pesquisadores se importam mais com as publicações em revistas de “alto impacto”, ao invés de valorizar uma formação eficiente de professores para a educação básica. A Física Contemporânea e as pesquisas na área de ensino de física aparecem distantes da educação básica, infelizmente a pesquisa atual não passa pelo professor e, conseqüentemente, a informação adequada não chega ao aluno do ensino básico [2].

Esse problema apresentado por Moreira não é exclusividade dos tempos atuais, Bruner já discutia em 1960 em seu livro “O processo da educação”. Leia o trecho dessa crítica a seguir.

Na maioria das vezes, no entanto, os estudiosos na vanguarda de suas disciplinas, aqueles que podem dar a maior contribuição à reorganização substantiva de seus campos não estavam envolvidos no desenvolvimento de currículos para as escolas de ensino fundamental e médio. Em conseqüência, os programas escolares frequentemente lidam inadequada ou incorretamente com o conhecimento contemporâneo, e não colhemos os benefícios que poderiam advir da união dos esforços de eminentes estudiosos, professores sábios e habilidosos e aqueles treinados nas áreas relacionadas ao ensino e aprendizagem. (Ref. [3], p. 3)

Este tema também tem uma abrangência dentro do Ensino de Física, mas apresentamos apenas uma breve discussão, pois a intenção é contextualizar e pensar no meio que nosso produto educacional se apresenta.

2.3 Soluções que podem auxiliar a inserção e uso adequado da FMC

Moreira [2] propõe soluções para minimizar os desafios dos docentes de Física, as quais podem ajudar a inserção e o uso adequado da FMC. Em resumo, transcrevemos alguns

trechos dessas sugestões:

- *Ensino centrado no aluno, na aprendizagem ativa e significativa, na qual os alunos trabalham em pequenos grupos com a mediação do professor que os ajuda a aplicar conceitos e procedimentos físicos em situações que lhes façam sentido.*
- *Desenvolver competências científicas e tecnológicas [...] fazendo uso intensivo de tecnologias de informação e comunicação.*
- *Na pesquisa em ensino, dar mais atenção à pesquisa translacional com participação de professores em serviço, ativos no ensino de Física na escola.*
- *Não aceitar passivamente o ensino para a testagem. Física é muito mais do que fórmulas e respostas corretas.*
- *Pensar no ensino da graduação em Física de modo que tenha mais Física, porém de uma perspectiva contemporânea, conceitual e epistemológica.*

2.4 A relação entre o produto educacional e a BNCC

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) [4] é um documento de caráter normativo, servindo como referência nacional para a elaboração dos currículos da Educação Básica.

A partir dela, as redes de ensino e instituições escolares públicas e particulares passarão a ter uma referência nacional comum e obrigatória para a elaboração dos seus currículos e propostas pedagógicas, promovendo a elevação da qualidade do ensino com equidade e preservando a autonomia dos entes federados e as particularidades regionais e locais. (Ref. [4], p. 5)

Desta maneira, a área de estudo do produto educacional e as competências desenvolvidas com os alunos ao longo da sua aplicação estão norteadas por este documento, mais precisamente, na área de Ciências da Natureza.

[...]a área de Ciências da Natureza 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. O desenvolvimento dessas práticas e a interação com as demais áreas do conhecimento favorecem discussões sobre as implicações éticas, socioculturais, políticas e econômicas de temas relacionados às Ciências da Natureza. (Ref. [4], p.537)

A área de Ciências da Natureza da BNCC propõe que o Ensino Médio faça um aprofundamento nas temáticas Matéria e Energia, Vida e Evolução e Terra e Universo, as quais já foram abordadas durante os anos do Ensino Fundamental. O produto educacional desenvolvido e apresentado nesta dissertação, discute a Física de Partículas com ênfase nos neutrinos, o qual explora habilidades das 3 áreas temáticas da BNCC, em especial da Matéria e Energia.

No Ensino Fundamental, os estudantes têm a oportunidade de enfrentar questões que demandam a aplicação dos conhecimentos sobre Matéria e Energia em uma perspectiva fenomenológica, com o objetivo de introduzir a prática da investigação científica e ressaltar a importância dessa temática na análise do mundo contemporâneo. No Ensino Médio, espera-se uma diversificação de situações-problema, incluindo aquelas que permitam aos jovens a aplicação de modelos com maior nível de abstração e de propostas de intervenção em contextos mais amplos e complexos. (Ref. [4], p. 538)

Por fim, a aplicação do produto educacional foi norteadada pelas habilidades e competências a serem desenvolvidas pela área das Ciências da Natureza e suas Tecnologias, propostas pela BNCC. Assim, a aplicação do produto visou o desenvolvimento científico do aluno como um todo, não apenas o aprendizado de um novo conhecimento, mas também a análise investigativa, a avaliação e comparação de modelos explicativos, o uso de fontes científicas confiáveis e adequadas, a elaboração de argumentação científica para diferentes fins, o uso de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC) e o entendimento da importância da ciência para a humanidade (Ref. [4], p. 538).

2.5 Publicações sobre neutrinos que podem ser utilizados no ensino básico

Como já discutido no início da introdução, uma das principais razões de desenvolver um produto educacional sobre neutrinos é exatamente a falta de conteúdo organizado e didático sobre o tema em nosso idioma. Os livros didáticos de Ensino Médio têm o costume de apresentar o neutrino como uma partícula elementar e, como produtos resultantes do decaimento beta ou da fusão nuclear (exemplo, o livro Física 3 de Artuso e Filho [5]). Em resumo, um aluno de ensino básico, apenas, sabe que existe uma partícula chamada neutrino, mas não tem conhecimento das suas propriedades, interações e importância para a ciência e sociedade.

Ao pesquisar as dissertações defendidas pelo MNPEF, no site oficial do programa, foi encontrado um único trabalho sobre neutrinos, intitulado “Neutrinos: uma abordagem na

educação básica utilizando história em quadrinhos” feito por Ariskleber Moraes Santos da Universidade Estadual de Santa Cruz [6]. Este trabalho apresenta histórias em quadrinhos com foco na origem teórica do neutrino, da detecção experimental e do problema dos neutrinos solares.

Pesquisas na internet revelaram que há muitas informações sobre os neutrinos, em geral, são conteúdos superficiais e repetitivos ou complexos a nível acadêmico. Além das produções acadêmicas, encontramos fontes confiáveis para leigos, as quais estão listadas a seguir:

- O Grupo de Estudo de Física e Astrofísica de Neutrinos (GEFAN) da Unicamp [7] mantém uma página com informações relevantes sobre os neutrinos e as linhas de pesquisa do grupo.
- *All things neutrinos* [8] é o site mais completo e didático sobre o tema (em inglês). Ele foi produzido e gerenciado pelo Laboratório Fermilab, futura sede do maior experimento envolvendo neutrinos, o DUNE. Este site foi uma grande inspiração para a produção do nosso produto educacional.
- O site *Symmetry Magazine* [9] é um site (em inglês) que mantém uma seção com artigos e vídeos didáticos sobre os neutrinos. Ele é publicado de maneira conjunta entre o Fermilab e o SLAC.

Os neutrinos são partículas envolvidas em dezenas de experimentos milionários espalhados pelo mundo, assim mensalmente há veiculação de notícias sobre os neutrinos nas principais revistas e jornais científicos. Porém, esse tipo de comunicação atinge apenas os curiosos do tema, continuando longe do público em geral. Por isso a importância de discutirmos os neutrinos no ensino médio.

Capítulo 3

Fundamentação teórica

3.1 Teorias de Aprendizagem

Esta seção traz uma noção das principais ideias de dois autores da corrente cognitivista, David Ausubel e Jerome Bruner. Ambos propõem teorias preocupadas “com o processo de compreensão, transformação, armazenamento e uso da informação envolvido na cognição e procura regularidades nesse processo mental.” (Ref. [10], p. 19)

Os dois capítulos a seguir servirão de embasamento teórico tanto para a construção do site, quanto para a aplicação do produto educacional.

3.1.1 Teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel

A teoria da aprendizagem significativa de Ausubel [11] é um processo em que uma informação a ser aprendida deve ter relação natural com a estrutura cognitiva do indivíduo, isso ocorre através de subsunçores [10]. Ou seja, a aprendizagem passa a ser significativa se o novo conteúdo for relacionado ou incorporado aos conhecimentos prévios dos alunos [12].

Para facilitar o entendimento da teoria, vamos definir e relacionar dois termos utilizados no parágrafo anterior: subsunçor e estrutura cognitiva.

Para Moreira [13], “subsunçor é o nome que se dá a um conhecimento específico, existente na estrutura de conhecimentos do indivíduo”. E, “a estrutura cognitiva é um conjunto hierárquico de subsunçores dinamicamente interrelacionado”.

Em outras palavras, as informações se organizam na cabeça do indivíduo através de estruturas cognitivas, sendo que o acesso a cada uma dessas estruturas se dá via subsunçores. Ou seja, segundo a teoria da aprendizagem significativa, o subsunçor serve de “ancoradouro” a um novo conhecimento, ele é o conhecimento prévio relevante para a aprendizagem de outros conhecimentos, tornando a aprendizagem significativa [13]. Reforçando a discussão Pelizari *et al.* [12] diz que “a aprendizagem significativa ocorre quando a nova informação ancora-se em conceitos relevantes pré-existentes na estrutura cognitiva.”

Moreira também defende que nossas estruturas cognitivas contêm um conjunto dinâmico de subsunçores, alguns firmes, outros em fase de crescimento, alguns usados raramente, outros com muitas ramificações, outros “encolhendo”. Desta forma, ele ressalta que a aprendizagem significativa não pode ser confundida com aquela que o indivíduo nunca irá esquecer, mas uma vez que ela ocorreu, “o indivíduo não teria muita dificuldade em resgatar, reativar ou reaprender o subsunçor”. Um exemplo, pode ser um professor que passa anos sem dar aulas sobre certo conteúdo [13].

Em resumo,

O conhecimento prévio é, na visão de Ausubel, a variável isolada mais importante para a aprendizagem significativa de novos conhecimentos. Isto é, se fosse possível isolar uma única variável como sendo a que mais influencia novas aprendizagens, esta variável seria o conhecimento prévio, os subsunçores já existentes na estrutura cognitiva do sujeito que aprende. (Ref. [13], p. 7)

A teoria de Ausubel considera que a estrutura cognitiva tem seu dinamismo caracterizado por dois processos que ocorrem de maneira simultânea, a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora [13].

A diferenciação progressiva seria o processo que dá novo significado a um dado subsunçor, isso seria resultante das sucessivas utilizações desse subsunçor para dar significado a novos conhecimentos. Um exemplo é a ressignificação dos subsunçores ligados ao conceito de força, antes da escola uma criança já possui sua ideia de força, depois aprende na escola as forças gravitacional, eletromagnética, forte e fraca, concluindo que todas as forças do cotidiano são derivadas dessas 4 interações [13].

Enquanto, a reconciliação integradora é “um processo que consiste em eliminar diferenças aparentes, resolver inconsistências, integrar significados e fazer superordenações” em nossa estrutura cognitiva. Em resumo, durante o processo de aprendizagem significativa, os subsunçores também podem ser transformados, eles “adquirem novos significados ou maior estabilidade cognitiva” [13].

A aprendizagem significativa necessita, basicamente, de duas condições para ocorrer: o aluno precisa ter uma disposição para aprender e o conteúdo escolar tem que ser potencialmente significativo [12].

Primeiramente, a disposição para aprender não deve ser confundida com a motivação do aluno em relação ao conteúdo. Um aluno que tem predisposição para aprender algo de maneira significativa, utiliza o conteúdo novo para modificar e enriquecer sua estrutura cognitiva prévia. Em resumo, o indivíduo deve buscar a compreensão ao invés da memorização, pois esta levaria a uma aprendizagem mecânica e sem significado [13].

Já o material potencialmente significativo, deve ser apropriado, relevante e ter relação com a estrutura cognitiva do estudante. Além disso, o aluno deve ter o conhecimento

prévio adequado para tornar o conteúdo do material significativo para si [13]. A figura 3.1 apresenta um resumo dos principais tópicos da teoria de aprendizagem que foram utilizadas na elaboração do *website* e da sequência didática.

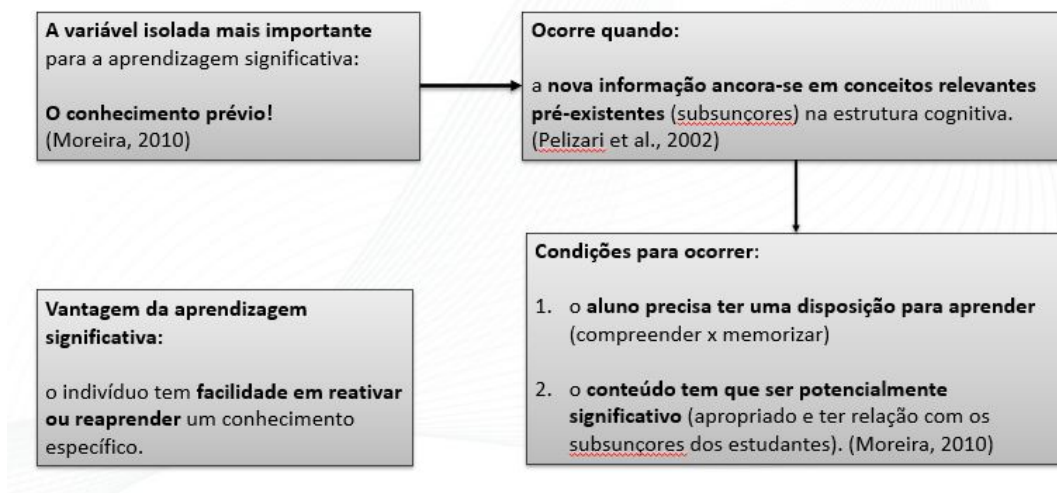


Figura 3.1: Resumo da teoria de aprendizagem significativa de David Ausubel. Ilustração: Própria.

3.1.2 O processo de educação de Jerome S. Bruner

Jerome S. Bruner é famoso por assumir que “os fundamentos de qualquer assunto podem ser ensinados a qualquer pessoa, em qualquer idade, de alguma forma.” Para que isto ocorra, ele defende que o ensino “deve ser planejado para ensinar esses assuntos com honestidade intelectual e, com ênfase na compreensão intuitiva das ideias e no uso dessas ideias básicas.” (Bruner [3], p. 12)

O trecho a seguir, enfatiza a visão geral do que é uma teoria de ensino para Bruner.

Bruner argumenta que as teorias psicológicas de aprendizagem e desenvolvimento são descritivas, enquanto que uma teoria de ensino deve, além de levar em conta tais teorias, ser prescritiva. Deve principalmente concentrar-se em como otimizar a aprendizagem, facilitar a transferência ou a recuperação de informações. Deve também estabelecer regras concernentes à melhor maneira de obter conhecimentos e técnicas. (Ref. [14], p. 85)

Segundo Moreira, Bruner enfatiza a aprendizagem por descoberta, a qual deve ocorrer de maneira “dirigida”. Sendo que esse direcionamento não deve ser uma “receita de bolo”, mas deve ser um conjunto de instruções estruturadas de maneira que não deixe o aluno “perdido”. “As instruções devem ser dadas de modo a explorar alternativas que levem à solução do problema ou à descoberta”. (Ref. [14], p. 87)

Em relação ao processo de aprendizagem, Bruner considera que “a atividade intelectual em qualquer lugar é a mesma, seja na fronteira do conhecimento ou em uma sala de aula da terceira série. A diferença está no grau, não no tipo.” Ele defende que em qualquer situação de aprendizagem, o pensamento intuitivo (que corresponde a treinamento de palpites) é uma característica essencial do pensamento produtivo, seja formalmente ou na vida cotidiana. [3]

O palpite astuto, a hipótese fértil, o salto corajoso para uma conclusão provisória - essas são as moedas mais valiosas do pensador em ação, qualquer que seja sua linha de trabalho. (Ref. [3], p. 13)

Bruner destaca pontos importantes para a consolidação da aprendizagem: deve-se haver um aprofundamento contínuo sobre uma ideia básica e a complexidade do objeto de estudo deve ser desenvolvido progressivamente. Caso contrário, a aprendizagem será difícil de acontecer. Ele também defende que a aprendizagem deve ser planejada através do “currículo espiral”. Segundo ele, “um currículo à medida que se desenvolve deve revisar essas ideias básicas repetidamente, baseando-se nelas até que o aluno compreenda todo o aparato formal que as acompanha.” (Ref. [3], p. 13).

Em resumo, um aluno deve aprender algo de maneira intuitiva e ter a chance de experimentá-lo por conta própria. Divergindo do ensino tradicional que formaliza ideias básicas através de equações ou conceitos muito elaborados fora do alcance do aprendiz [3].

Por fim, o autor sugere que o material a ser aprendido deve ser o melhor incentivo à aprendizagem, ao invés de notas ou outros fatores externos (Ref. [3], p. 14).

A figura 3.2 apresenta um resumo dos principais tópicos da teoria de aprendizagem que foram utilizadas na elaboração do *website* e da sequência didática.

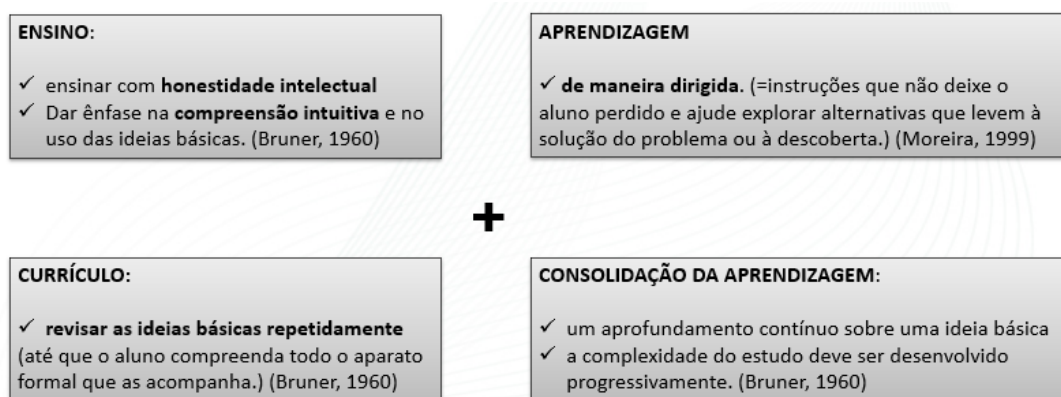


Figura 3.2: Resumo do processo da educação de Jerome S. Bruner. Ilustração: Própria.

3.2 Metodologias e estratégias de ensino

A aplicação deste trabalho foi norteadada pelo ensino híbrido, utilizando muito das estratégias propostas pela sala de aula invertida e pelo ensino colaborativo (instrução pelos colegas). As seções a seguir irão descrever o básico de cada uma destas metodologias de ensino.

3.2.1 Ensino Híbrido

O ensino híbrido (ou *blended learning*) é uma modalidade de ensino em que parte das atividades são realizadas a distância e outra parte em sala de aula. Sendo mais preciso, o trabalho de Valente [15] (p. 84) define o ensino híbrido como “um programa de educação formal que mescla momentos em que o aluno estuda os conteúdos e instruções usando recursos on-line, e outros em que o ensino ocorre em uma sala de aula, podendo interagir com outros alunos e com o professor.”

Valente [15] também explica quais são os papéis do aluno e do professor nesta modalidade de ensino. Durante a parte on-line, o aluno é capaz de controlar como, quando e onde estudar. Enquanto na aula presencial, o aluno pode contar com a orientação do professor, o qual propõe atividades que valorizam as interações interpessoais e complementam o conteúdo estudado a distância. O autor alerta que ao utilizar o ensino híbrido, o professor deve se atentar a tênue linha entre o aspecto formal e informal dos conteúdos on-line. Desta forma, para atingir melhores resultados, a sugestão é que o professor elabore as instruções e o próprio conteúdo para cada etapa do curso, ao invés de utilizar qualquer material disponível na internet, os quais podem se aproximar de uma aprendizagem mais informal.

No cenário atual, as tecnologias móveis (celulares e tablets) conectadas a rede são os principais aliados desta modalidade, permitindo a flexibilização dos processos de ensino-aprendizagem e a integração simultânea de todos os espaços. Desta maneira, o ensino híbrido atende dos estudantes mais proativos até os mais passivos, dos mais rápidos aos mais lentos, dos autodidatas aos mais dependentes de tutoria (Ref. [16], p. 45).

Em relação aos aspectos positivos, Valente [15] defende que o ensino híbrido proporciona “um processo de ensino e de aprendizagem mais eficiente, interessante e personalizado”, enquanto Bacich e Moran [16] defendem que “a integração cada vez maior entre sala de aula e ambientes virtuais é fundamental para abrir a escola para o mundo e trazer o mundo para dentro da escola”.

A partir da definição de Valente no primeiro parágrafo desta seção, consideramos que nosso produto é uma ferramenta muito útil dentro do ensino híbrido, pois se trata de um *site* que será utilizado tanto dentro quanto fora do espaço formal de ensino gerando a interação entre alunos e professor. Uma maneira de aplicar o ensino híbrido é a sala de aula invertida. Este será o tema da próxima seção.

3.2.2 Sala de Aula Invertida (Flipped Classroom)

A metodologia pedagógica conhecida como “sala de aula invertida” [17], tradução do original em inglês “flipped classroom”, foi introduzida por Jonathan Bergmann e Aaron Sams, dois professores de química do ensino médio, nos Estados Unidos.

Esta estratégia de ensino tem como principal característica colocar o aluno em contato com o conhecimento antes da aula, invertendo a lógica tradicional de ensino. Durante a aula, o professor emprega técnicas que incentivam o trabalho colaborativo, além disso, auxilia na execução de tarefas que utilizam o conhecimento prévio dos estudantes. Tudo isso ocorre estimulando o aluno como protagonista, onde ele é engajado em construir seu próprio conhecimento.

Segundo Oliveira *et al.* [18], na sala de aula invertida o contato prévio entre o aluno e a informação pode acontecer por meio de leituras, vídeos, simuladores e outros materiais selecionados pelo professor na elaboração da pré-aula. A grande vantagem deste momento é a liberdade que o aluno possui para o estudo, ele pode rever o material e dar ênfase no que julgar mais importante até atingir uma compreensão adequada do objeto de estudo, muito diferente da aula expositiva tradicional [18].

Durante a aula, o professor propõe um problema que valoriza a aplicação dos conceitos estudados em casa pelos alunos. Geralmente, essas atividades valorizam a postura ativa dos alunos, o professor tem apenas a função de orientá-los ao longo do processo, ressignificando as relações de aprendizagem que conhecemos tradicionalmente. O trabalho de Valente [15] retirou do relatório Flipped Classroom Field Guide as seguintes regras básicas para inverter a sala de aula:

1) as atividades em sala de aula envolvem uma quantidade significativa de questionamento, resolução de problemas e de outras atividades de aprendizagem ativa, obrigando o aluno a recuperar, aplicar e ampliar o material aprendido on-line; 2) Os alunos recebem feedback imediatamente após a realização das atividades presenciais; 3) Os alunos são incentivados a participar das atividades on-line e das presenciais, sendo que elas são computadas na avaliação formal do aluno, ou seja, valem nota; 4) tanto o material a ser utilizado on-line quanto os ambientes de aprendizagem em sala de aula são altamente estruturados e bem planejados.

Bacich e Moran [16] defendem o modelo da sala de aula invertida, pois argumentam que é importante a interação do estudante com o conteúdo antes da formalização da teoria em sala de aula.

Diversos estudos têm demonstrado que os estudantes constroem sua visão sobre o mundo ativando conhecimentos prévios e integrando

as novas informações com as estruturas cognitivas já existentes para que possam, então, pensar criticamente sobre os conteúdos ensinados. (p. 46)

Oliveira *et al.* [18] destaca a função do professor e do aluno dentro desta metodologia. Assim, o docente passa a ter um papel de atuação diferente na sala de aula invertida, ele concentra suas atividades na criação, seleção e organização do material de estudo para as pré-aulas. E, planeja tarefas ou métodos que estimulam o engajamento dos estudantes com o objeto de estudo nos encontros presenciais. Com isso, o professor tem seu papel ressignificado, deixa de ser um expositor oral e passa a ter um papel mais importante no planejamento das aulas e orientação dos discentes.

Enquanto isso, os alunos passam a ser o centro do processo educativo, o qual está exemplificado no trecho a seguir.

Os alunos se tornam corresponsáveis tanto pela própria aprendizagem quanto pela dos colegas. Quando estão em casa, são encarregados de se prepararem para as atividades que serão desenvolvidas em sala de aula. Em classe, são responsáveis por ajudar os colegas nas atividades e contribuir para as discussões orientadas pelo professor, o que, por sua vez oportuniza a consolidação do que está sendo por eles aprendido. (Ref. [18], p. 6).

Algumas vantagens associadas ao uso da sala de aula invertida estão apresentadas a seguir:

- Considera os conhecimentos prévios dos alunos.
- Atende os diferentes alunos presentes na sala de aula.
- Auxilia no desenvolvimento de hábitos de estudos nos estudantes.
- Auxiliam no desenvolvimento da capacidade de reflexão e da habilidade de elaborar boas perguntas.
- Estimula o desenvolvimento de habilidades relacionadas ao trabalho colaborativo.
- Leva a aprendizagem significativa.

3.2.3 Instrução pelos Colegas (Peer Instruction)

Instrução pelos colegas é considerado um método ativo para inverter as aulas e foi desenvolvido pelo professor de física, Eric Mazur da universidade de Harvard [19]. Oliveira *et al.* [18] (p. 9) resume que nessa metodologia:

“[...]o professor apresenta um teste conceitual (Puzzle) aos alunos, os quais o respondem individualmente, utilizando algum sistema de votação. Em seguida, dependendo da quantidade de acertos, o professor instrui os alunos a tentarem convencer uns aos outros de suas respostas [...] por fim, o método prevê uma segunda votação, após a discussão entre os colegas”

Neste método, o professor pode disponibilizar um conteúdo com um conjunto de questões para o aluno estudar antes da aula. Sempre que possível, o professor recebe as respostas das questões dias antes de ministrar a aula, assim pode diagnosticar e preparar atividades focadas nas dificuldades dos alunos para a aula presencial. Ainda, segundo Valente [15] (p. 88) “durante a aula, as discussões são intercaladas com testes conceituais, destinados a expor as dificuldades que os alunos encontram”. Esses testes podem ser realizados por sistemas interativos de votação, como o Plickers [20]. A vantagem é que se trata de um aplicativo gratuito e de resposta imediata.

Em geral, a instrução pelos colegas ocorre em ciclos de 13 a 15 minutos. Primeiramente, o professor faz uma exposição oral, enfatizando as principais dúvidas dos alunos referentes ao estudo antes da aula, em seguida, apresenta um teste conceitual, onde os alunos têm de 2 a 3 minutos para pensar e responder individualmente. O uso do Plickers é interessante, pois apenas o professor tem acesso a quantidade de acertos. Se a porcentagem de acertos foi entre 30% e 70%, os alunos devem discutir a questão em pequenos grupos, enquanto o professor circula pela sala promovendo discussões produtivas. Após, 2 ou 3 minutos de discussão colaborativa, os alunos voltam a responder o teste conceitual. Em seguida, o professor discute a resposta verdadeira e complementa com exemplos relevantes [15, 18].

Outras possibilidades também podem acontecer, caso a porcentagem de acertos seja inferior a 30%, o professor discute o teste e propõe uma nova questão conceitual do mesmo tema. E, se for maior que 70%, o professor discute a questão e propõe um novo tema.

As vantagens deste método é que ele obriga os alunos a pensarem como elaborar argumentos e permite que eles auto avaliem o nível de compreensão dos conceitos estudados. Valente também enfatiza que “utilizando-se essa estratégia, foi verificado que os estudantes apresentam ganhos significativos na compreensão conceitual, avaliados com testes padronizados, bem como ganham habilidades para resolver problemas comparáveis aos adquiridos nas aulas tradicionais” [15] (p. 88).

A eficiência do método pode ser creditada, em sua maior parte, no ensino colaborativo entre os estudantes. Um aluno que “acabou de compreender determinado conceito pode ter uma forma diferente e, muitas vezes, mais eficiente que a do professor, de explicar àquele que ainda está com dificuldades de entendimento” [18].

Por fim, o trecho escrito por Bacich e Moran representa um bom resumo da eficiência do método de instrução pelos colegas.

O trabalho colaborativo pode estar aliado ao uso das tecnologias digitais propiciando momentos de aprendizagem e troca que ultrapassam as barreiras da sala de aula. Aprender com os pares torna-se ainda mais significativo quando há um objetivo comum a ser alcançado pelo grupo [16].

Utilizamos instrução pelos colegas nas aulas presenciais fazendo uso do Plickers, na intenção de verificar a eficácia da sequência didática e o conhecimento adquirido pelos alunos. Indiretamente, também visamos o desenvolvimento do ensino colaborativo entre os estudantes.

Capítulo 4

A física dos neutrinos explorada no produto educacional

Cumprindo as normas do MNPEF, este capítulo apresenta a física presente no produto educacional, a física dos neutrinos. A abordagem será de forma qualitativa, mas com um nível de conceitos que está muito além dos conteúdos apresentados em livros de física básica. De fato, utilizamos como referência básica o livro *Introduction to Elementary Particles*, de D. Griffiths [21], além de artigos acadêmicos e sites especializados no tema.

4.1 Situando os neutrinos no modelo padrão

As partículas elementares carregam esse nome, pois são estruturas que não podem ser “quebradas” e formam tudo a nossa volta. Por exemplo, dentre as partículas que constituem um átomo, apenas o elétron é uma partícula elementar, pertencente ao grupo dos léptons. Os prótons e nêutrons apresentam estruturas internas, os dois apresentam 3 quarks que se mantêm unidos por glúons, conforme mostra a figura 4.1.

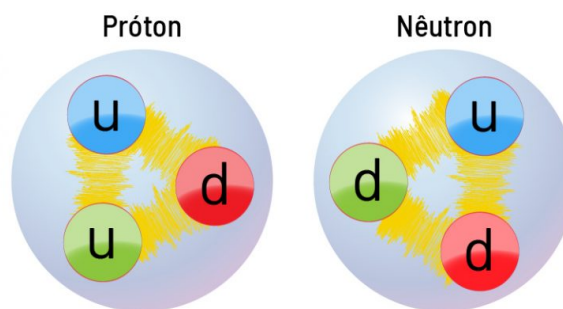


Figura 4.1: Quarks dentro do próton e do nêutron. Ilustração: Beatriz Abdalla/Jornal da USP.

Nesta pequena discussão, nota-se que as partículas elementares interagem entre si formando a natureza como conhecemos. A teoria que melhor explica a natureza da matéria,

descrevendo bem as partículas elementares e suas interações é conhecida como Modelo Padrão. Essa teoria é complexa, mas aqui ela será discutida de maneira qualitativa e simplificada, pois o propósito é situar os neutrinos.

Nessa teoria, as partículas elementares são divididas em 2 grupos: os férmions (partículas que constituem a matéria) e os bósons (partículas responsáveis pelas interações fundamentais). Os férmions (de spin semi-inteiro) são representados pelos léptons e quarks, enquanto os bósons (de spin inteiro) correspondem às partículas mediadoras, conhecidas também por um nome mais técnico – “bósons de *gauge*”, e pelo bóson de Higgs. A tabela a seguir mostra as partículas elementares organizadas de acordo com as suas propriedades (figura 4.2).

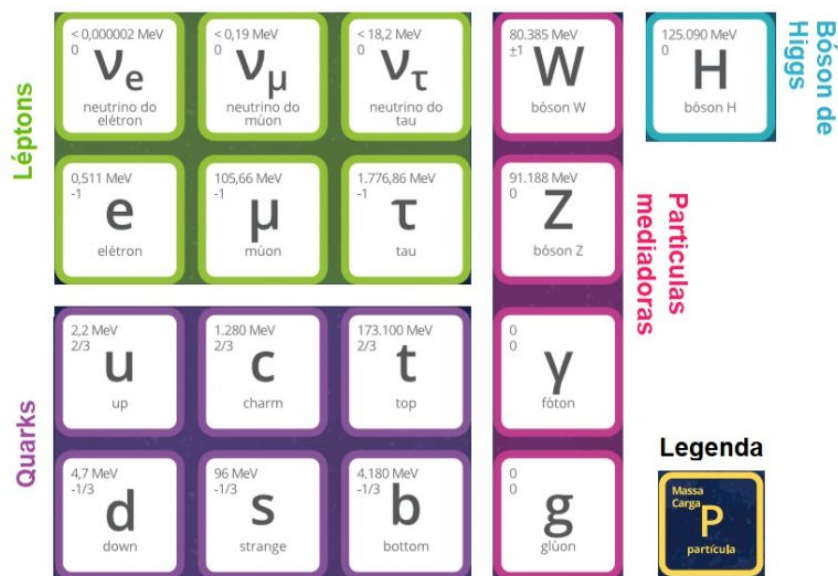


Figura 4.2: Partículas elementares e o modelo padrão. Figura editada da fonte: <https://sprace.org.br/>

4.1.1 As partículas elementares

Há 6 tipos de quarks: up, down, charm, strange, top e bottom. Cada tipo pode existir em 3 “cores”, vermelho, verde e azul, totalizando 18 quarks distintos. A “cor” pode ser entendida como um número quântico exclusivo dos quarks. Para cada quark existe uma respectiva antipartícula, os antiquarks. Em geral, eles apresentam carga elétrica oposta ao seu respectivo quark. Assim, há 36 quarks distintos.

Na natureza, os quarks são encontrados em grupos, estruturas conhecidas como hádrons. Esses hádrons podem ser classificados em bárions (estruturas de 3 quarks) ou mésons (estruturas de 1 quark e 1 antiquark). Os prótons e nêutrons são exemplos de bárions, apresentando 3 quarks cada um, conforme a figura 4.1.

Os léptons também aparecem em 6 tipos: elétron, neutrino do elétron, múon, neutrino

do múon, tau e neutrino do tau. Essas partículas não se agrupam entre si como os quarks. Para cada elétron existe uma respectiva antipartícula, os antielétrons. Em geral, eles apresentam carga elétrica oposta ao seu respectivo elétron. Mas como os neutrinos possuem carga elétrica nula, a regra anterior não se aplica. Assim, distinguimos um neutrino de seu antineutrino através do número leptônico oposto (será detalhado nas seções futuras). Assim, há 12 léptons distintos.

As partículas mediadoras são: o fóton, os glúons (existem 8 tipos), os bósons de interação fraca (Z, W^+ e W^-) e o gráviton (nunca detectado e desprezível no mundo subatômico). Essas partículas são responsáveis por mediar as 4 interações fundamentais da natureza. Para cada uma das interações é associada uma partícula mediadora:

- A interação eletromagnética tem o fóton como partícula mediadora.
- A interação forte tem o glúon como partícula mediadora.
- A interação fraca tem os bósons de interação fraca como partícula mediadora.
- A interação gravitacional tem supostamente o gráviton como partícula mediadora.

Essas partículas mediadoras apresentam partículas iguais as suas antipartículas, com exceção dos bósons W^+ e W^- , que representam partícula e antipartícula. Como o modelo padrão não explica a interação gravitacional, o gráviton não entra na contagem dessas partículas elementares. Assim, há 12 partículas mediadoras distintas.

Existe uma outra partícula elementar, o bóson de Higgs. Ele é um bóson, mas apresenta características um pouco diferente das outras partículas mediadoras. Ele possui spin 0 e é responsável pelo surgimento das massas das partículas elementares. Dentro das partículas previstas pelo modelo padrão, ela foi a última a ser detectada, em 2012, pelo experimento Large Hadron Collider (LHC), no CERN.

A figura 4.3 foi retirada do texto “Sobre o discreto charme das Partículas Elementares” [22] e agrupa as 61 partículas discutidas até aqui.

	PARTÍCULAS	ANTIPARTÍCULAS	TOTAL
QUARKS	u, d, s, c, b, t (cada pode ter 3 cores) (6x3=18)	$\bar{u}, \bar{d}, \bar{s}, \bar{c}, \bar{b}, \bar{t}$ (cada pode ter 3 cores) (6x3=18)	36
LÉPTONS	e, ν_e , μ , ν_μ , τ , ν_τ (6)	$\bar{e}, \bar{\nu}_e, \bar{\mu}, \bar{\nu}_\mu, \bar{\tau}, \bar{\nu}_\tau$ (6)	12
MEDIADORAS	$\gamma, Z, W^+, g_1, g_2, g_3, g_4, g_5, g_6, g_7, g_8$ (11)	W^- (1), as <u>antipartículas</u> são as mesmas que as partículas	12
HIGGS	H (1)	(Logo, não entram nessa contagem)	1
TOTAL	37	24	61

Figura 4.3: Todas as partículas elementares previstas pelo modelo padrão.

4.1.2 Relação entre as interações fundamentais e as partículas.

O modelo padrão descreve 3 interações fundamentais: eletromagnética, fraca e forte. Como já discutido anteriormente, a interação gravitacional não é explicada por esta teoria.

Interação eletromagnética

Segundo a teoria, apenas as partículas que apresentam carga elétrica diferente de zero podem experimentar a interação eletromagnética. Se elas apresentarem cargas elétricas de sinais contrários experimentam uma interação atrativa, por exemplo, elétron ($-e$) interagindo com próton ($+e$). Enquanto as partículas com cargas de sinais iguais se repelem, por exemplo, próton interagindo com próton.

Quando há interação eletromagnética um fluxo de fótons é trocado entre as partículas interagentes. Por exemplo, um próton interage com o elétron através da interação eletromagnética, durante o tempo de interação, haverá troca de fótons entre as 2 partículas. Por esta razão, os fótons são conhecidos como as partículas mediadoras da Interação Eletromagnética.

Esta interação possui um infinito alcance, mas diminui a intensidade com o afastamento das partículas interagentes. Sua intensidade é de, aproximadamente, mil vezes menor que a interação forte.

Interação forte

Apenas as partículas que apresentam carga cor podem experimentar a interação forte. A carga cor é uma propriedade como a carga elétrica, apenas quarks e glúons a possuem. Este tipo de interação é sempre atrativa, na prática, ela é responsável por manter prótons e nêutrons unidos num núcleo atômico.

Quando há interação forte um fluxo de glúons é trocado entre as partículas interagentes. Por exemplo, os quarks dentro de um próton são atraídos entre si através da interação forte, durante o tempo de interação haverá troca de glúons entre as 3 partículas. Por essa razão que os glúons são conhecidos como as partículas mediadoras da interação forte.

Esta interação possui curtíssimo alcance (da ordem de 10^{-15} m), ou seja, os quarks devem estar muito próximos para que a interação ocorra. Sua intensidade é a maior entre as 4 interações fundamentais.

Interação fraca

Apenas as partículas que apresentam carga fraca podem experimentar a interação fraca. A carga fraca é uma propriedade como a carga elétrica, ela está presente nos quarks e léptons.

Esta interação é responsável pelo decaimento das partículas instáveis que buscam estabilidade. Um exemplo de decaimento pode ser visto na banana, ela possui o isótopo potássio 40, o qual apresenta 19 prótons e 21 nêutrons. O excesso de nêutrons faz com que o núcleo do potássio 40 seja instável, assim um nêutron se transforma num próton e emite um bóson W^- *virtual*, que por sua vez dá origem a um elétron e um antineutrino do elétron.

Quando há interação fraca, os bósons W^+ , W^- ou Z são trocados entre as partículas interagentes. Por essa razão, os bósons W^+ , W^- e Z são conhecidos como as partículas mediadoras da interação fraca.

Esta interação possui alcance mais curto de todas (da ordem de 10^{-18} m), ou seja, as partículas devem estar muito próximas para que a interação ocorra. Sua intensidade é de, aproximadamente, 100 trilhões de vezes menor que a interação forte.

4.1.3 Representação gráfica das interações

Richard Feynman desenvolveu uma maneira simples e intuitiva de representar as interações descritas no modelo padrão, os diagramas de Feynman. Os diagramas apresentados na figura 4.4 são conhecidos como vértices fundamentais, ou seja, uma maneira gráfica de representar as interações eletromagnética, forte e fraca. Esses vértices são fundamentais, pois eles podem ser combinados ou ampliados para representar eventos mais complexos, como os que ainda serão apresentados neste trabalho. [21]

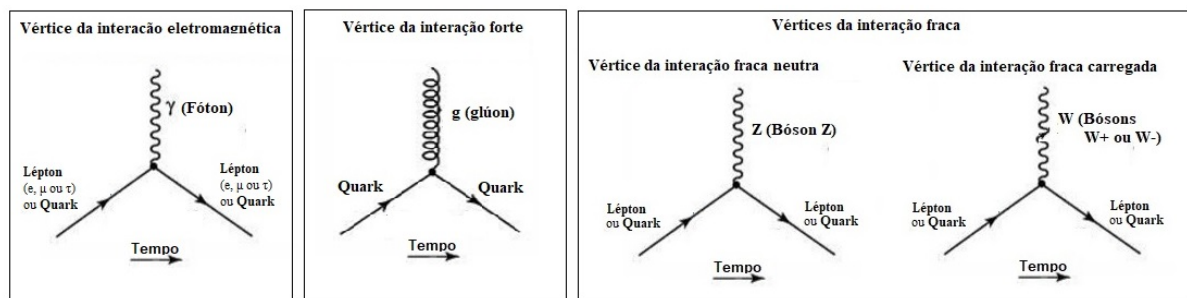


Figura 4.4: Vértices fundamentais (diagramas de Feynman). Editado da Ref. [21].

Uma regra básica desse diagrama é que todas as flechas apontadas no sentido do tempo representam partículas e as flechas apontadas contra o sentido do tempo representam antipartículas.

A construção de um diagrama de Feynman segue regras bem definidas e sua análise é complexa para nosso propósito. Logo, este trabalho não irá aprofundar na análise desses diagramas, pois o objetivo é apresentar uma maneira mais intuitiva de enxergarmos as interações dos neutrinos.

Como os neutrinos não apresentam carga elétrica e nem carga cor, eles não podem sofrer as interações eletromagnética e forte. Dentre as 3 interações explicadas pelo modelo padrão, os neutrinos são afetados apenas pela interação fraca. Assim, dos vértices fundamentais apresentados na figura 4.4, os neutrinos interagem trocando, apenas, os bósons Z , W^+ ou W^- . A interação fraca pode ser neutra ou carregada, a neutra é mediada pelo bóson Z e a carregada é mediada pelos bósons W^+ ou W^- . [21]

4.2 Uma introdução às propriedades dos neutrinos

Atualmente, os maiores desafios no entendimento dessas partículas estão no entorno de suas propriedades básicas. Algumas propriedades já estão bem definidas, mas outras ainda necessitam ser compreendidas. Desta forma, esta seção irá apresentar e discutir algumas propriedades dos neutrinos.

4.2.1 Sabor

Como apresentado na seção anterior, os neutrinos são partículas elementares da natureza, ou seja, são partículas que não podem ser divididas em estruturas menores. Eles aparecem em 3 sabores diferentes: neutrinos do elétron, neutrinos do múon e neutrinos do tau.

Sempre que um neutrino é criado ou aniquilado há o envolvimento de um lépton (elétron, múon ou tau), o qual dá sabor ao neutrino. Por exemplo, sempre que um neutrino do elétron for criado ou aniquilado, haverá a presença de um elétron. O aparecimento de um lépton junto ao neutrino é o que permite detectá-lo e identificá-lo, pois a partícula raramente interage com a matéria. Assim, o neutrino só pode ser detectado de maneira indireta. Essa discussão será detalhada na seção “Observando os neutrinos”.

4.2.2 Carga elétrica

Podemos dizer que a carga elétrica ocorre na natureza de maneira discreta. A carga elétrica é mensurada de tal maneira que os léptons pesados (elétron, múon ou tau) apresentam carga elétrica igual a -1 (em unidades de carga fundamental e), enquanto os quarks apresentam cargas múltiplas de $1/3$. Em outras palavras, a carga elétrica de uma partícula é quantizada, podendo assumir números positivos ou negativos. Além disso, ela deve ser conservada nos processos de interação entre as partículas e podemos considerá-la como um número quântico.

Os neutrinos e antineutrinos apresentam carga elétrica nula, logo, necessitam de outro número quântico para diferenciá-los: o número leptônico.

4.2.3 Número leptônico

O número leptônico é número quântico associado aos léptons, sendo igual a $+1$ para cada um dos léptons (elétron, neutrino do elétron, múon, neutrino do múon, tau e neutrino do tau) e é igual a -1 para cada um dos antiléptons. Até o momento, experimentos mostram que o número leptônico é sempre conservado.

Esse número é o responsável por diferenciarmos um neutrino de um antineutrino, já que sua carga elétrica é nula. Com isso, o número leptônico dos neutrinos é igual a $+1$ enquanto o antineutrino apresenta um número leptônico oposto, -1 . [21]

4.2.4 Helicidade e quiralidade

Helicidade diz o quão paralelo está o vetor spin de uma partícula em relação a direção do seu momento linear. Ela assume valores discretos, idênticos ao número quântico de spin. Assim, se os vetores spin e momento linear forem paralelos, a helicidade será positiva e a partícula será chamada de mão direita. Mas, se os vetores spin e momento linear forem antiparalelos, a helicidade será negativa e a partícula será chamada de mão esquerda. Se o spin e o momento linear forem ortogonais, não haverá helicidade.

A helicidade varia conforme a velocidade do referencial inercial, ou seja, ela é uma propriedade relativa. A figura 4.5 mostra uma partícula de spin S vista de diferentes referenciais inerciais como exemplo. O referencial 1 é estático, resultando numa helicidade positiva e numa partícula de mão direita. Enquanto o referencial 2 é mais veloz que a partícula, resultando numa partícula com helicidade negativa, ou seja, ela passa a ser mão esquerda.

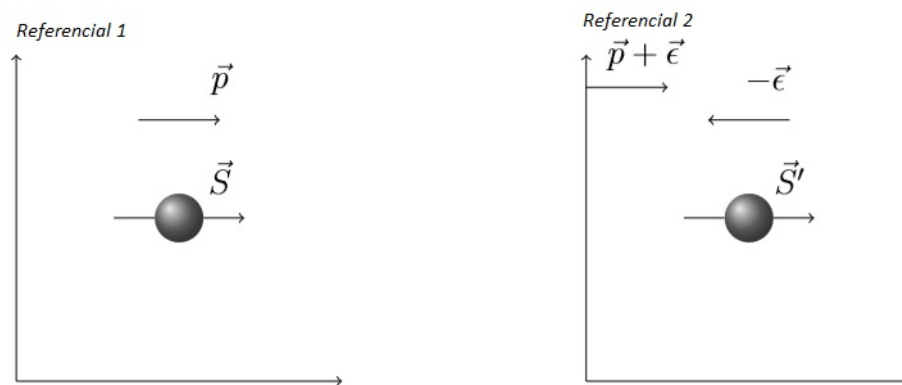


Figura 4.5: Exemplo de uma partícula de spin S visto de diferentes referenciais inerciais.

A helicidade deixa de ser relativa para partículas sem massa, pois elas viajam com a velocidade da luz, tornando impossível um referencial que inverta o sentido do momento linear desta partícula.

Já a quiralidade é uma propriedade intrínseca das partículas e pode ser classificada em mão direita ou mão esquerda. Em geral, cada partícula e cada antipartícula apresentam quiralidade nas 2 versões, mão esquerda e mão direita. Por exemplo, o elétron pode existir como mão esquerda e mão direita. O pósitron pode existir como mão esquerda e mão direita. Na teoria, nada impede que os neutrinos sejam mão direita e mão esquerda. Mas na prática, todos os neutrinos detectados até hoje foram de mão esquerda. Assim, como todos os antineutrinos observados foram de mão direita.

Em resumo, a helicidade é uma propriedade relativa que depende do observador e a quiralidade é uma propriedade absoluta e intrínseca da partícula, assim como a carga elétrica e o spin.

A quiralidade é levada em consideração nos cálculos do Modelo Padrão para determinar se partícula interage fracamente ou não. Na prática, a natureza trata as quiralidades de maneira diferente, apenas as partículas de mão esquerda interagem com os bósons W (mediador da interação fraca carregada). Ao mesmo tempo, apenas as antipartículas de mão direita interagem com os bósons W .

4.2.5 Processos de interação dos neutrinos

A interação de neutrinos pode ocorrer por 2 processos distintos, espalhamento ou decaimento. Assim, iremos apresentar um exemplo para cada um desses processos que envolvem os neutrinos, detalhando o tipo de interação ocorrida e a conservação do número leptônico.

Exemplo 1: Processo de decaimento do múon

Neste exemplo, o múon se transforma em um elétron, um antineutrino e um neutrino. Como o decaimento envolveu um múon e um elétron, ou seja, 2 léptons distintos, torna-se mais complexo determinar os sabores dos neutrinos. Esta conclusão só é possível quando levamos em consideração a conservação do número leptônico. Com isso, temos que o neutrino é muônico e o antineutrino é eletrônico, conforme mostra a equação abaixo.

$$\mu \rightarrow e + \bar{\nu}_e + \nu_\mu \quad (4.1)$$

A figura 4.6 exemplifica a conservação do número leptônico. Nela observamos que o número leptônico resultante antes do decaimento (= 1) é o mesmo após o decaimento (= 1), respeitando a conservação.

	muon	muon neutrino	electron	e ⁻ antineutrino
Equação	μ	$\rightarrow \nu_\mu$	$+ e^-$	$+ \bar{\nu}_e$
Número do Elétron:	0	= 0	+ 1	+ -1
Número do Múon:	1	= 1	+ 0	+ 0
Número do Tau:	0	= 0	+ 0	+ 0

1 = 1

Antes Depois

Figura 4.6: Conservação do número leptônico no decaimento do múon.

Nesse decaimento ocorreu uma interação fraca carregada, ou seja, durante esse processo, há troca do bóson W entre as partículas. A figura 4.7 ilustra o múon decaindo

em um neutrino do múon e um bóson W^- virtual, dando origem a um elétron e um antineutrino do elétron.

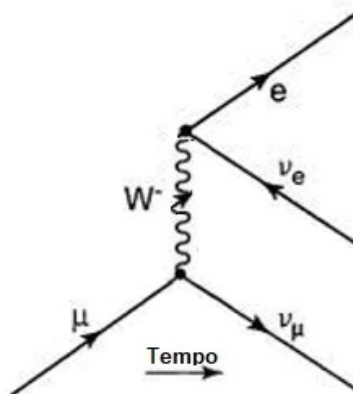


Figura 4.7: Diagrama de Feynman do decaimento do múon.

Na prática um neutrino com energia suficiente pode se transformar no seu respectivo lépton. Por exemplo, um neutrino do elétron pode se transformar num elétron. Isso só irá acontecer se o neutrino tiver energia suficiente para criar a massa do seu lépton mais pesado (por conta da equivalência energia-massa, $E = mc^2$). Esse fenômeno é responsável para que um neutrino possa ser detectado com o seu respectivo sabor.

Exemplo 2: Processo de espalhamento neutrino-elétron

Durante o processo de espalhamento, há troca do bóson Z entre as partículas, caracterizando a interação fraca neutra. Nesse processo, a interação entre as partículas resulta na transferência de energia e da quantidade de movimento.

O espalhamento neutrino-elétron pode ser representado pela equação:

$$\nu_\mu + e^- \rightarrow \nu_\mu + e^- \quad (4.2)$$

Claramente, nota-se a conservação do número leptônico, uma vez que há conservação das partículas após a interação.

A interação fraca neutra deste processo pode ser observado na (figura 4.8).

Na prática, um neutrino com altíssima velocidade pode “interagir” com um elétron, transferindo energia e momento. Como consequência, esse elétron pode atingir velocidades superiores à da luz no meio que a interação ocorreu. Esse fenômeno é responsável para que um neutrino possa ser detectado.

4.2.6 Oscilação de neutrinos

A oscilação de neutrinos pode ser verificada quando medimos, a partir de uma fonte, variações na quantidade de neutrinos em diferentes distâncias, ou seja, o sabor do neutrino

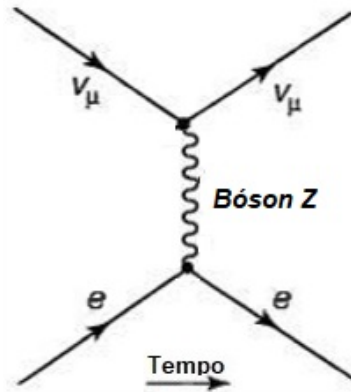


Figura 4.8: Diagrama de Feynman do espalhamento neutrino-elétron.

pode mudar entre sua fonte e sua detecção. Griffiths [21] ressalta que essa explicação foi dada por Bruno Pontecorvo, em 1968, quando ele propôs que os neutrinos eletrônicos produzidos pelo sol se transformavam em outros sabores ao longo do deslocamento.

O trabalho de Valdivieso e Guzzo [23] explica a oscilação de neutrinos de forma pedagógica, assim utilizaremos como principal referência desta seção. Primeiramente, devemos entender que os neutrinos possuem 3 sabores (ν_e, ν_μ e ν_τ) e cada um deles é constituído por uma “combinação” de 3 massas distintas (m_1, m_2 e m_3). Essas massas são conhecidas como neutrinos físicos, os quais são denominadas por ν_1, ν_2 e ν_3 . Desta maneira, associamos o ν_1 com m_1 , ν_2 com m_2 e ν_3 com m_3 . A figura 4.9 ajuda no entendimento dessa relação entre os sabores e os neutrinos físicos.

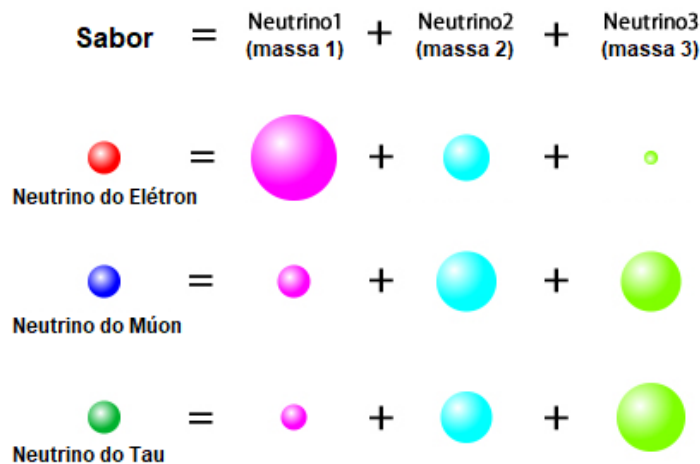


Figura 4.9: Relação entre sabores e neutrinos físicos. (Fonte: Super-Kamiokande)

Um fato interessante é que a interação fraca cria e aniquila, apenas, estados mistos de neutrinos físicos (ν_e, ν_μ e ν_τ), mas não interage com os neutrinos físicos (ν_1, ν_2 e ν_3) individualmente. Desta maneira, os neutrinos ν_e, ν_μ e ν_τ podem interagir e ser detectados via interação fraca, mas não temos informações precisas sobre suas massas. Por outro

lado, ν_1 , ν_2 e ν_3 possuem massas bem definidas, mas não são detectáveis diretamente.

Por exemplo, quando detectamos um neutrino do elétron (ν_e), na realidade, estamos detectando uma “combinação” dos 3 neutrinos físicos:

$$\nu_e = U_{e1}\nu_1 + U_{e2}\nu_2 + U_{e3}\nu_3 \quad (4.3)$$

onde U_{e1} , U_{e2} e U_{e3} são os coeficientes de mistura, ou seja, eles determinam o quanto de cada neutrino físico compõe o neutrino do elétron ν_e . O mesmo ocorre para os outros dois sabores ν_μ e ν_τ .

Assim, cada sabor do neutrino é dado pela superposição de neutrinos físicos:

$$\begin{aligned} \nu_e &= U_{e1}\nu_1 + U_{e2}\nu_2 + U_{e3}\nu_3 \\ \nu_\mu &= U_{\mu1}\nu_1 + U_{\mu2}\nu_2 + U_{\mu3}\nu_3 \\ \nu_\tau &= U_{\tau1}\nu_1 + U_{\tau2}\nu_2 + U_{\tau3}\nu_3 \end{aligned} \quad (4.4)$$

Do ponto de vista quântico, podemos dizer que cada uma das equações acima representa uma superposição de neutrinos físicos. Também, podemos escrever os estados de sabor em função dos neutrinos físicos desta maneira:

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U_{e1} & U_{e2} & U_{e3} \\ U_{\mu1} & U_{\mu2} & U_{\mu3} \\ U_{\tau1} & U_{\tau2} & U_{\tau3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \\ \nu_3 \end{pmatrix} \quad (4.5)$$

Em uma linguagem mais técnica dizemos que os neutrinos ν_e, ν_μ e ν_τ são auto-estados de interação (ou estados de sabor), enquanto os neutrinos ν_1, ν_2 e ν_3 são auto-estados de propagação (ou estados de massa). (Ref. [23], p. 498).

Como os coeficientes de mistura sofrem alterações contínuas durante o deslocamento do neutrino, a probabilidade dele mudar seu sabor altera conforme o deslocamento da partícula (x). Observe a equação retirada do trabalho de Valdivieso e Guzzo [23], mostra que a probabilidade de mudança de sabor depende do deslocamento (x) e da diferença do quadrado das massas.

$$P_{ee} = 1 - \text{sen}^2 2\theta \text{sen}^2 \left(\frac{\Delta}{4E} x \right), \quad (4.6)$$

sendo $\Delta = m_2^2 - m_1^2$.

A partir da equação apresentada, observa-se que os neutrinos só podem mudar de sabor ao longo de sua trajetória se apresentarem massas diferentes de zero.

4.3 Fontes de produção dos neutrinos

Neutrinos produzidos por decaimento beta

O processo conhecido como decaimento já foi apresentado na seção 4.2.5. Mas o entendimento da produção de neutrinos por decaimento beta é importante para a compreensão de outras fontes de neutrinos.

O decaimento beta é um processo onde um quark down se transforma num quark up, um elétron e um antineutrino do elétron. Pensando numa escala maior, esse decaimento justifica a produção de um neutrino quando um nêutron decai num próton (equação 4.7). O decaimento beta é o mecanismo que produz os neutrinos solares, neutrinos de reatores nucleares e os geoneutrinos.



Aproveitando a discussão, apresentaremos o decaimento beta inverso, pois ele é o processo empregado em alguns tipos de detecção de neutrinos. Haverá um maior detalhamento na próxima seção, “Observando os neutrinos”. Neste tipo de decaimento, um próton interage com um antineutrino do elétron formando um nêutron e um pósitron (que é o antielétron), conforme a equação 4.8.



Em ambos os processos, observa-se a conservação da carga elétrica e do número leptônico.

Neutrinos de aceleradores

Os neutrinos de aceleradores são produzidos em aceleradores de partículas, ou seja, através de um processo artificial. Dentro dos aceleradores, os feixes de prótons são acelerados até velocidades próximas a da luz, tornando-os altamente energéticos. Então, os prótons são lançados contra um alvo, resultando em nêutrons, π^+ (píons com carga $+e$) e π^- (píons com carga $-e$). Neste estágio, é possível separar os píons carregados utilizando um campo magnético. Por exemplo, para produzir um feixe de neutrinos, o campo magnético será ajustado para que os π^+ façam uma curva diferente dos π^- , separando-os. Num curto intervalo de tempo, os píons positivos decaem em múons e neutrinos do múon. Ao término do processo, todas as partículas restantes atingem um enorme bloco de aço ou concreto, resultando num feixe intenso de neutrinos de acelerador. Os neutrinos de aceleradores são neutrinos do múon ou antineutrinos do múon.

No mundo, poucos centros de pesquisas possuem aceleradores de prótons capazes de produzir feixes neutrinos intensos, apenas: J-Park (Japão), Fermilab (EUA) e o CERN (Europa).

Os feixes de neutrinos criados em aceleradores são utilizados em experimentos que investigam as propriedades dos neutrinos. Em geral, os experimentos utilizam um detector próximo da fonte do feixe (short-baseline neutrino experiment) e outro longe da fonte do feixe (long-baseline neutrino experiment). A figura 4.10 ilustra o posicionamento dos dois detectores e o feixe de neutrinos espalhando com o afastamento da fonte.

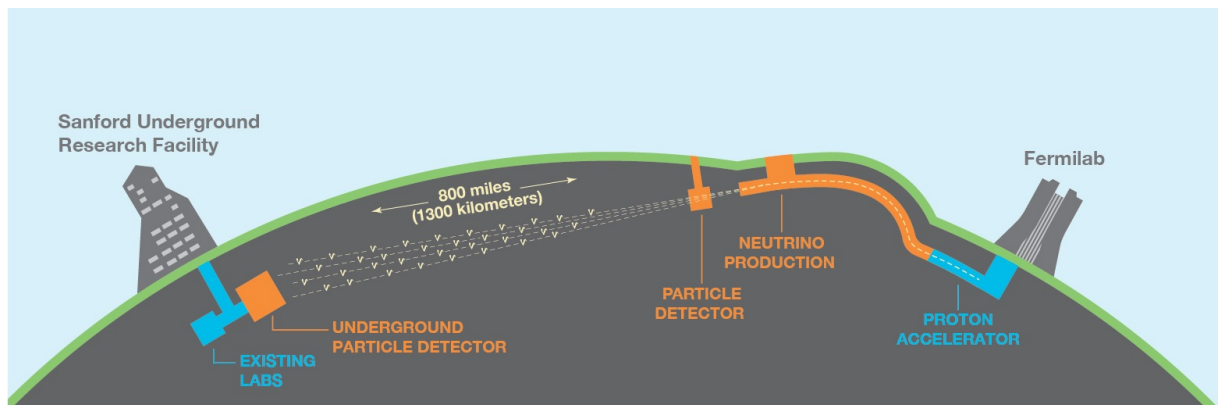


Figura 4.10: Ilustração do experimento DUNE, com seus dois detectores (perto e longe) [24].

O detector próximo da fonte detecta os neutrinos recém-criados, pois é importante caracterizar a quantidade de partículas e a energia dos neutrinos antes de possíveis contaminações dos feixes. Já o detector mais distante, detecta um menor número de neutrinos, mas se propõe a entender melhor a oscilação de neutrinos e quais os efeitos da matéria sobre esse fenômeno.

Neutrinos atmosféricos

Os neutrinos produzidos nesta fonte são produtos resultantes da interação de um raio cósmico primário (geralmente prótons na faixa de GeV) com núcleos presentes em nossa atmosfera (em sua maioria nitrogênio, oxigênio e argônio). Antes da criação de neutrinos, essa primeira interação entre raios cósmicos e partículas da atmosfera produz hádrons mais leves, os píons, que decaem em múons e neutrinos muônicos. Rapidamente, os múons decaem em elétrons, neutrinos eletrônicos e neutrinos muônicos [25]. Essas sucessivas transformações originam um “chuveiro de partículas”, contendo $1/3$ de (anti)neutrinos eletrônicos e $2/3$ (dois terços) de (anti)neutrinos muônicos (figura 4.11).

Os neutrinos atmosféricos são utilizados em experimentos que investigam as propriedades dos neutrinos, o principal experimento está situado no Japão, o Super-Kamiokande. Para investigar a oscilação, o Super-Kamiokande detecta neutrinos do múon originados

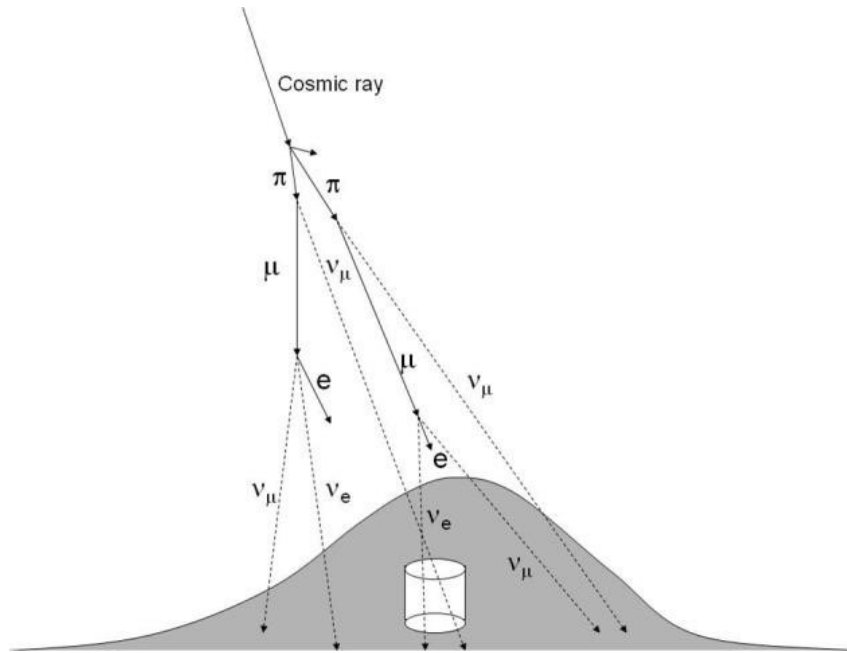


Figura 4.11: Produção de neutrinos na interação entre raios cósmicos primários e núcleos atmosféricos. Fonte: Takaaki Kajita na revista Proceedings of the Japan Academy

em qualquer região da atmosfera terrestre. Por exemplo, a figura 4.12 ilustra a produção de neutrinos atmosféricos em dois pontos do planeta, um próximo do detector (10 km de distância) e outro muito distante do detector (mais de 13000 km, do outro lado do planeta).

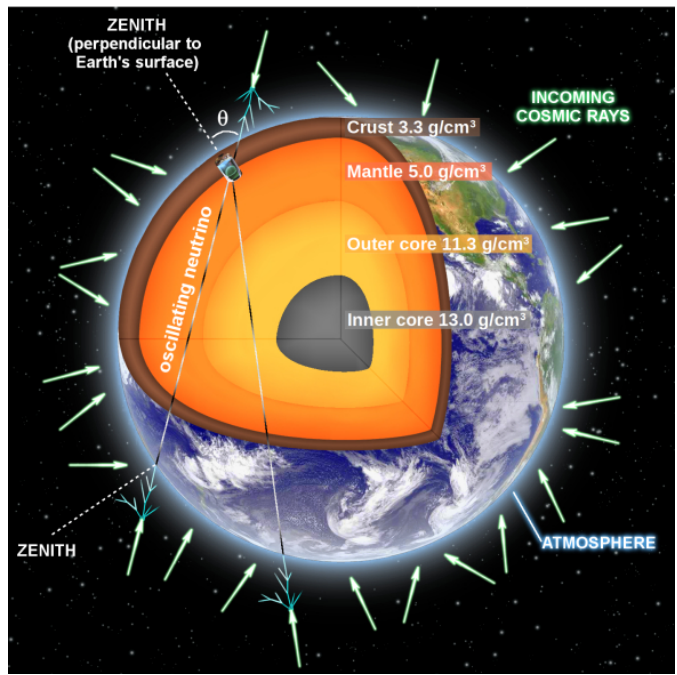


Figura 4.12: Detecção de neutrinos atmosféricos produzidos em dois pontos do planeta [26].

Neutrinos do Big Bang

Os neutrinos do Big Bang são como relíquias produzidas pouco após a criação do Universo e ainda podem ser detectadas. Uma teoria estima que existem cerca de 300 neutrinos do Big Bang em cada centímetro cúbico do Universo. Como esse neutrino apresenta baixíssima energia, sua detecção é quase impossível [8].

Esses neutrinos carregam informações de como era o Universo no seu início, e podem confirmar ou esclarecer os eventos ocorridos naquele momento, por isso a importância de detectá-lo.

A Radiação Cósmica de Fundo em Micro-ondas é a informação mais antiga do Universo já detectada, cerca de 380.000 anos após o Big Bang. Logo, encontrar os Neutrinos do Big Bang nos permitiria enxergar uma “janela” maior do passado.

Neutrinos cósmicos

Os neutrinos cósmicos não apresentam uma fonte bem definida, mas há indícios que são produzidos por aceleradores de partículas naturais de altíssimas energias, as mesmas que produzem os raios cósmicos. Essas fontes cósmicas podem ser eventos que envolvem muita energia, como: explosões de estrelas, buracos negros, explosões de raios gama, núcleos galácticos ativos ou até fenômenos nunca observados.

Esses neutrinos apresentam altas energias, milhares de vezes superior ao neutrino mais energético produzido na Terra. Daí vem o indício que suas fontes são fenômenos “violentos” como os citados anteriormente.

Os neutrinos cósmicos são importantes para a observação astronômica, uma fonte de raios cósmicos pode ser localizada quando um neutrino de alta energia é detectado. O uso dos Neutrinos Cósmicos para fazer observações astronômicas abriram as portas para a astronomia multimessageira, que utiliza diversos mensageiros (ondas eletromagnéticas, ondas gravitacionais, neutrinos e raios cósmicos) para observar a mesma fonte cósmica.

Neste contexto, um marco para a Astrofísica Cósmica aconteceu em julho de 2018, quando pela primeira na história uma fonte de raios cósmicos foi localizada, o blazar TXS 0506 + 056. Enquanto o IceCube fez a detecção de neutrinos, outros telescópios detectavam ondas eletromagnéticas (raios gama, raios-x e luz visível).

Atualmente, o maior detector de neutrinos cósmicos em operação é o IceCube, um enorme cubo de gelo de 1 km³ de volume, situado na Antártida.

Neutrinos de reatores

Os neutrinos de reatores são produzidos por decaimentos beta, consequência do processo de fissão nuclear no interior do reator. Os reatores são as maiores fontes artificiais de neutrinos do planeta, produzindo apenas antineutrinos do elétron.

Por serem produzidos artificialmente e de maneira controlada, os neutrinos de reatores são importantes para o estudo das propriedades da partícula. Atualmente, experimentos de detecção de antineutrinos são colocados a curta, média e/ou longa distância do reator, possibilitando o estudo do que acontece com o neutrino ao longo da sua viagem. As experiências relacionadas a reatores foram essenciais para desvendar os ângulos de mistura entre os estados de massas.

Os neutrinos de reatores também podem ser empregados para monitorar qualquer atividade nuclear, pois o fluxo dos antineutrinos produzidos nos reatores é diretamente proporcional a quantidade de energia liberada nos processos de fissões nucleares.

O Brasil possui um experimento de detecção dos neutrinos gerados pelo reator Angra II, conhecido como “Projeto Neutrinos Angra” [27]. Originalmente, o objetivo era de estudar as propriedades básicas do neutrino, em uma cooperação com o experimento Double Chooz, na França [28].

Neutrinos solares

Os neutrinos solares são produzidos por fusões nucleares no interior do Sol, sendo que esse conjunto de reações é conhecido como ciclo próton-próton, exemplificado na figura 4.13.

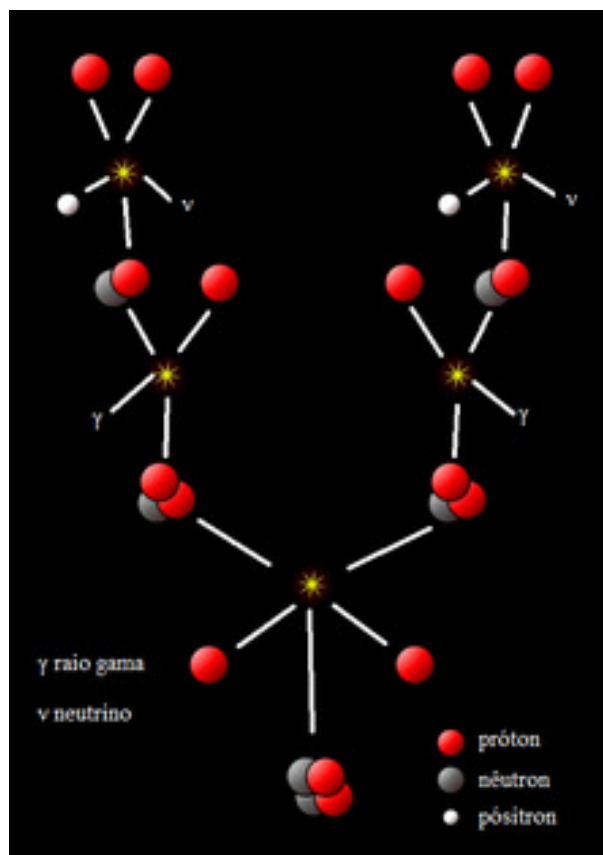
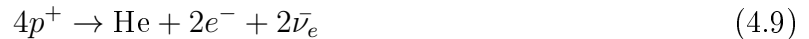


Figura 4.13: Ciclo próton-próton no Sol. Fonte: Wikipédia

A equação global do ciclo é dado pela equação 4.9.



A equação mostra que a fusão de 4 prótons resulta em um núcleo de hélio, 2 pósitrons, 2 neutrinos do elétron e energia em forma de radiação eletromagnética. Essas reações acontecem tantas vezes, que a maior parte dos neutrinos que atinge a Terra são neutrinos solares. Para ser mais preciso, a cada segundo, mais de 60 bilhões de neutrinos solares estão atravessando 1 cm² do seu corpo.

Para estudar o que acontece no interior do Sol, os cientistas utilizam 2 mensageiros que chegam à Terra, os neutrinos e as radiações eletromagnéticas (fótons). Sendo que os neutrinos solares trazem informações mais rápidas e mais confiáveis do que as radiações eletromagnéticas. Enquanto, a luz pode demorar milhares de anos para escapar do interior do Sol devido as interações com a matéria, os neutrinos escapam rapidamente e sem realizar interações com a matéria solar.

Em resumo, os Neutrinos Solares são capazes de trazer informações da atividade solar em tempo real e sem contaminação de dados, além de esclarecer cada vez mais sobre suas propriedades.

Os neutrinos produzidos no Sol apresentam diferentes faixas de energia, o que requer a construção de diferentes tipos de detectores. Atualmente, há muitos experimentos capazes de detectar os Neutrinos Solares, alguns exemplo são: o Borexino (na Itália), SuperKamiokande (no Japão), KamLand (no Japão) e Sudbury Neutrino Observatory (Canadá).

Neutrinos de supernovas

Os neutrinos de supernovas são produzidos quando uma estrela massiva colapsa. Ao colapsar, uma estrela massiva emite uma gigantesca energia, onde 99% dessa energia é emitida em forma de neutrinos. A energia dos neutrinos de supernovas estão na faixa de 10 a 30 MeV, maior que os neutrinos solares e menor que os neutrinos de reatores. Esses neutrinos possuem energias mais baixas que os neutrinos cósmicos.

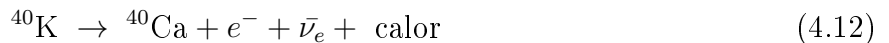
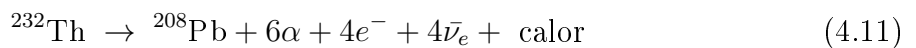
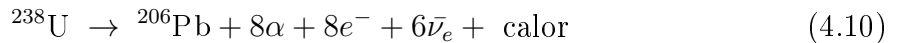
Uma estrela em colapso é muito densa, dificultando que partículas de luz escapem do seu interior, mas os neutrinos escapam facilmente devido a fraca interação com a matéria. Esses neutrinos podem trazer informações sobre os primeiros estágios do colapso no núcleo da estrela, que é impossível utilizando outros mensageiros. Essas informações podem nos revelar muito sobre o ciclo de vida das estrelas e sobre a formação de estrelas de nêutrons ou buracos negros. Além de nos revelar informações sobre os limites de massas dos neutrinos e como eles mudam de sabor ao percorrer grandes distâncias.

Os neutrinos de supernovas também servem como um sinal antecipado de uma supernova, sendo que o projeto Supernova Early Warning System (SNEWS) [29] está na busca

desse alerta. O SNEWS consiste na associação de 7 grandes detectores de neutrinos: o SuperKamiokande (Japão), o LVD (Itália), o Ice Cube (Polo Sul), o KamLand (Japão), o Borexino (Itália), o Bay Daya (China) e o HALO (Canadá).

Geoneutrinos

Esses neutrinos são produzidos a partir do decaimento beta de elementos radioativos presentes nas rochas terrestres. Por esta razão, os neutrinos produzidos nesta fonte são chamados de Geoneutrinos. Apesar de existir muitos elementos radioativos no interior da Terra, os que mais contribuem com o fluxo de Geoneutrinos, são os decaimentos dos elementos Urânio-238, Tório-232 e Potássio-40, apresentados nas equações 4.10, 4.11 e 4.12, respectivamente. (Ludhova e Zavatarelli [30])



Os geoneutrinos são mensageiros geológicos confiáveis, pois trazem informações inacessíveis do interior da Terra e sem precisarmos perfurá-la. Isso ocorre, porque o geoneutrino viaja em linha reta e, quase que instantaneamente, chega à superfície terrestre. Permitindo uma análise do núcleo do planeta em tempo real e sem contaminação da informação, uma vez que é rara sua interação com a matéria.

Conhecer a distribuição e atividade desses elementos radioativos no interior da Terra é importante “para a compreensão de processos complexos, como a convecção do manto, as placas tectônicas e o geodinâmico (o processo de geração do campo magnético da Terra), bem como a própria formação da Terra” [30] (p. 1).

Os geoneutrinos são antineutrinos do elétron de baixa energia, por isso são difíceis de serem detectados. Atualmente, dois experimentos contribuem na detecção de geoneutrinos, o KamLand (Japão) e o Borexino (Itália). Ambos, utilizam líquidos cintiladores (que possuem maior sensibilidade), pois foram construídos para detectar neutrinos de baixa energia produzidos no Sol.

4.4 Observando os neutrinos

4.4.1 Detectores de neutrinos

O neutrino é extremamente difícil de ser detectado, apesar de muito abundante no Universo, ele pode viajar através da matéria sem interagir com um único átomo e sem deixar rastros, daí vem o apelido de “partícula fantasma”. Mas é possível detectá-lo, pois

existe uma raríssima possibilidade de sua interação com a matéria, resultando em flashes de luz. Nessa perspectiva, os cientistas projetam detectores de luz para encontrar os neutrinos. Em geral, esses detectores seguem as seguintes características:

- São enormes recipientes preenchidos com toneladas de uma substância. Os cientistas criam experimentos com grande quantidade de substância, pois ela serve como um grande alvo e aumenta a chance de um neutrino interagir com um átomo. Essa substância pode ser água, água pesada, gelo, cloro, gálio, argônio líquido, cintilador plástico, entre outros. Dois exemplos de alvos utilizados são: um enorme tanque com 50000 toneladas de água e um gigantesco cubo de gelo de 1 km cúbico de volume. Mesmo com alvos imensos, apenas algumas dezenas de neutrinos são detectados por dia.
- São cercados por milhares de sensores de luz. Essa é a maneira de perceber que um neutrino interagiu com o alvo. Na teoria, os cientistas sabem que é impossível detectar diretamente um neutrino com os recursos que dispomos hoje, mas eles sabem que os neutrinos emitem “flashes” de luz quando interagem com alguma partícula do alvo. Então, captando a luz após a interação, conseguem detectar o neutrino e saber suas características. Por isso, cada alvo é cercado por milhares de sensores de luz, os quais são capazes de detectar a luz e nos dar informações sobre o neutrino.
- São enterrados em grandes profundidades. Esses experimentos enormes são construídos no subsolo, alguns estão 2 km abaixo da superfície terrestre. A grande camada rochosa entre o detector e a superfície funciona como um isolante de raios cósmicos e de outras radiações que poderiam gerar luz no detector e, conseqüentemente, confundir a detecção dos neutrinos.

Como discutido, os detectores podem ser preenchidos com alvos diferentes, escolhido de acordo com o que precisa ser observado e com a técnica de detecção. Atualmente, a maioria dos experimentos utilizam dois tipos de detectores de neutrinos, o Cherenkov e os Cintiladores.

Detectores Cherenkov

Esse tipo de detector é formado por um grande volume de material transparente (água ou gelo) cercado por milhares de sensores de luz, os tubos fotomultiplicadores. Os neutrinos são observados quando uma luz característica é produzida no interior do detector, a radiação Cherenkov.

Quando o neutrino interage com a matéria presente no interior do detector, um lépton (elétron, múon ou tau) é ejetado com alta velocidade. Se esse lépton atingir uma velocidade maior que a luz nesse meio, uma luz azul será emitida. Essa luz azul é conhecida

como radiação Cherenkov. Ela tem formato de um cone e se propaga na direção do lépton que a produziu, conforme a Fig. 4.14.

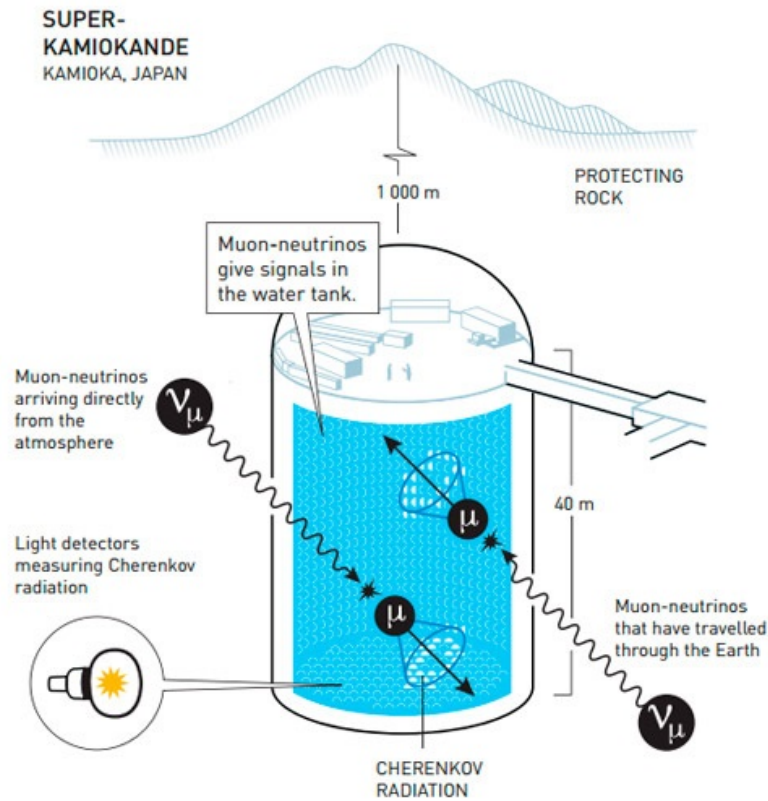


Figura 4.14: Princípio de funcionamento de um Detector Cherenkov (Fonte: Super-Kamiokande)

Detectores Cintiladores

Esse tipo de detector tem uma estrutura parecida ao detector Cherenkov. A maioria utiliza um grande recipiente preenchido com um material cintilador cercado por uma camada de água. Essa água tem a função de diminuir a radiação na parte mais interna do detector. Esse conjunto é envolto por uma grande quantidade de sensores de luz, os tubos fotomultiplicadores.

O material cintilador aumenta a probabilidade do neutrino interagir com a matéria e produz uma luz mais intensa após as interações. O uso desse detector torna possível a detecção de neutrinos de baixa energia (inferior a 1 MeV), como os geoneutrinos e neutrinos solares de baixas energias.

O neutrino é detectado após a interação com elétrons ou prótons. Quando um antineutrino do elétron interage com um Próton ocorre o decaimento beta inverso, produzindo um Pósitron e um Nêutron. Nesse processo, o antineutrino é reconhecido após a observação um duplo sinal de luz. Um sinal de luz vem da aniquilação do pósitron com um elétron; o

outro sinal de luz surge quando o Nêutron é capturado por um Próton ou núcleo próximo.

Quando um neutrino invade o detector e interage com algum elétron do material cintilador há transferência de energia entre ambos. O elétron que estava, praticamente, em repouso passa a se movimentar dentro do material cintilador, traçando um rastro de luz. Esse sinal é captado pelos milhares de fotomultiplicadores do detector, traçando a assinatura da interação com um neutrino.

4.4.2 Principais experimentos

Super-Kamiokande

O Super-Kamiokande [26] é um imenso tanque cilíndrico com 39,3 m de diâmetro e 41,4 m de altura, comportando 50.000 toneladas de água ultrapura. Quanto mais pura a água, maior será o alcance da luz. A parte interna do tanque possui 11.129 tubos fotomultiplicadores e a parte externa 1.885 tubos fotomultiplicadores. Ele está situado a 1 km abaixo da superfície terrestre.

Física explorada no experimento:

- Neutrinos solares
- Neutrinos atmosféricos
- Decaimento do próton
- Neutrinos da explosão de supernovas
- Neutrinos de relíquias de supernovas

IceCube

O IceCube [31] é um gigante bloco de gelo com volume de 1 km³, ele está situado entre 1450 m e 2450 m abaixo da superfície, ou seja, possui 1 km de altura. O detector IceCube é constituído de 86 cordas verticais com 60 fotomultiplicadores cada, totalizando 5160 Módulos Ópticos Digitais. As cordas foram colocadas em poços dentro do bloco de gelo e possuem comunicação até a central de dados na superfície (IceCube Lab), onde as informações são processadas e analisadas.

Física explorada no experimento:

- Astronomia de Neutrinos e Astrofísica Multimessageira
- Física dos raios cósmicos
- Física dos neutrinos (oscilação e pesquisas por neutrinos estéreis)
- Matéria escura

Dune

O Deep Underground Neutrino Experiment (DUNE) [24] é o experimento mais ambicioso da história para o estudo de neutrinos. Ele está em fase de implementação e terá sede no Fermilab (Fermi National Accelerator Laboratory), nos EUA, com custo estimado em alguns bilhões de dólares, já possui mais de 1000 colaboradores de 30 países diferentes.

DUNE terá o feixe de neutrinos mais intenso do mundo atravessando dois detectores de neutrinos. Um detector registrará as interações de partículas perto da fonte do feixe no Fermi National Accelerator Laboratory em Batavia, Illinois. Um segundo detector, muito maior, será instalado a mais de um quilômetro de profundidade no Laboratório de Pesquisa Subterrânea de Sanford, em Lead, Dakota do Sul (1.300 quilômetros da fonte).

Física explorada no experimento:

- Oscilações de neutrinos
- Decaimento de prótons
- Neutrinos de uma supernova

KamLand

O experimento KamLAND [32] lidera a fronteira de energia ultrabaixa. Ele está localizado em uma caverna cilíndrica de 20 metros de diâmetro e 20 metros de altura, numa profundidade de 1000 metros, na Mina Kamioka (Japão). No Kamland, os neutrinos são detectados usando 1000 toneladas de cintilador líquido. A quantidade de luz produzida por partículas carregadas no cintilador líquido é dezenas de vezes maior que a da luz Cherenkov do Super-Kamiokande. Esse líquido cintilador está contido em um balão esférico de 13 metros de diâmetro feito de filme transparente de 135 micrômetros de espessura.

Física explorada no experimento:

- Neutrinos solares de baixa energia
- Geoneutrinos
- Oscilação

SNO+

O experimento SNO+ [33] é o sucessor direto do Experimento Sudbury Neutrino Observatory (SNO), que recebeu o famoso Prêmio Nobel de Física 2015 pela observação das oscilações dos neutrinos. O SNO+ Experiment é um detector versátil de neutrinos com o objetivo principal de procurar por decaimento beta duplo. O detector é um recipiente acrílico de 6 metros de raio preenchido com 780 toneladas de Alquil-benzeno linear, o cintilador líquido. As interações de neutrinos dentro do detector são vistas por 9300 tubos

fotomultiplicadores, que são montados em uma estrutura de aço fora do detector. Esta estrutura de aço está localizada em uma cavidade de 20 m de altura escavada na rocha a 2 km de profundidade no SNOLAB (na Mina de Creighton). A cavidade é preenchida com água ultra-pura para reduzir eventos indesejáveis de traços de urânio e tório vindos da rocha.

Física explorada no experimento:

- Neutrinos solares de baixa energia
- Geoneutrinos
- Neutrinos de reatores
- Neutrinos de supernova
- Procura decaimento beta duplo sem neutrinos

Borexino

Trata-se de um grande detector preenchido com cintilador líquido, cujo objetivo principal é o estudo das propriedades de neutrinos solares de baixa energia [34]. O detector possui cerca de 1300 toneladas de cintilador, 2400 toneladas de água e 2200 fotomultiplicadores. Os níveis excepcionais de pureza que o Borexino alcançou ao longo dos anos permitiram realizar não apenas seu objetivo principal, mas também produzir muitos outros resultados interessantes dentro e além do Modelo Padrão da física de partículas.

Física explorada no experimento:

- Neutrinos solares de baixa energia

Capítulo 5

Descrição do produto educacional – o *website* “Neutrinos”

5.1 A construção do *website*

O *website* “Neutrinos”, localizado no endereço URL

<http://propg.ufabc.edu.br/mnpef-sites/neutrinos/>

foi construído utilizando-se o *Wordpress*, um *software* destinado a criação de sites. O site contém, aproximadamente, 40 páginas, discutindo a física dos neutrinos, os principais experimentos e sua detecção, além de uma introdução sobre a física de partículas e o modelo padrão.

5.1.1 A escolha do tema dentro do *Wordpress*

Dentre os inúmeros temas disponíveis no *Wordpress* foi adotado o tema *Highlight*. A escolha do tema é devido a compatibilidade com *plugins* importantes, permitindo um maior número de recursos e maior flexibilidade para a criação do site.

Pensando na usabilidade do público alvo, o menu superior é sempre visível, tornando a navegação muito intuitiva e organizada. Apesar de disponibilizar recursos que produzem uma página inicial muito atrativa, a versão utilizada não permite grande flexibilização desta página.

O tema é responsivo, ou seja, funciona em qualquer tipo de dispositivo móvel. O próprio *Highlight* faz as adaptações necessárias conforme o tamanho da tela. Quanto menor a tela, menos recursos são visualizados. Assim, quem navega através do celular, terá uma experiência ligeiramente diferente de quem acessa o site via notebook.

5.1.2 Elaboração do conteúdo do site

A construção e disposição dos elementos do site iniciou-se de maneira original, a partir de estudos prévios e, muito disso foi mantido até a versão final. Mas no decorrer do

processo de criação, foi descoberto o *All things neutrinos* [8], o site mais completo e didático sobre o tema. Logo, ele foi uma grande fonte de inspiração para a elaboração do site “Neutrinos”, além de ser utilizado como uma das principais referências teóricas.

A construção do site foi centralizada, mas para melhor qualidade do produto educacional, foi criado 3 grupos de apoio. Antes de iniciarem os trabalhos, cada grupo foi orientado até entender o significado e importância do projeto.

Grupo 1: Um desenvolvedor de sites orientou e ajudou nos comandos básicos do WordPress, além de propor sugestões pertinentes sempre que necessário.

Grupo 2: Um grupo de 3 alunas do ensino médio foram responsáveis por criar algumas das artes utilizadas no site, incluindo o logo e a mascote.

Grupo 3: Um grupo de 6 alunos do ensino médio foram responsáveis por fazer a revisão e adequar os textos na linguagem do público alvo, alunos do ensino médio.

Assim, a criação do logo (figura 5.1) foi o ponto de partida do *website*, tanto o conceito quanto formato e cores foram de autoria do grupo de arte. No logo, o neutrino foi apresentado como um “super-herói” acenando com a mão esquerda, devido algumas de suas propriedades. O logo foi feito de alunos para alunos do ensino médio, mas creio que ele também pode ser bem explorado no ensino fundamental.



Figura 5.1: Logo oficial do site. Fonte: Própria

A partir do logo, definimos um padrão de cores para o site, assim utilizamos alguns tons de azul para os títulos e subtítulos, além de um fundo branco para os textos. A combinação de cores com o tipo de fonte adotada para o texto permite um conforto durante a leitura em qualquer dispositivo.

Com a falta de imagens relacionadas ao tema, a equipe artística criou parte das ilustrações utilizadas nas páginas do site. Algumas estão apresentadas a seguir (figuras 5.2 e 5.3).

A equipe artística também criou uma mascote, o “Cerebito” (figura 5.4). No site, ele tem a função de explicar alguns conceitos físicos no formato de quadrinhos. Essa representação torna mais “leve” e simples o encontro do leitor com conceitos que poderiam assustá-lo num primeiro momento, como: raios cósmicos, aceleradores de partículas etc. Em geral, esses conceitos são importantes para entendimento do texto.

Durante a elaboração dos textos levou-se em consideração as ideias de Ausubel e Bruner apresentadas na fundamentação teórica. Assim os textos produzidos para o *website*

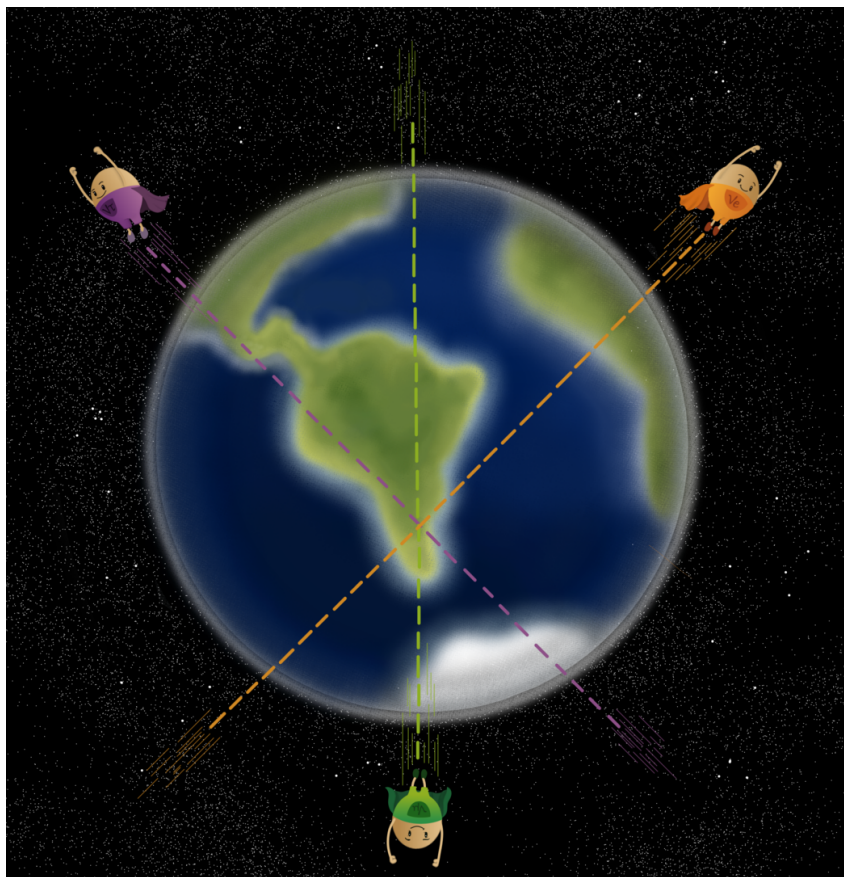


Figura 5.2: Ilustração própria dos neutrinos atravessando a Terra.



Figura 5.3: Ilustração própria apresentando as partículas elementares.

seguiram os seguintes cuidados:

- Leitura compreensível aos alunos;
- Adequação aos conhecimentos prévios dos alunos do ensino básico;



Figura 5.4: Ilustração própria da mascote do site “Cerebito”.

- Repetição de conceitos importantes;
- Aprofundamento gradativo;
- Complexidade aumenta progressivamente;
- Direcionamento das informações importantes.

Como já discutido no capítulo 1, há poucas referências didáticas sobre os neutrinos, assim muito dos textos publicados no site foram elaborados a partir de estudos de artigos acadêmicos e/ou livros com linguagens complexas para alunos do ensino básico. Isso obrigou a criação de textos adequados aos conhecimentos prévios dos alunos do ensino básico, mas sem perder o sentido da informação. Contudo, o principal objetivo foi apresentar um produto educacional potencialmente significativo para o aluno.

Os textos foram elaborados pensando num aprofundamento gradativo e contínuo de conceitos importantes, facilitando a compreensão efetiva dos alunos. Por exemplo, a página que discute as massas dos neutrinos introduz ideias básicas e que têm um aprofundamento na página que discute oscilação dos neutrinos. Nessa sequência, o aluno parte da representação mais intuitiva de massa até entender as massas dos neutrinos como matrizes de misturas. Aqui podemos ver a diferenciação progressiva defendida por Ausubel.

Outro exemplo, na apresentação e discussão das 4 interações fundamentais, o aluno além de praticar a diferenciação progressiva, também entende uma força cotidiana como combinação das interações fundamentais, a partir de uma reconciliação integradora. Por exemplo, o aluno entende que qualquer força da natureza é proveniente das interações fundamentais.

Também, foi utilizado algo próximo do “currículo espiral” de Bruner, o mesmo conceito aparece em muitas páginas, as vezes sem um maior aprofundamento como a teoria sugere, mas é um aspecto importante para aprendizagem do aluno enquanto navega no site. Por exemplo, o conceito de oscilação aparece em todos os eixos temáticos, o que permite um tempo maior para assimilar uma propriedade importante da partícula.

Apesar do site ser um material à disposição em todos os momentos, é importante que o usuário encontre um grupo de instruções estruturadas para uma navegação básica. Pois, explorar o conteúdo do site aleatoriamente pode levar o estudante a uma confusão ao invés de contribuir como fonte de conhecimento. Por isso, há um estudo guiado a partir da página inicial, o qual permite várias possibilidades após o estudo básico do tema.

O desenvolvimento dos textos também levou em consideração como o aluno irá se relacionar com o conteúdo das páginas e como o aluno poderá utilizar a informação aprendida.

5.2 Estrutura do *website* e descrição das páginas

Com a intenção de transmitir informações sobre os neutrinos, o *website* está estruturado em páginas que ramificam em subpáginas, conforme ilustrado na figura 5.5.

NEUTRINOS							
PÁGINA INICIAL	SITUANDO OS NEUTRINOS	PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS	FONTES	DETECTORES	EXPERIMENTOS	EXTRAS	PARA PROFESSORES
APRESENTAÇÃO DO PRODUTO	O QUE É O NEUTRINO?	SABORES	ACELERADORES DE PARTÍCULAS	VISÃO GERAL	SUPER-KAMIOKANDE	SITES E TEXTOS	ORIENTAÇÕES PARA APLICAÇÃO
CONTATO	AS PARTÍCULAS ELEMENTARES	MASSA	ATMOSFÉRICOS	DETECTORES CHERENKOV	ICECUBE	VÍDEOS	
	INTRODUÇÃO AO MODELO PADRÃO	OSCILAÇÃO	BIG BANG	DETECTORES CINTILADORES	DUNE	NOTÍCIAS	
	INTERAÇÕES DOS NEUTRINOS	NÚMERO LEPTÔNICO (ANTINEUTRINO)	CÓSMICOS		SNO	REFERÊNCIAS	
		HELICIDADE E QUIRALIDADE	DECAIMENTOS		BOREXINO		
			REACTORES NUCEARES		KAMLAND		
			SOLAR				
			SUPERNOVAS				
			ELEMENTOS RADIATIVOS				

Figura 5.5: Estrutura do *website* em páginas e subpáginas.

Assim, foi criado uma página principal para apresentar a finalidade do site ao usuário, além de aguçar seu interesse sobre os neutrinos. Também, foi elaborado páginas de conteúdo (“Situando os neutrinos”; “Propriedades e Características”; “Fontes”; “Detectores”) que possibilitam o leitor entender um pouco da física dos neutrinos e a importância em estudá-la. Além disso, há uma página (“Extras”) que concentra e organiza todo material de apoio relacionados ao tema. E, por fim, há uma página (“Para professores”) que apre-

senta um manual de uso do site para que professores possam utilizar o site em suas aulas. Ao todo, o *website* possui 8 páginas, as quais serão detalhadas nas próximas subseções.

5.2.1 Página inicial (Home)

Esta página tem o objetivo de apresentar o site e instigar o visitante a acessar as páginas do menu. Para isso, a página está estruturada em 3 partes: cabeçalho, apresentação básica dos neutrinos e apresentação do produto educacional.

Quando o usuário acessa o *website*, visualiza o cabeçalho da página principal, que possui um menu na parte superior da tela e um slideshow com uma sequência de fotos relacionadas aos neutrinos (figura 5.6). As imagens do slideshow foram selecionadas para causar impacto devido ao apelo visual.

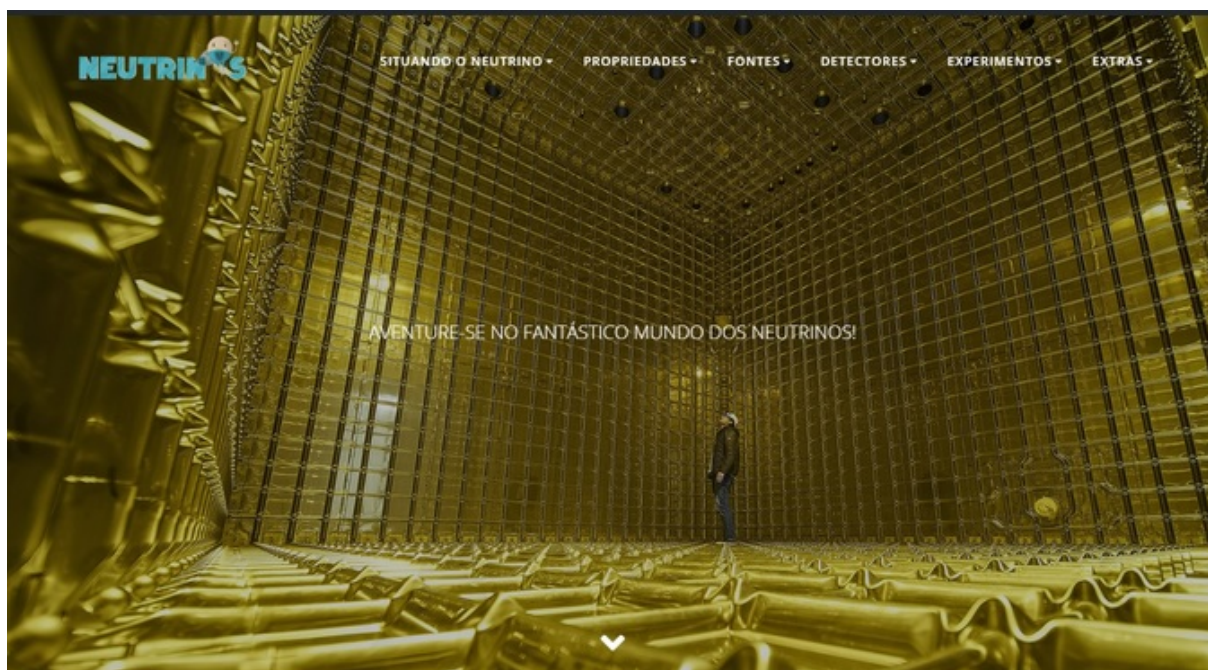


Figura 5.6: Cabeçalho da Página Inicial.

Após o contato com o cabeçalho, o visitante encontra uma breve apresentação do conteúdo que encontrará no site, contendo informações rápidas dos neutrinos, curiosidades e uma ilustração feita por alunos colaboradores. Em seguida, o usuário terá acesso a apresentação do site, os autores, os objetivos de trabalhar com os neutrinos no Ensino Médio e um breve guia de navegação.

No fim da página inicial, há um botão para iniciar o estudo guiado do site, o qual otimizará a navegação do usuário, levando-o para a página “Situando os neutrinos”.

5.2.2 Situando os neutrinos

Esta página tem o objetivo de situar os neutrinos dentro das partículas elementares, mostrando suas principais propriedades e interações. Para isto, o conteúdo da página está dividido em 4 subpáginas, conforme apresentado na figura 5.5: “O que é o neutrino?”, “As partículas elementares”, “Introdução ao modelo padrão” e “Interações dos neutrinos”. Ao término de cada subpágina há um quadro resumindo os pontos mais importantes dos textos, ajudando o usuário a focar no objeto de estudo, o neutrino.

Ao fim deste eixo temático, o usuário deve ser capaz de classificar os neutrinos como férmions, pertencentes ao grupo dos léptons. E, deve conhecer quais são as interações que os neutrinos podem experimentar e suas razões. Além disso, espera-se que o usuário tenha muitos questionamentos sobre esta partícula, pois isso o incentivará a continuar navegando pelas páginas.

O que é o neutrino?

A subpágina “O que é o neutrino?” apresenta a partícula de maneira descontraída através de uma ficha cadastral (figura 5.7), inspirada no material impresso do Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partícula (LIP/Lisboa).



The image shows a screenshot of a website page titled "O QUE É O NEUTRINO?". At the top, there is a dark blue navigation bar with the "NEUTRINOS" logo on the left and several menu items: "SITUANDO O NEUTRINO", "PROPRIEDADES", "FONTES", "DETECTORES", "EXPERIMENTOS", and "EXTRAS". Below the navigation bar is a blue header with the text "O QUE É O NEUTRINO?". The main content area features a "FICHA CADASTRAL DA PARTÍCULA" (Particle Registration Card) for a neutrino. The card is divided into two columns. The left column contains text: "Nome NEUTRINO", "Família LÉPTONS", "Nascimento teórico 1930", and "Nomes utilizados em suas viagens e primeiras aparições: Neutrino do elétron (ν_e) - 1956, Neutrino do múon (ν_μ) - 1962, Neutrino do tau (ν_τ) - 2000". The right column contains a cartoon illustration of a neutrino with a smiling face, wearing a blue cape and a blue mask with a white 'V' on it, and has raindrops falling from its bottom. Below the illustration is the text "Foto de registro (Fictício)". Below the illustration and text is another section titled "PROPRIEDADES DA PARTÍCULA" with a table of properties.

FICHA CADASTRAL DA PARTÍCULA	
Nome	NEUTRINO
Família	LÉPTONS
Nascimento teórico	1930
Nomes utilizados em suas viagens e primeiras aparições	Neutrino do elétron (ν_e) - 1956 Neutrino do múon (ν_μ) - 1962 Neutrino do tau (ν_τ) - 2000
Foto de registro (Fictício)	
PROPRIEDADES DA PARTÍCULA	
Carga elétrica	Zero
Massa	Maior que zero e menor que um milionésimo da massa do elétron
Spin	1/2
Quiralidade	Mão esquerda ("Canhoto")

Figura 5.7: Trecho da ficha cadastral da partícula na subpágina “O que é o neutrino?”.

Na sequência, o usuário encontra abas com perguntas e respostas sobre os neutrinos (figura 5.8), elas têm a intenção de familiarizar e envolver o usuário com o tema. A elaboração destas abas, levou em consideração o que uma pessoa com pouco conhecimento

sobre os neutrinos perguntaria para um especialista na área. Assim, as respostas apresentam um panorama da partícula, uma noção básica da sua história, sua importância para a sociedade e como ela é produzida e detectada.

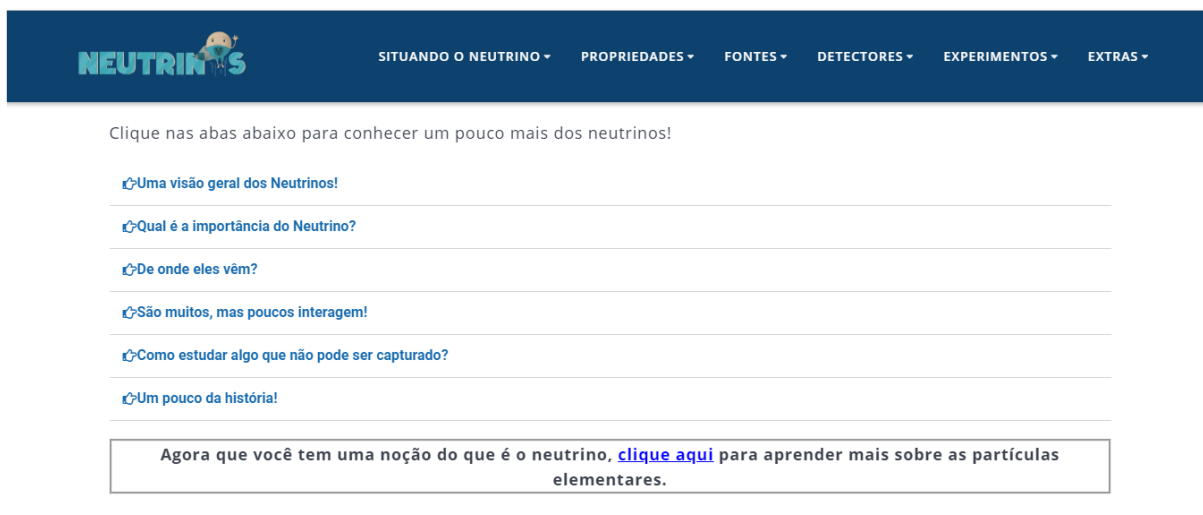


Figura 5.8: Abas com perguntas e informações sobre os neutrinos na subpágina “O que é o neutrino?”.

No final da subpágina, há um botão para continuar o estudo guiado, levando o usuário para a subpágina “As partículas elementares”.

As partículas elementares

A subpágina tem a finalidade de situar e classificar os neutrinos dentro da Física de partículas. Assim, ela introduz a ideia de partículas elementares, divide as partículas existentes entre férmions e bósons, além de enfatizar a existência das antipartículas. Neste momento, o texto deixa claro que os férmions são partículas de matéria, enquanto os bósons são partículas trocadas nas interações fundamentais (Moreira [35]).

Durante a discussão, os 3 tipos de neutrinos (eletrônico, muônico e tauônico) são situados na família dos léptons. Também, há indicação de um vídeo do curso de Licenciatura em Ciências da Univesp TV como material complementar ao assunto discutido na subpágina.

No final da subpágina, há um botão para continuar o estudo guiado, levando o usuário para a subpágina “Introdução ao modelo padrão”.

Introdução ao modelo padrão

A subpágina organiza as partículas numa tabela conforme suas propriedades e descreve algumas das interações fundamentais entre essas partículas. A figura 4.2 é a mesma

tabela utilizada no *website* para apresentar as partículas elementares, ela foi retirada de um projeto de divulgação científica intitulado como “Estrutura elementar da matéria: Um cartaz em cada escola” idealizada pelo São Paulo Research and Analysis Center (SPRACE). A tabela divide as partículas elementares em quarks, léptons, Partículas mediadoras e Bóson de Higgs, além de exibir a massa e a carga elétrica de cada uma delas. O mais importante é destacar que os neutrinos são partículas sem carga elétrica e massa muito pequena.

No decorrer do texto, há uma discussão das interações fundamentais descritas pelo modelo padrão (Eletromagnética, Forte e Fraca), enfatizando quais são as propriedades necessárias das partículas para experimentarem cada uma dessas interações. Por exemplo, apenas partículas que possuem carga elétrica podem experimentar a interação eletromagnética. E, como a intenção da página é situar os neutrinos, o texto destaca que eles só podem interagir fracamente, ou seja, trocando Bósons Z, W^+ ou W^- [36].

Na sequência, a subpágina mostra maneiras gráficas para representar as interações fundamentais, utilizando vértices fundamentais. Esses vértices formam os diagramas de Feynman e foram retirados de D. Griffiths [21].

Por fim, há uma aba com um mapa conceitual do modelo padrão, retirado de Moreira [35] e, um botão para continuar o estudo guiado, levando o usuário para a subpágina “Interações dos neutrinos”.

Interações dos neutrinos

Esta é a última subpágina do eixo temático e aprofunda as 2 interações que um neutrino pode experimentar: a interação fraca neutra e a interação fraca carregada. Com isso, o usuário consegue associar a interação fraca neutra com a troca de Bósons Z e, a interação fraca carregada, com a troca de Bósons W^+ ou W^- . [21]

Esta subpágina, também enfatiza os 2 processos de interação entre as partículas: espalhamento (transferência de energia e momento) e decaimento (transformação de uma partícula em outra). E, para ajudar o usuário entender o que é uma interação, o site utiliza o simulador interativo do PhET [37], Espalhamento de Rutherford, desenvolvido pela Universidade de Colorado.

Ao término do texto, o estudo guiado dá 3 possibilidades para o usuário prosseguir, “Propriedades dos neutrinos”, “Fontes de neutrinos” ou “Detectores de Neutrinos”’. Essa tática foi adotada, pois o usuário já contextualizou a partícula e agora pode seguir para a área de maior interesse. Essa liberdade de navegação permite que ele se envolva cada vez mais com o *website*.

5.2.3 Propriedades dos neutrinos

Esta página tem o objetivo de apresentar algumas das propriedades dos neutrinos. Cada propriedade é apresentada numa subpágina, são elas: “Sabores”, “Massa”, “Oscilação”, “Número Leptônico e o Antineutrino”, “Helicidade e Quiralidade”.

Ao término de cada subpágina há um quadro resumindo os pontos mais importantes dos textos, ajudando o usuário a focar no objeto de estudo, o neutrino. A seguir, será discutido o conteúdo apresentado em cada uma dessas 5 subpáginas.

Sabores

A subpágina apresenta os 3 tipos de neutrinos (elétron, múon e tau) utilizando uma ilustração própria. Em seguida, o texto explica como identificar o sabor de cada neutrino associando-o ao seu respectivo lépton.

Para ajudar na compreensão da leitura e expandir o estudo, ao longo do texto há links internos explicando o que é decaimento e como se dá a interação de neutrinos com outras partículas.

Massa

A subpágina apresenta a matriz de mistura dos neutrinos de uma maneira simplificada e lúdica, através de uma ilustração retirada do *website* oficial do Super-Kamiokande. Desta forma, mesmo um usuário leigo no assunto é capaz de entender que a massa de cada sabor de neutrino é constituída por três entidades coexistentes, os neutrinos físicos. Veja Ref. [23].

Na sequência, o texto coloca a massa dos neutrinos como uma propriedade a ser esclarecida, tanto pela Física experimental quanto teórica. E, para fomentar essa propriedade indeterminada, há 2 abas com discussões sobre o não conhecimento da hierarquia das massas dos neutrinos e a impossibilidade de identificar o sabor e massa ao mesmo tempo.

Para ajudar na compreensão da leitura, ao longo do texto há links internos (relembrando o Modelo Padrão, explicando o que é oscilação e como se dá a interação fraca) e um link externo em inglês para o site “All things Neutrinos” explicando a massa com mais detalhes.

Oscilação

O texto da subpágina inicia dizendo o que é a oscilação e depois explica o que ocorre com o neutrino nessa mudança de sabor. Para esclarecer como ocorre a oscilação, o texto apresenta as equações decorrentes da matriz de mistura entre neutrinos de interação e neutrinos físicos. Assim, associa o sabor do neutrino com os valores assumidos pelos coeficientes de mistura.

Após explicar como ocorre a mudança de sabor, a subpágina apresenta uma ilustração (figura 5.9) como exemplo de oscilação, ou seja, durante a propagação os neutrinos físicos sofrem alterações e resultam num neutrino de interação diferente.

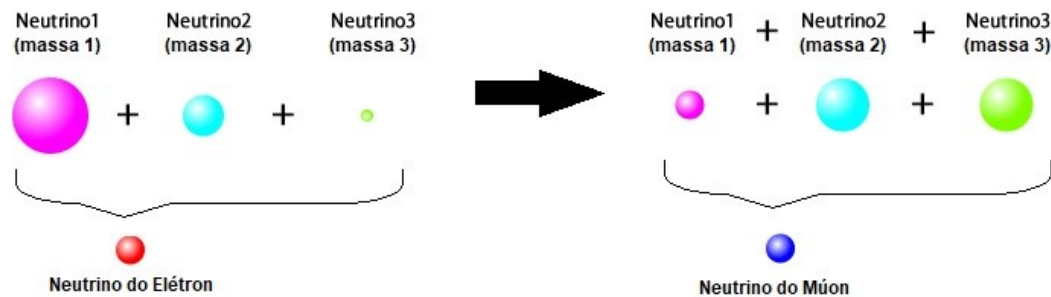


Figura 5.9: Influência dos neutrinos físicos na oscilação.

Pensando no público heterogêneo que visitará o *website*, durante a elaboração da subpágina tomou-se o cuidado de apresentar primeiro uma matriz de mistura ilustrada, na subpágina “Massas”, para depois apresentar as equações e discutir a influência dos coeficientes de mistura nesta subpágina.

Para ajudar na compreensão da leitura, ao longo do texto há links internos (apresentando experimentos para detectar neutrinos e lembrar como são as massas dos neutrinos) e um link externo em inglês (explicando a oscilação com mais detalhes).

Número Leptônico e o Antineutrino

Essa subpágina discute como diferenciar um neutrino de um antineutrino utilizando o número leptônico. Durante a explicação, o usuário entende como esse número é distribuído entre os léptons e como funciona sua conservação.

Para ajudar na compreensão da leitura, ao longo do texto há um link interno (relembrando o conceito de antipartícula) e um link externo em inglês para o site “Symmetry Magazine” explicando o que é a partícula de Majorana.

Helicidade e Quiralidade

A subpágina tem a intenção de apresentar o conceito de quiralidade e sua influência na interação fraca das partículas, principalmente sobre os neutrinos. Para isto, primeiramente, foi apresentado o conceito de helicidade para depois introduzir a ideia de quiralidade.

Assim, ao apresentar o conceito de helicidade, o usuário é capaz de entender que as partículas se apresentam como mão direita ou mão esquerda. Em seguida, a helicidade é apresentada como uma propriedade relativa, pois depende de quem a observa. Com isso, é apresentada a quiralidade, uma propriedade absoluta, que se sobrepõe à helicidade no

caso dos neutrinos. Desta maneira, existem partículas com quiralidade de mão direita ou mão esquerda. Toda a discussão da subpágina ocorre de maneira qualitativa, entendendo que é adequada ao público alvo do *website*.

Após a construção da ideia de quiralidade, o texto ressalta que todos os neutrinos detectados até hoje são de mão esquerda, pois toda partícula detectada pela interação fraca é de mão esquerda (previsão do modelo padrão utilizando o conceito de quiralidade).

Com muita informação abstrata, esta subpágina pode ser de difícil compreensão sem o uso de exemplos, mas para ajudar no entendimento, foram utilizadas uma série de ilustrações adaptadas e distribuídas ao longo da leitura. Assim como todas as outras subpáginas, o usuário tem acesso a links internos relembrando informações sobre o Modelo Padrão e como ocorre a interação fraca.

5.2.4 Fontes de neutrinos

Esta página tem o objetivo de mostrar quais são as principais fontes e a importância em estudar os neutrinos. Assim, a página apresenta 9 fontes de neutrinos diferentes, sendo uma subpágina exclusiva para cada fonte. Conforme apresentado na figura 5.5, as 9 subpáginas possuem os seguintes títulos: “Aceleradores de partículas”, “Atmosféricos”, “Big Bang”, “Cósmicos”, “Decaimentos”, “Reatores nucleares”, “Solar”, “Supernovas” e “Elementos radioativos”. Cada uma das subpáginas segue o seguinte roteiro:

1º) É apresentado os sabores de neutrinos produzidos neste tipo de fonte através de ilustrações próprias (Figura 5.10);



Figura 5.10: Apresentação dos sabores de neutrinos em cada fonte.

2º) Explicação de como os neutrinos são produzidos neste tipo de fonte;
3º) Explicação da importância do neutrino produzido neste tipo de fonte;
4º) Uso da mascote Cerebita para explicar algum conceito essencial do texto. A figura 5.11 mostra um exemplo de utilização do Cerebita, onde ele explica o que é um acelerador de partículas.

Os itens a seguir trarão os conteúdos apresentados em cada uma das fontes de neutrinos.



Figura 5.11: Parte da explicação do Cerebito sobre aceleradores de partículas.

Aceleradores de partículas

A subpágina dá ênfase ao processo de produção de feixes de neutrinos e qual é a importância desta fonte para a Física de neutrinos. Para sanar possíveis dúvidas do leitor, há uma explicação do que é acelerador de partículas (Cerebito), acesso a links internos (explicando o que é decaimento) e links externos (apresentando os centros de pesquisa que possuem aceleradores de prótons).

Para ajudar na compreensão do processo de produção de neutrinos, a subpágina disponibiliza um link externo de uma animação da Symmetry Magazine (2012) [9], um portal de tópicos relacionados à Física e de publicação conjunta entre Fermilab e SLAC. E, por fim, há uma discussão da importância dos neutrinos de aceleradores, destacando seu uso em estudos que levarão a uma melhor compreensão de propriedades dos neutrinos.

Atmosféricos

A subpágina explica o processo de produção de neutrinos na atmosfera terrestre com o auxílio de uma ilustração para mostrar um chuveiro de partículas. O texto também discute a importância dos neutrinos atmosféricos, destacando como o detector Super-Kamiokande investiga a oscilação de neutrinos.

Para ajudar na compreensão da leitura, ao longo do texto o usuário tem uma explicação do que são raios cósmicos (Cerebito), acesso a links internos (explicando o que é oscilação e massa dos neutrinos) e links externos (apresentando o Super-Kamiokande).

Big Bang

A subpágina enfatiza a importância desta fonte para a Física, colocando os neutrinos do Big Bang como relíquias produzidas pouco após a criação do Universo e que ainda podem ser detectadas. Nesta discussão, o texto também traz a ideia da Radiação Cósmica de Fundo em Microondas como a informação mais antiga já detectada do Universo e, os neutrinos do Big Bang como possíveis mensageiros mais antigos do Universo.

Para ajudar na compreensão da leitura, ao longo do texto o usuário tem uma explicação do que é o Big Bang (Cerebitto) e acesso a links externos (apresentando a Radiação Cósmica de Fundo em Microondas e o Telescópio Planck).

Cósmico

A subpágina enfatiza a importância deste neutrino para a Física, colocando os neutrinos cósmicos como mensageiros importantes para a observação astronômica, ampliando o conceito de Astronomia Multimessageira. A página também ressalta que esses neutrinos são produzidos por fontes cósmicas e por esta razão, possuem altíssimas energias.

Para ajudar na compreensão da leitura, ao longo do texto o usuário tem uma explicação do que são raios cósmicos (Cerebitto) e acesso a links externos (apresentando a Astronomia Multimessageira e o detector IceCube). Também há indicação de um podcast (Jornal Usp) e um vídeo sobre o funcionamento do IceCube.

Decaimentos

Esta subpágina é a mais importante entre as fontes, pois exemplifica processos de produção dos neutrinos por decaimento. Com isso, recomenda-se que o leitor inicie o estudo de fontes pela subpágina “Decaimentos”. Durante a leitura, o usuário deve entender que decaimento é uma “ transformação” de uma partícula em outras partículas, mediado pela interação fraca.

Assim, esta subpágina apresenta 2 exemplos de decaimentos, o decaimento do múon e o decaimento beta. Ambos ajudam o leitor a entender como são produzidos os neutrinos em outras fontes.

Para ajudar no entendimento da leitura, ao longo do texto o usuário tem uma explicação simples do que ocorre com os léptons nos decaimentos (Cerebitto) e acesso a links internos (interação fraca, modelo padrão e diferentes fontes de neutrinos).

Reatores nucleares

A subpágina enfatiza o processo de produção de neutrinos e explica qual é a importância desta fonte. Primeiramente, o texto explica que os neutrinos são produzidos por decaimentos beta decorrente de fissões nucleares no interior do reator. O texto também ressalta que o fluxo dos antineutrinos produzidos nos reatores podem ser associados com a atividade nuclear da usina, ou seja, pode ser um meio de fiscalização nuclear.

Para sanar dúvidas ao longo da leitura, o usuário tem acesso a links internos (explicando algumas propriedades, fontes e detectores de neutrinos) e externos (apresentando experimentos que detectam neutrinos dessas fontes). Um dos links externos ajuda o usuário entender o que é fissão nuclear, através do simulador interativo do PhET [37], Fissão

Nuclear do Urânio 235, desenvolvido pela Universidade de Colorado. Outro link externo, apresenta o único experimento de neutrinos no Brasil, Experimento Angra ([27]).

Solar

A subpágina dá ênfase ao processo de produção de neutrinos, explicando que os neutrinos são produzidos por fusões nucleares no interior do Sol. Em seguida, o texto explica que esses neutrinos são úteis para trazer informações do que ocorre no interior do Sol e possibilitam estudos das propriedades da partícula.

Para auxiliar o entendimento da leitura, a subpágina fornece informações complementares através de links internos (sobre propriedades dos neutrinos) e externos (sobre experimentos que detectam neutrinos solares). Também, há uma discussão histórica sobre a oscilação dos neutrinos, conhecida como “O problema dos neutrinos solares” (Cerebito).

Supernovas

A subpágina apresenta o colapso de estrelas massivas como responsável pela produção de neutrinos de supernovas. O texto também dá ênfase na importância deste neutrino para a Física, colocando os neutrinos de supernovas como importantes mensageiros no entendimento do ciclo das estrelas. Assim como outras fontes, ela também poderá ser útil na caracterização de propriedades do neutrino, como massa e oscilação.

O texto também apresenta o projeto Supernova Early Warning System (SNEWS [29]), que consiste na associação de 7 grandes detectores de neutrinos para alerta da ocorrência de uma supernova. Para ajudar na compreensão da leitura, ao longo do texto o usuário tem uma explicação do que são supernovas (Cerebito), acesso a links internos (fontes e propriedades de neutrinos) e links externos (projetos e detectores de neutrinos).

Elementos Radioativos

A subpágina explica que esses neutrinos são produzidos a partir do decaimento beta de elementos radioativos presentes nas rochas terrestres. Também é apresentado ao leitor a importância desse tipo de neutrino, assim o usuário é capaz de entender que os Geoneutrinos são mensageiros geológicos confiáveis, trazendo informações do interior de nosso planeta sem precisarmos perfurá-lo. Também é explicado que esses neutrinos possuem baixas energias, sendo detectáveis por experimentos criados para neutrinos solares de baixas energias.

Para ajudar no entendimento da leitura, ao longo do texto o usuário tem uma explicação do que são radiações alfa e beta (Cerebito), além disso há links para fontes internas (decaimento e detectores de neutrinos) e fontes externas (séries radioativas).

5.2.5 Detectores de neutrinos

Esta página tem o objetivo de mostrar as principais características de um detector e como ocorre a detecção dos neutrinos. Para isso, a página apresenta 3 subpáginas: “Visão geral”, “Detectores Cherenkov” e “Detectores Cintiladores”.

Visão geral

A subpágina destaca as 3 principais características de um detector de neutrinos: grande volume, enterrado em grandes profundidades e possui milhares de sensores de luz.

Durante a leitura, o usuário entende que os detectores de neutrinos possuem um imenso alvo de água, gelo ou material cintilante, para aumentar a probabilidade de interação com o neutrino. O texto também diz que eles são construídos entre 1 km e 2 km abaixo da superfície, pois a camada rochosa acima do experimento funciona como uma blindagem, evitando que outras partículas que não seja os neutrinos cheguem aos detectores. E, por fim, o detector é apresentado como um grande alvo cercado de milhares de sensores de luz, pois na interação dos neutrinos com os átomos do alvo, há emissão de radiação em forma de luz.

Detectores Cherenkov

A subpágina apresenta características dos detectores que utilizam a radiação Cherenkov para a detecção dos neutrinos. Assim, enfatiza como um neutrino interage com o alvo e como se dá a produção e detecção da radiação Cherenkov.

Complementando a discussão, a subpágina explica que essa radiação se propaga no formato de cone de luz, que é captada pelos fotodetectores. A luz detectada possibilita inferir informações sobre os neutrinos.

Detectores Cintiladores

O texto ressalta a semelhança de estrutura entre os detectores Cherenkov e Cintiladores, a diferença está no material que preenche o alvo. Com isso, o uso de materiais cintiladores possibilita a detecção de neutrinos de baixas energias (inferior a 1 MeV).

A subpágina também enfatiza como um neutrino interage com o alvo e como se dá a produção de luz característica desses detectores. Assim, enfatiza a interação entre um antineutrino do elétron com um próton e entre um neutrino com elétron. Por fim, apresenta links de experimentos que utilizam materiais cintiladores para detecção.

5.2.6 Experimentos

A página “Experimentos” apresenta alguns dos principais experimentos de neutrinos: “Super-Kamiokande” [26], “IceCube” [31], “DUNE” [24], “KamLand” [32], “SNO+” [33] e

“Borexino” [34]. Cada um desses experimentos está numa subpágina que discute as principais características, além de fornecer os links oficiais desses detectores. Um dos principais objetivos da página é que o usuário entenda a grandiosidade desses experimentos e que enxergue a Física de neutrinos como algo importante para construção de conhecimento humano, já que muitos países espalhados pelo mundo vêm investindo muito dinheiro na área.

5.2.7 Extras

Esta página concentra materiais disponíveis na internet sobre neutrinos. Para melhor organizar os materiais, foram criadas 4 subpáginas “Sites e textos da internet”, “Vídeos”, “Notícias” e “Referências bibliográficas”. Assim, o usuário pode encontrar todos os links externos utilizados no site e outras referências para aprofundamento no assunto de interesse.

5.2.8 Para professores

Esta página traz um manual de instruções para uso do *website*, uma sugestão de sequência didática utilizando o *website* e um material complementar com noções das metodologias de ensino utilizadas na sequência didática. Assim, o professor que pretende utilizar o produto educacional em suas aulas pode ser norteado por esses documentos.

Capítulo 6

Aplicação do produto educacional

O MNPEF não requer uma validação científica do produto educacional, mas exige que ele seja aplicado em sala de aula e avaliado por alunos do Ensino Médio. Essas exigências permitem analisar e ajustar o produto, pois o mesmo deve ser utilizado por outros professores no futuro.

Os detalhes da aplicação do produto serão apresentados a seguir, destacando o local e o público alvo, a sequência didática utilizada e o questionário de satisfação do *website*.

6.1 O local de aplicação e o público alvo

O produto educacional foi aplicado para 110 alunos da 3ª série do Ensino Médio, no Colégio Salesiano Santa Teresinha, uma instituição privada e situada na zona norte da cidade de São Paulo.

Durante o Ensino Médio, os alunos do colégio têm 4 aulas de Física por semana e utilizam material didático digital produzido pela editora Edebe, parceira da Rede das Escolas Salesianas do Brasil. Devido ao material didático digital, os alunos utilizam notebooks ou tablets conectados com a internet wifi da escola durante as aulas. Este é um ótimo contexto para aplicação de um produto educacional que necessita de internet e dispositivos para acessar um *website*.

Em relação ao livro didático da 3ª série do Ensino Médio, há um capítulo intitulado “A origem e evolução do Universo” [5], que apresenta a Física de Partículas e o Modelo Padrão em 6 páginas. Neste mesmo capítulo, o termo “neutrino” aparece como uma partícula produzida no decaimento beta e na fusão entre prótons. Para ser justo, o livro cita os neutrinos em outras páginas, mas nunca explica ou aprofunda algum conhecimento sobre a partícula, ou seja, o aluno apenas sabe da existência de algo chamado neutrino. Em resumo, o material didático apresenta o tema de nosso interesse de maneira enxuta e com uma boa linguagem, mas sem contextualização com a Ciência atual ou com a vida do aluno. Deste modo, o aluno vê o tema como um produto acabado e longe de ser importante nos dias de hoje, convergindo com a análise crítica feita por Moreira [2].

6.2 A sequência didática para a aplicação do produto educacional

A aplicação aconteceu entre os dias 26/09/2019 e 04/10/2019, utilizando uma sequência didática de 5 aulas que visa ser aplicável em diferentes contextos escolares. Primeiramente, foi adotado um pequeno número de aulas para a aplicação, visto que muitas instituições de ensino apresentam apenas 2 aulas de Física por semana. Principalmente, as públicas. Com isso, este produto pode ser utilizado em diferentes realidades educacionais, não sendo rejeitado pela pequena quantidade de aulas destinada à disciplina.

A metodologia de ensino escolhida para a aplicação também tem o intuito de universalizar o uso do produto nas diferentes escolas brasileiras, minimizando problemas devido contextos econômicos desfavoráveis e infraestrutura limitada. De acordo com os indicadores do Comitê Gestor da Internet no Brasil (2018) [38], muitas escolas não possuem computadores adequados ou internet para o acesso do *website* no período de aulas, então o aluno tem que acessar o conteúdo online fora do ambiente escolar. Para isso, foi adotado a metodologia da sala de aula invertida, onde os alunos estudam as páginas do *website* antes da aula, depois utilizam a sala de aula para discussões e atividades esclarecedoras ou complementares ao estudo prévio.

Este tipo de aplicação pode ser caracterizado como um ensino híbrido, pois utilizou um *website* como ferramenta de estudo e a orientação de um professor em sala de aula para complementação. No decorrer do processo de aplicação, o ensino foi potencializado com diferentes metodologias além da sala de aula invertida, a saber, o método da instrução pelos colegas, o estudo dirigido, a aula expositiva e o ensino colaborativo.

Em resumo, todas as aulas desta sequência didática são baseadas na sala de aula invertida.

A seguir, apresentaremos um conjunto de 5 aulas/encontros, detalhando as recomendações de cada pré-aula e as atividades aplicadas em cada aula da sequência.

Aula 1: Conhecendo o neutrino

Pré-aula: cada aluno foi orientado a ler a “Página inicial” e a página “O que é o Neutrino?” presente na seção “Situando os neutrinos”. Após o estudo, cada aluno deveria produzir um material escrito contendo suas principais dúvidas. Esta etapa teve a finalidade da formação de um conhecimento prévio sobre o tema.

A aula foi dividida em 2 etapas: apresentação do projeto e discussão das dúvidas. O professor iniciou a aula expondo a motivação de estudar um tema da Física Contemporânea. Em seguida, ele apresentou o site e explicou suas principais funções para uso, apresentou o cronograma de atividades e os objetivos do projeto (20 minutos).

Num segundo momento, a turma foi dividida em grupos para discutir as dúvidas levantadas na pré-aula. Assim, um aluno foi capaz de responder a dúvida do colega ou melhorar o nível de suas perguntas (10 minutos).

Nos últimos 20 minutos de aula, o professor mediou uma discussão onde um grupo respondia a dúvida de outro grupo, sempre focando na caracterização, fontes e importância dos neutrinos. Ao término da aula, os alunos ficaram inquietos, pois tinham muitas dúvidas que não poderiam ser respondidas em apenas 1 aula. Esta etapa teve a finalidade de mostrar um panorama geral do que seria estudado ao longo do projeto.

A avaliação dos alunos ocorreu através da entrega do material escrito contendo as principais dúvidas da pré-aula e as respostas produzidas ao longo da aula.

Aula 2: Situando o neutrino

Pré-aula: cada aluno foi orientado a acessar a seção “Situando os neutrinos” e ler as subseções “As partículas Elementares” e o “Modelo Padrão”. Após o estudo, cada aluno deveria produzir um material escrito contendo suas principais dúvidas. Esta etapa teve a finalidade da formação de um conhecimento prévio sobre o tema.

A aula foi dividida em 3 etapas: discussão e refinamento das dúvidas, aula expositiva com instrução pelos colegas e respostas de dúvidas. Primeiramente, a turma foi dividida em grupos para discutir as dúvidas levantadas na pré-aula, assim um aluno é capaz de responder a dúvida do colega ou melhorar o nível das perguntas. Para auxiliar a discussão, cada aluno recebeu uma cópia da tabela do Modelo Padrão (Apêndice C). Após 10 minutos de discussão, cada aluno melhorou o documento elaborado na pré-aula, seja respondendo algumas dúvidas ou melhorando o nível de suas perguntas.

Na etapa seguinte, o professor ministrou uma aula expositiva sobre partículas elementares e Modelo Padrão, com foco no neutrino (30 minutos). Esta aula foi intercalada com a metodologia de instrução pelos colegas utilizando o aplicativo Plickers [20] para a verificação de conhecimento através de testes conceituais (questões objetivas). Neste momento, muitas dúvidas dos alunos foram esclarecidas. Os últimos 5 a 10 minutos de aula foram utilizados para responder as dúvidas que mais agregariam para situar os neutrinos dentro da Física de Partículas.

A avaliação dos alunos ocorreu através da participação no Plickers e da entrega do material escrito contendo as principais dúvidas da pré-aula e as respostas produzidas ao longo da aula.

Aula 3: Compreendendo melhor os neutrinos

Pré-aula: os alunos receberam um estudo dirigido (Apêndice A) para a leitura da seção “Propriedades”. Esse roteiro fornece um direcionamento para que o aluno entenda o básico das propriedades dos neutrinos, como sabor, massa, oscilação, número leptônico

e quiralidade. Esta etapa teve a finalidade da formação de um conhecimento prévio sobre o tema.

A aula foi dividida em 3 etapas: discussão e refinamento das dúvidas, aula expositiva com instrução pelos colegas e respostas de dúvidas. Primeiramente, a turma foi dividida em grupos para discutir as dúvidas levantadas na pré-aula, assim um aluno é capaz de responder a dúvida do colega ou melhorar o nível das perguntas. Após 10 minutos de discussão, cada grupo deve apresentar suas principais dúvidas por escrito, as quais serão respondidas ao longo da aula.

Na etapa seguinte, o professor deu uma aula expositiva sobre as propriedades dos neutrinos destacando a importância de cada uma delas (30 minutos). Esta aula foi intercalada com a metodologia de instrução pelos colegas utilizando o aplicativo Plickers para a verificação de conhecimento através de testes conceituais (questões objetivas). Neste segundo momento da aula, muitas dúvidas dos alunos foram esclarecidas. Os últimos 5 a 10 minutos de aula foram utilizados para responder as dúvidas que mais agregariam para entender as propriedades dos neutrinos.

A avaliação dos alunos ocorreu através da participação no Plickers e da entrega do estudo dirigido respondido na pré-aula.

Aula 4: Conhecendo as fontes de neutrinos

Pré-aula: cada aluno foi orientado a estudar uma determinada fonte de neutrinos presente na seção “Fontes”. Após o estudo, cada aluno deveria produzir um material escrito contendo um resumo da fonte de neutrinos estudada. Esta etapa teve a finalidade da formação de um conhecimento prévio sobre o tema.

Durante a aula, os alunos que estudaram a mesma fonte de neutrinos formaram um grupo e apresentaram seu tema para o resto da turma. Cada grupo utilizou até 4 minutos para explicar como o neutrino é produzido e a importância dessa fonte para os estudos científicos. No decorrer das apresentações, os alunos utilizaram apenas a página do *website* e a lousa como ferramentas demonstrativas. O professor interveio para complementar as informações sempre que julgou necessário. Ao término das apresentações, os estudantes ensinaram as fontes de neutrinos aos colegas.

A avaliação dos alunos ocorreu através da apresentação e da entrega do resumo da fonte estudada na pré-aula.

Aula 5: Como os neutrinos são detectados?

Pré-aula: os alunos receberam um estudo dirigido (Apêndice A) para a leitura das seções “Detectores” e “Experimentos”. Esse roteiro forneceu um direcionamento para que o aluno entenda o básico dos detectores de neutrinos. Esta etapa teve a finalidade da formação de um conhecimento prévio sobre o tema.

A aula foi dividida em 3 etapas: discussão e refinamento das dúvidas, aula expositiva e prova online. No início, a turma foi dividida em grupos para discutir as dúvidas levantadas na pré-aula, assim um aluno foi capaz de responder a dúvida do colega ou melhorar o nível das perguntas (10 minutos). Em seguida, o professor deu uma aula expositiva sobre detectores de neutrinos, enfatizando sua importância para a ciência (15 minutos). E, por fim, os alunos tiveram 25 minutos para realizar uma prova online com 20 questões objetivas (Apêndice A).

A avaliação dos alunos ocorreu através da realização da prova e da entrega do estudo dirigido elaborado na pré-aula.

6.3 Questionário de avaliação do produto educacional

Após a sequência didática, os alunos responderam um questionário para avaliar a aceitação do produto educacional e a influência do *website* na aprendizagem deles. O questionário contendo 23 questões, objetivas e dissertativas, foi criado via Microsoft Forms e pode ser conferido na íntegra no apêndice B.

O próximo capítulo trará a análise das respostas obtidas após a aplicação do questionário.

Capítulo 7

Análise das respostas

A pesquisa de avaliação do produto educacional e sua análise são de suma importância para o cumprimento das normas do MNPEF, pois é necessário relatar o êxito ou insucesso do produto.

Como informado anteriormente, o *website* foi aplicado para 110 alunos, sendo que 94 alunos responderam o questionário. A apresentação das respostas dos alunos, com suas devidas análises, foi dividida em 3 conjuntos: caracterizando o aluno pesquisado, influência do site sobre o aluno e avaliação do site.

7.1 Caracterizando o aluno pesquisado

O primeiro conjunto de questões teve a finalidade de caracterizar o aluno pesquisado e entender sua relação com a Física. Os 94 alunos pesquisado estão divididos em 4 turmas (A, C, D e E), ou seja, a sequência foi aplicada em 4 espaços amostrais. A Fig. 7.1 mostra que cada turma contribui com aproximadamente 25% da pesquisa. Isto indica uma maior variedade de dados coletados, pois o envolvimento de cada espaço amostral com o *website* foi e sempre será diferente.



Figura 7.1: Distribuição dos 94 alunos pesquisados em turmas.

Para caracterizar o aluno que navegou no site e traçar correlações entre suas respostas, deve-se entender o seu envolvimento com a Física. Primeiramente, apresentaremos um ótimo resultado, quase todos alunos (93) enxergam a Física como uma ciência importante.

Mas quando questionados sobre o gosto pela Física, constatou-se que 64% dos alunos gostam de estudar Física no ambiente escolar (Fig. 7.2) e apenas 36% dos alunos possuem interesse em Física fora da escola (Fig. 7.3). Estes números indicam que a Física é impopular para grande número de alunos pesquisados. Algumas razões que justificam este fato já foram levantadas na introdução deste trabalho e também podem ser encontradas na análise de Moreira [2].



Figura 7.2: Alunos que gostam de estudar Física na escola.

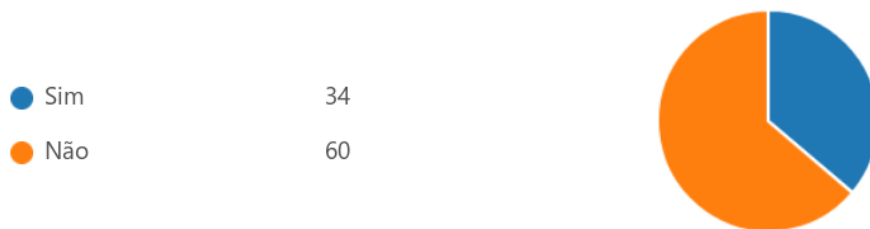


Figura 7.3: Alunos que possuem interesse em Física fora do ambiente escolar.

Quando perguntados sobre interesse por cursos de graduação, um número considerável (38%), mas minoria dos pesquisados tem interesse na área de exatas. Sendo que os cursos mais procurados são: Engenharias (17 alunos), Medicina/Biomedicina (10 alunos), Direito (9 alunos), Economia (7 alunos). Importante ressaltar que apenas 1 aluno gostaria de cursar Física, 1 aluno gostaria de cursar Astronomia e 2 alunos gostariam de cursar Engenharia Física, cursos correlatos ao tema do produto educacional. A figura 7.4 mostra as áreas de interesse dos alunos de maneira completa.

Com a pesquisa, pode-se verificar algo contrário ao senso comum, pois nem todo interessado em exatas possui interesse em Física, dos 36 alunos que pretendem ir para área de exatas, 33% não buscam informações relacionadas à Física fora da escola.

Quando confrontamos o interesse de área com o interesse pela Física, notamos que 33% dos 36 alunos que pretendem cursar exatas não procuram informações da Física fora do ambiente escolar. Este número serve como um alerta, pois a Física se apresenta impopular até mesmo entre os alunos que irão necessitar dela diariamente, seja na graduação ou no futuro trabalho. Apesar de não ser a discussão central deste trabalho, vale uma reflexão:

O que nós (educadores) devemos fazer para tornar os assuntos de Física mais populares entre os estudantes da educação básica?

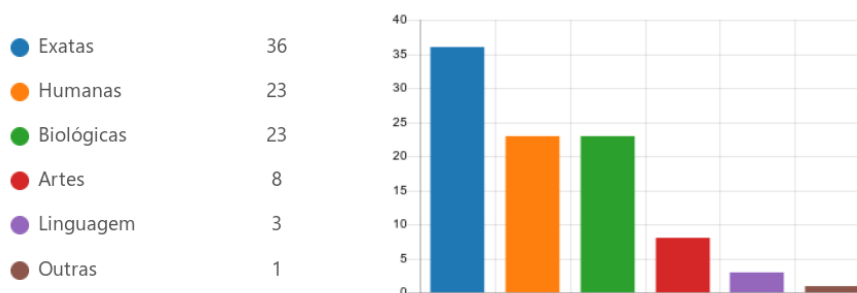


Figura 7.4: Principal área de interesse no estudo.

Com os dados apresentados nesta primeira etapa, entende-se que os alunos pesquisados gostam de estudar Física apenas na escola, pois são motivados por notas e, a maioria tem interesse por áreas diferentes das exatas. Essas características são importantes para o entendimento dos impactos do *website* sobre os alunos.

7.2 Influência do *website* sobre o aluno

Para entender o impacto do *website* sobre a aprendizagem dos alunos, eles foram questionados sobre seus conhecimentos prévios na área de Física de Partículas. O resultado é que apenas 29% dos alunos ouviram algo sobre Física de Partículas ou Neutrinos antes de conhecer o produto educacional (figura 7.5). Este número não é surpreendente, uma vez que a escola ainda não havia apresentado o conteúdo de maneira formal e o aluno não procura informações relacionadas à Física fora do ambiente escolar. Confrontando algumas respostas, conseguimos identificar que os alunos interessados em Física fora do ambiente escolar (figura 7.3) são os mesmos que tiveram contato com esse conteúdo antes de conhecer o *website*.

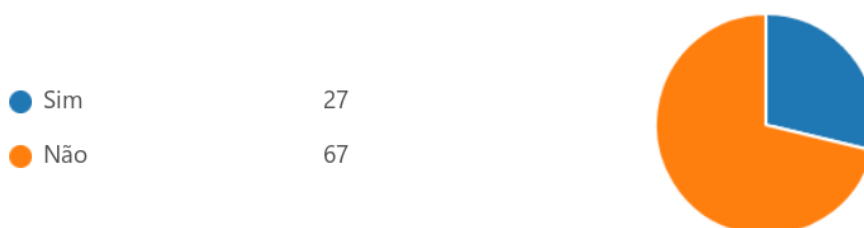


Figura 7.5: Alunos que já ouviram algo sobre Física de Partículas ou Neutrinos antes de conhecer o site.

O aluno também foi questionado se seu conhecimento prévio foi suficiente para compreender o conteúdo do *website*, lembrando que a pesquisa ocorreu após a aplicação do

produto. As respostas desta pergunta estão apresentadas na figura 7.6, mostrando que 16% entenderam a maioria das informações contidas no site, 55% entenderam parte das informações e 29% tiveram dificuldades de entender as informações. Como já caracterizamos o aluno pesquisado, esses números estão dentro do esperado, pois a maioria não tem real interesse pela Física e nunca teve contato com a Física de Partículas antes do site.

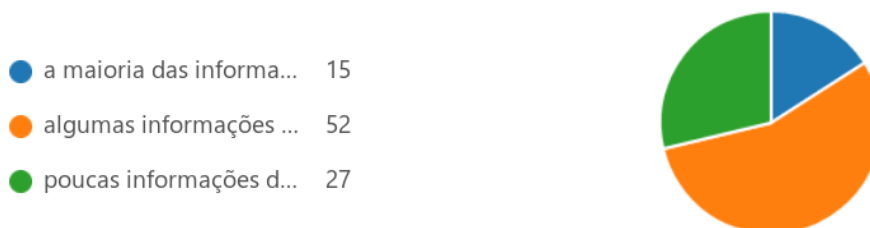


Figura 7.6: O aluno relaciona seu conhecimento prévio com o estudo do site.

Os próximos dados se referem aos impactos do *website* sobre o aluno após a aplicação do produto educacional. A figura 7.7 mostra claramente que o site foi, no mínimo, inspirador para os alunos, pois a maioria (68%) aumentou o interesse pela Física.

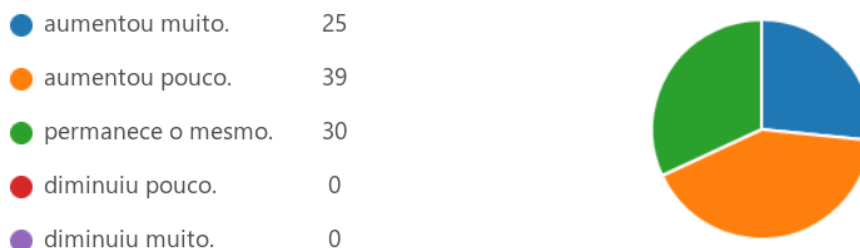


Figura 7.7: Interesse por temas relacionados à Física após conhecer o site.

Uma informação relevante surge na correlação com dados anteriores, constatamos que o site despertou mais interesse de quem já apresentava pré-disposição a estudar essa disciplina. Dos 25 alunos que aumentaram muito o interesse pela Física, 64% já havia declarado o gosto por estudá-la.

Quando questionamos novamente sobre a importância da Física, todos os alunos passaram a enxergar a Física como uma ciência importante após o contato com o *website*, sendo que 62% passaram a enxergar ela de forma mais importante do que consideravam (figura 7.8).

Após a leitura do *website* junto da orientação do professor em sala de aula, os alunos foram perguntados sobre o conhecimento obtido e, na figura 7.9 pode-se ver que todos os alunos julgaram satisfeitos ou muito satisfeitos neste quesito. Pode-se destacar como impactante a quantidade de alunos que responderam muito satisfeitos com o conhecimento

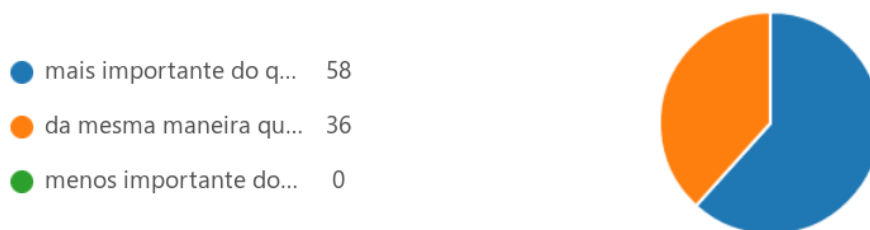


Figura 7.8: Importância da Física como uma ciência após conhecer o site.

obtido, 62%. Esse resultado é muito satisfatório, ainda mais comparando com a falta de interesse pela Física e a falta de conhecimento prévio desses alunos.

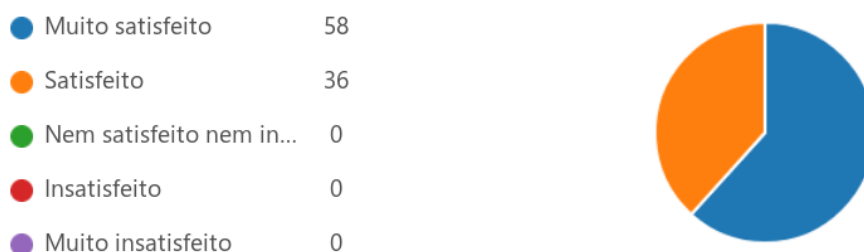


Figura 7.9: Avaliação do aluno em relação ao conhecimento obtido através do *website*.

De modo geral, o *website* contribuiu no aumento de conhecimento do aluno (verificado pela produção ao longo das aulas), também despertou o interesse de alguns ou aumentou o interesse de outros pela Física, em particular pela Física de Partículas. Além disso, o tema atual, Neutrinos, também ajudou o aluno a enxergar a importância da Física na geração de conhecimento para humanidade e compreender o investimento financeiro para a realização da ciência.

7.3 Avaliação do site

Antes de avaliar os aspectos do site, o aluno foi questionado sobre o tipo de dispositivo que mais utilizou durante a navegação. E, verificou-se que do total de alunos, 47% usaram majoritariamente o tablet, 46% usaram majoritariamente o celular e apenas 7% usaram majoritariamente o computador. Essa resposta é importante para entender se o tipo de dispositivo influenciou na experiência do usuário com o *website*. Como já foi relatado, o tema adotado para criação do site apresenta diferenças quando utilizado em computadores/tablets ou celulares, sendo que o segundo grupo tem algumas limitações de recursos.

Em seguida, os alunos responderam sobre a linguagem dos textos, aparência do site e sobre a organização e estrutura do site, esses 3 quesitos são de extrema importância

para implementação de melhorias no site e para a avaliação do produto educacional. Na figura 7.10, pode-se ver que os alunos avaliaram muito bem a linguagem empregada na apresentação do conteúdo, 70% a julgaram como excelente e 28% a julgaram como boa.

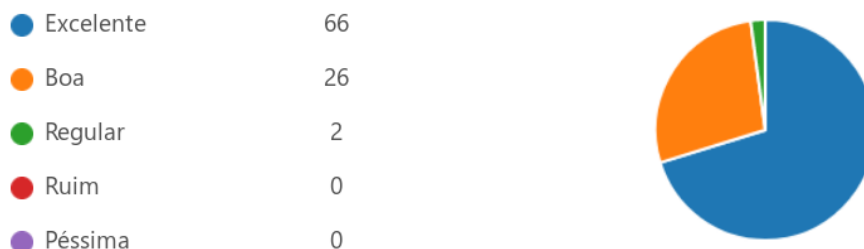


Figura 7.10: Avaliação da linguagem dos textos.

A aparência do site também foi muito bem avaliada (figura 7.11), 78% dos estudantes disseram que o site tem uma aparência excelente, enquanto outros 18% disseram que o site tem uma aparência boa.

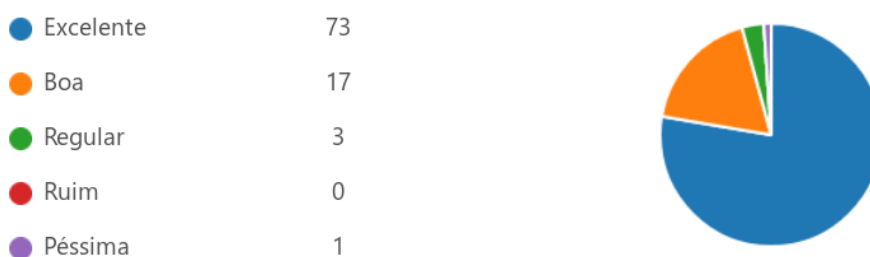


Figura 7.11: Avaliação da aparência do site.

O último quesito avaliado foi a organização e estrutura do site (figura 7.12), sendo que 72% dos estudantes julgaram esse quesito como excelente, enquanto outros 20% dos estudantes julgaram esse quesito como bom.

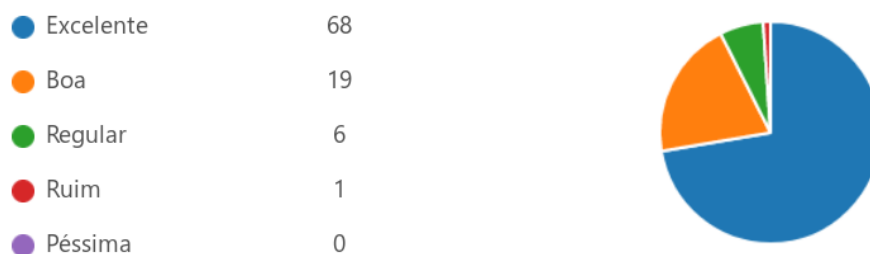


Figura 7.12: Avaliação da estrutura e organização do site.

A impressão dos alunos sobre o material complementar também foi avaliada e os resultados estão apresentados nas figuras 7.13 e 7.14. Os estudantes avaliaram muito bem os

vídeos, imagens, simuladores e links externos selecionados para auxiliar no entendimento do conteúdo, a figura 7.13 mostra que 73,2% julgaram esses materiais como excelentes. Como discutido em outro capítulo, há pouco material visual sobre neutrinos disponível em língua portuguesa, o que exigiu o uso de materiais no idioma inglês. Assim, os alunos também avaliaram os materiais complementares em inglês e, o resultado foi surpreendente, aproximadamente, 82% disseram que o material é bom ou excelente. De modo geral, o material complementar foi muito bem aceito pelos alunos avaliados, mesmo os materiais em outro idioma.

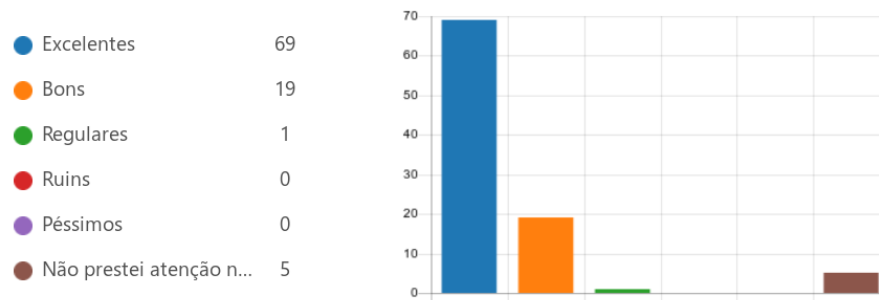


Figura 7.13: Avaliação dos vídeos, imagens, simuladores e links externos.

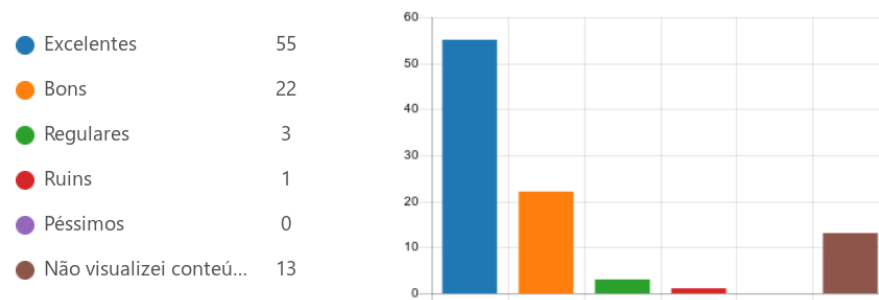


Figura 7.14: Avaliação dos vídeos, imagens, simuladores e links externos (em inglês).

Para uma avaliação mais abrangente, os estudantes responderam 3 perguntas abertas, destacando os aspectos positivos do site, os aspectos negativos do site e suas sugestões e/ou comentários gerais.

Em relação aos aspectos positivos, aproximadamente 70% dos alunos, em algum trecho do seu relato, apontaram a linguagem do site como o principal aspecto positivo. Destacamos os seguintes relatos dos alunos:

- *Transmite informações que não tínhamos tanto conhecimento de forma mais acessível para nós.*
- *É muito dinâmico e tem uma linguagem muito própria de fácil entendimento.*
- *Os textos estão apresentados de maneira bem didática para o entendimento de leigos.*

- *Bom conteúdo e linguagem objetiva.*
- *Linguagem acessível ao estudante do Ensino Médio e explica o necessário para o entendimento.*
- *A linguagem simples na explicação dos assuntos facilita a compreensão.*
- *Informação explicada de forma clara e fácil de entender...*
- *A linguagem menos formal junto com as figuras ajudam muito no entendimento.*
- *Bastante informação...*

Em seus relatos, os alunos também levantaram outros aspectos positivos como: imagens, vídeos, aparência do site e organização. Destacamos os seguintes relatos dos alunos:

- *Muito bem organizado, fácil de entender e excelente conteúdo complementar.*
- *Gostei muito das imagens e vídeos, pois elas ajudam muito na hora de entender os conceitos.*
- *Abordagem de temas teóricos complexos de forma acessível, apresentação dinâmica e fluida.*
- *Trouxe o conhecimento bem explicado e dividido, além de ter uma excelente aparência.*
- *Muito prático, bem estruturado, fácil de entender e criativo.*
- *O site é muito bonito e possui ótimas imagens.*
- *Aparência e organização.*
- *Ilustrações e limpeza estética.*
- *Ótimo método de aprendizagem.*

Em relação aos aspectos negativos, aproximadamente 25% dos alunos, em algum trecho do seu relato, destacaram a dificuldade para entendimento do conteúdo apresentado. Destacamos os seguintes relatos dos alunos:

- *Um as pequenas partes onde o conteúdo estava confuso para alunos com dificuldades.*
- *Informações básicas para o entendimento de um tema mais específico e complexo.*
- *Conter mais informações sobre conhecimentos básicos de partículas.*
- *Alguns termos técnicos não entendi.*

- *Alguns textos não são bem explicativos.*
- *A falta de informações básicas para a compreensão de leigos.*
- *Matéria muito avançada.*
- *Para quem não tem os conhecimentos prévios básicos fica meio difícil entender.*
- *Alguns assuntos se sobrepõem e acabam confundindo a cabeça, como na questão da oscilação de sabor.*

Em seus relatos, os alunos também levantaram outros aspectos negativos como: a necessidade da inserção de mais imagens e vídeos como exemplos, falta de recomendações para aprofundamento do conteúdo estudado, otimização do site para uso em celulares, uma melhor organização do site e site fora do ar. Destacamos os seguintes relatos dos alunos:

- *Falta de uma área com termo mais técnicos.*
- *Falta de recomendação de livros e artigos mais técnicos.*
- *No começo tive dificuldade pra entender como acessava.*
- *O conteúdo do site é muito dividido entre várias páginas.*
- *Tem algumas partes que não possui resumo no final e isso ajuda muito.*
- *Podia ter mais vídeos.*
- *Achei que não tem muita ilustração.*
- *Faltam mais vídeos de experimentos.*
- *Não está totalmente otimizado para dispositivos móveis.*
- *Em um momento ficou fora do ar, mas acho que foi problema do servidor.*

Dos 94 alunos, 60% destacou, pelo menos, um aspecto negativo. Mas, o esperado seria receber críticas negativas de todos os alunos. Assim 40% dos alunos que declararam que não há pontos negativos no *website*, ou seja, consideram que o site está pronto para ser utilizado sem problemas aparentes. Alguns desses relatos dos alunos são apresentados a seguir:

- *Não consigo reconhecer nenhum.*
- *Não vi nada negativo.*
- *Não me recordo no momento.*

- *Na minha opinião o site não possui aspectos negativos.*

Em relação às sugestões, aproximadamente 38% dos alunos, em algum trecho do seu relato, sugeriram a inclusão de mais recursos visuais como ilustrações, quadros comparativos, vídeos e mapas mentais para auxiliar na compreensão dos textos. Destacamos os seguintes relatos dos alunos:

- *Seria legal fazer mais quadros comparativos.*
- *Mais vídeos como explicação.*
- *Exercícios e mais vídeos.*
- *Mapas mentais sobre o tema.*
- *Aumentar a quantidade de ilustrações no site.*
- *Seria legal inserir gifs e mais vídeos para demonstrar os processos de formação de neutrinos.*

Outras sugestões vão na direção de criar páginas ou subpáginas no site, com intuito de oferecer mais informações para os interessados. Destacamos os seguintes relatos dos alunos:

- *O site pode aprofundar mais nos conceitos que envolvem as partículas elementares (em outra aba para aqueles mais interessados).*
- *Adição de notícias recentes e artigos relacionados ao assunto.*
- *Sessão Comentários podia ser incluída.*
- *Ressaltar um pouco dos projetos e pesquisadores da área no Brasil.*
- *Colocar áreas de conhecimento técnico mais avançado com livros e artigos.*

E, outras sugestões indicam pontos gerais que podem ser melhorados. Destacamos os seguintes relatos dos alunos:

- *O site pode aprofundar mais nos conceitos que envolvem as partículas elementares (em outra aba para aqueles mais interessados).*
- *Melhorar a disposição do site, principalmente para aparelhos móveis.*
- *O conteúdo poderia ser mais centralizado, como por exemplo: mencionando todos os experimentos em uma única página.*
- *Só precisa reorganizar a interface que contém informações no site (página inicial).*

- *Para melhor uso em sala de aula, uma parte como se fosse uma apresentação de Power Point.*

Para finalizar a análise das respostas dos alunos, os alunos fizeram comentários gerais sobre o site, a maioria elogiando o site e seu uso. Destacamos os seguintes relatos dos alunos:

- *Gostei muito de ter conhecido o site, pois me ajudou a entender mais sobre partículas relacionadas a física, e também o fato do site ser bem explicativo e didático, faz com que os alunos tenham facilidade na hora do aprendizado e no manuseio par encontrar os tópicos em sala.*
- *O site é extremamente criativo, relaxante ao teor de estudar física e acaba fazendo com a outras pessoas também se interessem pelo assunto, mas acho que algumas áreas do site poderiam ser aprimoradas para uma melhor compreensão, como deixar de forma mais clara os tópicos da matéria ao serem acessados e sempre explicando os termos físicos para aqueles que não se lembrarem.*
- *É necessária uma base de conhecimento maior do que ensino médio para ter o melhor entendimento, porém o site é muito bom para o estudo dessa área da física.*
- *...adorei o site, está autoexplicativo. Gostei muito de entender o papel do neutrino para a sociedade contemporânea, pois é um conteúdo pouco falado entre jovens, mas muito importante para a compreensão do universo, e, para uma matéria tão complexa quanto essa, acho que tivemos uma maravilhosa didática.*
- *O site tem potencial para ser divulgado para pessoas alem dos alunos do Salê (escola).*
- *... o site é excelente e aprendi muito com ele.*
- *Adorei o site, fiquei muito curiosa para saber mais sobre neutrino.*
- *No geral não encontrei defeitos, site muito interessante, se eu fosse estudar essa área eu usaria com certeza.*

Capítulo 8

Conclusões

Vamos iniciar a conclusão minimizando as críticas e/ou as polêmicas sobre o contexto educacional brasileiro, os quais apareceram em algum momento nesta dissertação. O intuito deste trabalho é trazer um recurso extra para ser explorado nas salas de aula, ou seja, estamos mais na linha de propor soluções ao invés de fomentar as velhas críticas sobre o ensino de física no Brasil. Desta forma, assumiremos que a aplicação do nosso produto educacional deve ser adaptada à realidade de cada escola, mas sempre com o objetivo de promover uma nova e significativa aprendizagem ao aluno. Também creio que, se o professor tiver apenas 1 aula para introduzir as ideias básicas de neutrinos (ou Física de Partículas) e também apresentar nosso *website*, isso já seria mais que o suficiente para um aluno ir em busca desse conhecimento.

Nosso produto educacional, apesar de empregar recursos tecnológicos e ter sua aplicação norteada por metodologias ativas de ensino, também utilizou estratégias do ensino tradicional. Desta mescla, concluímos que nosso produto educacional faz uma boa transição entre o tradicional e o novo. Contudo, assumimos que nosso produto tem um maior potencial de ensino quando utilizado como ferramenta de um ensino híbrido.

Embora a utilização de estratégias tradicionais de ensino em alguns momentos da aplicação do produto educacional, focamos nossas ações na linha cognitivista, com Ausubel e Bruner como referências. Primeiramente, utilizamos um material potencialmente significativo para o aluno, pois criamos um site de conteúdo e uma sequência didática que valorizasse o conhecimento prévio e que fosse honesta para o nível intelectual deste público alvo. Em todas as aulas, buscamos “ativar” os conhecimentos prévios dos alunos, também utilizamos do aprofundamento contínuo, do desenvolvimento gradativo do conteúdo e de repetições dos principais conceitos, além de motivar o aluno para estudar o tema. Com isso, a maioria deles desenvolveram um novo conhecimento, acredito que, significativa. Essa conclusão é embasada nas atividades e resultados apresentados ao longo das aulas pelos alunos, esses tipos de avaliações distanciam do sistema engessado para testagens.

Após a aplicação do produto e da pesquisa de avaliação do *website*, percebemos que os alunos que possuíam conhecimentos prévios sobre partículas elementares e modelo padrão

tiveram muito mais facilidade para compreender as propriedades e as informações relacionadas aos neutrinos. Logo, concluímos que para um aluno aprender a física de neutrinos é necessário um pré-requisito, conhecimentos sólidos sobre partículas elementares e modelo padrão. Desta forma, recomendo a discussão do básico da física de partículas antes de iniciar o trabalho com o *website*.

Com base nos resultados coletados junto aos alunos, o *website* que criamos contribuiu no aumento de conhecimento do aluno, além de despertar o interesse de muitos pela Física Contemporânea. Além disso, o tema atual, Neutrinos, também ajudou o aluno a enxergar a importância da Física na geração de conhecimento para humanidade e recursos tecnológicos.

Outro ponto importante que notei ao longo das aulas e com a entrega das atividades, é que a sequência didática incentivou o aluno a questionar e, principalmente, refinar suas formulações de perguntas. De modo geral, os alunos passaram a pensar mais no que deve ser perguntado. Isso converge com um dos objetivos indiretos do uso da sala de aula invertida.

Após o *feedback* dos alunos, concluímos que o site interage bem com o público alvo – os alunos do ensino médio. Possui uma boa interface, uma excelente linguagem e é uma ótima fonte de conhecimento. Avaliamos que este produto educacional atingiu os objetivos iniciais propostos e tem potencial para ser referência do tema para professores do ensino básico, já que há poucos materiais abordando o tema em português. Também, verificamos que o site carece de mais ilustrações e vídeos explicativos.

Em relação as principais dificuldades encontradas na elaboração do *website*, destacamos a falta de materiais didáticos para estudo, ou eles trazem informações superficiais ou informações num alto nível de complexidade. A maior dificuldade foi a elaboração de conteúdo sobre as propriedades dos Neutrinos, pois o tema apresenta referências complexas. Assim, tivemos que fazer muitas adequações de linguagem, mantendo o significado dos conceitos abordados. Também constatamos que os melhores materiais sobre neutrinos estão no idioma inglês (porque é a língua adotada pela comunidade científica mundial) e produzidos pelo Fermilab (provavelmente porque é o centro de pesquisas sede do DUNE, o maior detector de neutrinos do mundo, em construção).

Os neutrinos e qualquer outro tema da Física Contemporânea são pouco explorados no ensino básico, talvez pela contemporaneidade do estudo. Sendo esse o motivo ou não, é de suma importância uma maior interação entre as instituições científicas/acadêmicas com o ensino básico. Uma população que entende a importância das Ciências tende a defendê-la. Neste contexto, devemos pensar que a escola básica é um grande aliado das Ciências.

Apêndice A

Guia do professor

Incluimos neste Apêndice o “Guia do Professor – Manual de Instruções para o Uso do *Website*”. A versão em formato PDF pode ser encontrado na subpágina “Para professores”, no endereço

<http://propg.ufabc.edu.br/mnpef-sites/neutrinos/index.php/professores/>

GUIA DO PROFESSOR:

CONSTRUÇÃO DE UM WEBSITE SOBRE A FÍSICA DOS NEUTRINOS PARA ALUNOS DO ENSINO MÉDIO

Denis Marcel Gouveia de Souza

Orientador: Prof. Dr. José Kenichi Mizukoshi



Santo André - SP

2020

SUMÁRIO

1. MANUAL DE INSTRUÇÕES PARA USO DO WEBSITE.....	3
1.1. Descrição dos conteúdos e objetivos das páginas do Website	3
2. MANUAL DE INSTRUÇÕES PARA APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL (SUGESTÃO)	9
2.1. Metodologias de ensino utilizadas na aplicação do produto	9
2.1.1. Ensino Híbrido	9
2.1.2. Sala de Aula Invertida (Flipped Classroom).....	10
2.1.3. Instrução pelos Colegas (Peer Instruction)	12
2.2. PLANO DE APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL (PARA O PROFESSOR).....	14
2.3. INSTRUÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA (GUIA DO ALUNO).....	17
3. TESTES CONCEITUAIS QUE PODEM SER UTILIZADOS DURANTE AS AULAS OU AVALIAÇÕES.....	24
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28

1. MANUAL DE INSTRUÇÕES PARA USO DO WEBSITE

Caro professor, o website “Neutrinos” é um produto educacional do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de física - Polo UFABC. Ele foi construído utilizando a plataforma de desenvolvimento livre Wordpress e está hospedado no servidor da Universidade Federal do ABC (UFABC), no seguinte endereço eletrônico:

<http://propg.ufabc.edu.br/mnpef-sites/neutrinos>

Com a intenção de transmitir informações sobre os neutrinos, o website está estruturado em páginas que ramificam em subpáginas, conforme ilustrado na figura 1.



		NEUTRINOS							
PÁGINAS		PÁGINA INICIAL	SITUANDO OS NEUTRINOS	PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS	FONTES	DETECTORES	EXPERIMENTOS	EXTRAS	PARA PROFESSORES
SUBPÁGINAS	APRESENTAÇÃO DO PRODUTO	O QUE É O NEUTRINO?	SABORES	ACELERADORES DE PARTÍCULAS	VISÃO GERAL	SUPER-KAMIOKANDE	SITES E TEXTOS	ORIENTAÇÕES PARA APLICAÇÃO	
	CONTATO	AS PARTÍCULAS ELEMENTARES	MASSA	ATMOSFÉRICOS	DETECTORES CHERENKOV	ICECUBE	VÍDEOS		
		INTRODUÇÃO AO MODELO PADRÃO	OSCILAÇÃO	BIG BANG	DETECTORES CINTILADORES	DUNE	NOTÍCIAS		
		INTERAÇÕES DOS NEUTRINOS	NÚMERO LEPTÔNICO (ANTINEUTRINO)	CÓSMICOS		SNO	REFERÊNCIAS		
			HELICIDADE E QUIRALIDADE	DECAIMENTOS		BOREXINO			
				REATORES NUCEARES		KAMLAND			
				SOLAR					
				SUPERNOVAS					
			ELEMENTOS RADIATIVOS						

Figura 1 – Estrutura do website em páginas e subpáginas

1.1. Descrição dos conteúdos e objetivos das páginas do Website

Página inicial

Ao acessar o URL acima você acessará a página inicial (ou “home”). Esta página tem o objetivo de apresentar o site e instigar o visitante a acessar as páginas do menu. Para isso, a página está dividida em 3 partes: cabeçalho, apresentação básica dos neutrinos e apresentação do produto educacional.

Após o contato inicial com o cabeçalho, o visitante encontra uma breve apresentação do conteúdo que encontrará no site, contendo informações rápidas sobre os neutrinos, curiosidades e uma ilustração feita por alunos colaboradores. Em seguida, o usuário terá acesso a

apresentação do site, os autores, os objetivos de trabalhar com os neutrinos no Ensino Médio e um breve guia de navegação.

No fim da página inicial, há um botão para iniciar o estudo guiado do *site*, o qual otimizará a navegação do usuário, levando-o para a página “Situando os neutrinos”.

Situando os neutrinos

Esta página tem o objetivo de situar os neutrinos dentro das partículas elementares, mostrando suas principais propriedades e interações. Para isto, o conteúdo da página está dividido em 4 subpáginas sequenciais:

- “O que é o neutrino?”,
- “As partículas elementares”,
- “Introdução ao modelo padrão”
- “Interações dos neutrinos”

Ao término de cada subpágina há um quadro resumindo os pontos mais importantes dos textos, ajudando o usuário a focar o estudo no neutrino.

Ao fim deste eixo temático, o usuário deve ser capaz de:

- classificar os neutrinos como Bósons, pertencentes ao grupo dos Léptons.
- conhecer quais são as interações que os neutrinos podem experimentar e suas razões.
- espera-se que o usuário tenha muitos questionamentos sobre esta partícula, pois isso o incentivará a continuar navegando pelo website.

Agora, o estudo guiado dá 3 possibilidades para o usuário prosseguir, “Propriedades dos neutrinos”, “Fontes de neutrinos” ou “Detectores de Neutrinos”. Essa tática foi adotada, pois o usuário já contextualizou a partícula e agora pode seguir para a área de maior interesse. Essa liberdade de navegação permite que ele se envolva cada vez mais com o *website*.

Propriedades dos neutrinos

Esta página tem o objetivo de apresentar algumas das propriedades dos neutrinos. Cada propriedade é apresentada numa subpágina, são elas:

- “Sabores”
- “Massa”
- “Oscilação”
- “Número Leptônico e o Antineutrino”
- “Helicidade e Quiralidade”

Para ajudar na compreensão da leitura e expandir o estudo, ao longo dos textos há muitos links internos e externos complementares ao conteúdo. E, ao término de cada subpágina há um quadro resumindo os pontos mais importantes dos textos, ajudando o usuário a focar no objeto de estudo, o neutrino.

Ao fim deste eixo temático, o usuário deve ser capaz de:

- conhecer os 3 sabores de neutrinos (elétron, múon e tau) e associá-los ao seu respectivo lépton.
- entender que a massa de cada sabor de neutrino é constituída por três entidades coexistentes (=neutrinos físicos).
- entender o básico da oscilação e o mecanismo dessa mudança de sabor.
- diferenciar um neutrino de um antineutrino utilizando o número leptônico. Entender como esse número é distribuído entre os léptons e como funciona sua conservação.
- construir a ideia de quiralidade, ter o conhecimento que todos os neutrinos detectados até hoje são de mão esquerda, pois toda partícula detectada pela interação fraca é de mão esquerda.

Fontes de neutrinos

Esta página tem o objetivo de mostrar quais são as principais fontes e a importância em estudar os neutrinos. Assim, a página apresenta 9 fontes de neutrinos diferentes, sendo uma subpágina exclusiva para cada fonte:

- “Aceleradores de partículas”
- “Atmosféricos”
- “Big Bang”
- “Cósmicos”
- “Decaimentos”
- “Reatores nucleares”
- “Solar”
- “Supernovas”
- “Elementos radioativos”

Cada uma das subpáginas segue o seguinte roteiro:

1ª) É apresentado os sabores de neutrinos produzidos neste tipo de fonte através de ilustrações próprias (Figura 2);



Figura 2 – Apresentação dos sabores de neutrinos em cada fonte

2ª) Explicação de como os neutrinos são produzidos neste tipo de fonte;

3ª) Explicação da importância do neutrino produzido neste tipo de fonte.

4ª) Uso da mascote Cerebita para explicar algum conceito essencial do texto. A figura 3 mostra um exemplo de utilização do Cerebita, onde ele explica o que é um acelerador de partículas.

5ª) Para ajudar na compreensão da leitura e expandir o estudo, ao longo dos textos há muitos links internos e externos complementares ao conteúdo.



Figura 3 – Parte da explicação do Cerebita sobre aceleradores de partículas

Detectores de Neutrinos

Esta página tem o objetivo de mostrar as principais características de um detector e como ocorre a detecção dos neutrinos. Para isso, a página apresenta 3 subpáginas:

- “Visão geral”
- “Detectores Cherenkov”
- “Detectores Cintiladores”

Ao fim deste eixo temático, o usuário deve ser capaz de:

- destacar as 3 principais características de um detector de neutrinos: alvo com grande volume, enterrado em grandes profundidades e possui milhares de sensores de luz.
- entender que o neutrino interage com um elétron ou partículas do núcleo atômico via interação fraca, liberando radiação em forma de luz.
- entender que o uso de materiais cintiladores possibilita a detecção de neutrinos de baixas energias (inferior a 1 MeV).

Para ajudar na compreensão da leitura e expandir o estudo, ao longo dos textos há muitos links internos e externos complementares ao conteúdo.

Além dessas páginas de conteúdo, o site também possui páginas complementares, como: “Experimentos”, “Extras”, “Para professores”.

Experimentos

Esta página apresenta alguns dos principais experimento de neutrinos. Cada um desses experimentos está numa subpágina que discute as principais características, além de fornecer os links oficiais desses detectores.

- “Super-Kamiokande”
- “IceCube”
- “DUNE”
- “KamLand”
- “SNO+”
- “Borexino”

Um dos principais objetivos da página é que o usuário entenda a grandiosidade desses experimentos e que enxergue a Física de neutrinos como algo importante para construção de conhecimento humano, já que muitos países espalhados pelo mundo vêm investindo muito dinheiro na área.

Extras

Esta página concentra materiais disponíveis na internet sobre neutrinos. Para melhor organizar os materiais, foram criadas 4 subpáginas:

- “Sites e textos da internet”
- “Vídeos”
- “Notícias”
- “Referências bibliográficas”

Assim, o usuário pode encontrar todos os links externos utilizados no site e outras referências para aprofundamento no assunto de interesse.

Para professores

Esta página traz orientações para o professor, assim o professor que pretende utilizar o produto educacional em suas aulas pode ser norteado por esses documentos. São eles:

- Manual de instruções para uso do website
- Uma sugestão de sequência didática utilizando o website
- Material complementar de estudo para o professor

2. MANUAL DE INSTRUÇÕES PARA APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL (SUGESTÃO)

Caro professor, vamos apresentar uma sugestão de sequência didática para uso do *website*. Esta sequência didática está pautada na sala de aula invertida, utilizando o *website* como principal referência bibliográfica.

Este manual apresenta:

- uma fundamentação teórica das metodologias de ensino utilizadas na aplicação;
- um plano de aplicação para o professor (modelo para impressão);
- um caderno de instruções para o aluno, vinculado com o plano de aplicação (modelo para impressão).

2.1. Metodologias de ensino utilizadas na aplicação do produto

O planejamento da aplicação deste trabalho foi norteado pelo ensino híbrido, utilizando muito das estratégias propostas pela sala de aula invertida e pelo ensino colaborativo (Instrução pelos colegas). As seções a seguir irão descrever o básico de cada uma destas metodologias.

2.1.1. Ensino Híbrido

O ensino híbrido (ou *blended learning*) é uma modalidade de ensino em que parte das atividades são realizadas a distância e outra parte em sala de aula. O trabalho de Valente (2014, p. 84), define o ensino híbrido como “um programa de educação formal que mescla momentos em que o aluno estuda os conteúdos e instruções usando recursos on-line, e outros em que o ensino ocorre em uma sala de aula, podendo interagir com outros alunos e com o professor.”

Valente (2004) também explica qual é o papel do aluno e do professor nesta modalidade de ensino. Durante a parte on-line, o aluno é capaz de controlar como, quando e onde estudar. E, durante a aula presencial, o aluno pode contar com a orientação do professor, o qual propõe atividades que valorizam as interações interpessoais e complementam o conteúdo estudado a distância. O autor alerta que ao utilizar o ensino híbrido, o professor deve se atentar a tênue linha entre o aspecto formal e informal dos conteúdos on-line. Assim, para atingir melhores resultados, o professor deve elaborar as instruções e o conteúdo para cada etapa do curso, ao invés de utilizar qualquer material disponível na internet, os quais podem se aproximar de uma aprendizagem mais informal.

No cenário atual, as tecnologias móveis (celulares e tablets) conectadas a rede são os principais aliados desta modalidade, permitindo a flexibilização dos processos de ensino-

aprendizagem e a integração simultânea de todos os espaços. Desta maneira, o ensino híbrido atende dos estudantes mais proativos até os mais passivos, dos mais rápidos aos mais lentos, dos autodidatas aos mais dependentes de tutoria. BACICH e MORAN (2015, p. 45)

Em relação aos aspectos positivos, Valente (2004) defende que o ensino híbrido proporciona “um processo de ensino e de aprendizagem mais eficiente, interessante e personalizado”. Enquanto, BACICH e MORAN (2015, p. 45) defendem que “a integração cada vez maior entre sala de aula e ambientes virtuais é fundamental para abrir a escola para o mundo e trazer o mundo para dentro da escola”.

Um modelo de ensino híbrido que pode ser utilizado atualmente é a sala de aula invertida, este será o tema da próxima seção.

2.1.2. Sala de Aula Invertida (Flipped Classroom)

Segundo Oliveira et al. (p. 5) esta metodologia de ensino tem como principal característica colocar o aluno em contato com o conhecimento antes da aula, invertendo a lógica tradicional de ensino. Durante a aula, o professor emprega técnicas que incentivam o trabalho colaborativo, além disso, auxilia na execução de tarefas que utilizam o conhecimento prévio dos estudantes. Tudo isso ocorre estimulando o aluno como protagonista, onde ele é engajado em construir seu próprio conhecimento.

Na sala de aula invertida, o contato prévio entre o aluno e a informação pode acontecer por meio de leituras, vídeos, simuladores e outros materiais selecionados pelo professor na elaboração da pré-aula. A grande vantagem deste momento é a liberdade que o aluno possui para o estudo, ele pode rever o material e dar ênfase no que julgar mais importante até atingir uma compreensão adequada do objeto de estudo, muito diferente da aula expositiva tradicional. (Oliveira et al., 2014, p. 5)

Durante a aula, o professor propõe um problema que valoriza a aplicação dos conceitos estudados em casa pelos alunos. Geralmente, essas atividades valorizam a postura ativa dos alunos, o professor tem apenas a função de orientá-los ao longo do processo, ressignificando as relações de aprendizagem que conhecemos tradicionalmente. O trabalho de Valente (2014) retirou do relatório Flipped Classroom Field Guide as seguintes regras básicas para inverter a sala de aula:

1) as atividades em sala de aula envolvem uma quantidade significativa de questionamento, resolução de problemas e de outras atividades de aprendizagem ativa, obrigando o aluno a recuperar, aplicar e ampliar o material aprendido on-line;

2) Os alunos recebem feedback imediatamente após a realização das atividades presenciais;

3) Os alunos são incentivados a participar das atividades on-line e das presenciais, sendo que elas são computadas na avaliação formal do aluno, ou seja, valem nota;

4) tanto o material a ser utilizado on-line quanto os ambientes de aprendizagem em sala de aula são altamente estruturados e bem planejados

BACICH e MORAN (2015, p. 46) defendem o modelo da sala de aula invertida, pois argumentam que é importante a interação do estudante com o conteúdo antes da formalização da teoria em sala de aula.

Diversos estudos têm demonstrado que os estudantes constroem sua visão sobre o mundo ativando conhecimentos prévios e integrando as novas informações com as estruturas cognitivas já existentes para que possam, então, pensar criticamente sobre os conteúdos ensinados. (p. 46)

Oliveira et al. (2014) destaca a função do professor e do aluno dentro desta metodologia. Assim, o docente passa a ter um papel de atuação diferente na sala de aula invertida, ele concentra suas atividades na criação, seleção e organização do material de estudo para as pré-aulas. E, planeja tarefas ou métodos que estimulam o engajamento dos estudantes com o objeto de estudo nos encontros presenciais. Com isso, o professor tem seu papel ressignificado, deixa de ser um expositor oral e passa a ter um papel mais importante no planejamento das aulas e orientação dos discentes.

Enquanto isso, os alunos passam a ser o centro do processo educativo, o qual está exemplificado no trecho a seguir.

Os alunos se tomam corresponsáveis tanto pela própria aprendizagem quanto pela dos colegas. Quando estão em casa, são encarregados de se prepararem para as atividades que serão desenvolvidas em sala de aula. Em classe, são responsáveis por ajudar os colegas nas atividades e contribuir para as discussões orientadas pelo professor, o que, por sua vez oportuniza a consolidação do que está sendo por eles aprendido. (Oliveira et al., 2014, p. 6)

Algumas vantagens associadas ao uso da sala de aula invertida estão apresentadas a seguir:

- Considera os conhecimentos prévios dos alunos.
- Atende os diferentes alunos presentes na sala de aula.
- Auxilia no desenvolvimento de hábitos de estudos nos estudantes.
- Auxiliam no desenvolvimento da capacidade de reflexão e da habilidade de elaborar boas perguntas.
- Estimula o desenvolvimento de habilidades relacionadas ao trabalho colaborativo.
- Leva a aprendizagem significativa.

2.1.3. Instrução pelos Colegas (Peer Instruction)

É considerado um método ativo para inverter as aulas e foi desenvolvido pelo professor de física, Eric Mazur da universidade de Harvard. Oliveira et al. resume que na Instrução pelos colegas:

"[...] o professor apresenta um teste conceitual (Puzzle) aos alunos, os quais o respondem individualmente, utilizando algum sistema de votação. Em seguida, dependendo da quantidade de acertos, o professor instrui os alunos a tentarem convencer uns aos outros de suas respostas [...] por fim, o método prevê uma segunda votação, após a discussão entre os colegas" (p. 9)

Neste método, o professor pode disponibilizar um conteúdo com um conjunto de questões para o aluno estudar antes da aula. Sempre que possível, o professor recebe as respostas das questões dias antes de ministrar a aula, assim pode diagnosticar e preparar atividades focadas nas dificuldades dos alunos para a aula presencial. Ainda, segundo Valente (p. 88, 2014) "durante a aula, as discussões são intercaladas com testes conceituais, destinados a expor as dificuldades que os alunos encontram". Esses testes podem ser realizados por sistemas interativos de votação, como o *Plickers*. A vantagem é que se trata de um aplicativo gratuito e de resposta imediata.

Em geral, a Instrução pelos colegas ocorre em ciclos de 13 a 15 minutos. Primeiramente, o professor faz uma exposição oral, enfatizando as principais dúvidas dos alunos referentes ao estudo antes da aula, em seguida, apresenta um teste conceitual, onde os alunos têm de 2 a 3 minutos para pensar e responder individualmente. O uso do *Plickers* é interessante, pois apenas o professor tem acesso a quantidade de acertos. Se a porcentagem de acertos foi entre 30% e 70%, os alunos devem discutir a questão em pequenos grupos, enquanto o professor circula pela sala promovendo discussões produtivas. Após, 2 ou 3 minutos de discussão colaborativa, os alunos voltam a responder o teste conceitual. Em seguida, o professor discute a resposta verdadeira e complementa com exemplos relevantes.

Outras possibilidades também podem acontecer, caso a porcentagem de acertos seja inferior a 30%, o professor discute o teste e propõe uma nova questão conceitual do mesmo tema. E, se for maior que 70%, o professor discute a questão e propõe um novo tema.

As vantagens deste método é que ele obriga os alunos a pensarem como elaborar argumentos e permite que eles auto avaliem o nível de compreensão dos conceitos estudados. Valente (p. 88, 2014) também enfatiza que "utilizando-se essa estratégia, foi verificado que os estudantes apresentam ganhos significativos na compreensão conceitual, avaliados com testes

padronizados, bem como ganham habilidades para resolver problemas comparáveis aos adquiridos nas aulas tradicionais”.

A eficiência do método pode ser creditada, em sua maior parte, no ensino colaborativo entre os estudantes. Um aluno que “acabou de compreender determinado conceito pode ter uma forma diferente e, muitas vezes, mais eficiente que a do professor, de explicar àquele que ainda está com dificuldades de entendimento.”

Segundo Bacich e Moran,

O trabalho colaborativo pode estar aliado ao uso das tecnologias digitais propiciando momentos de aprendizagem e troca que ultrapassam as barreiras da sala de aula. Aprender com os pares torna-se ainda mais significativo quando há um objetivo comum a ser alcançado pelo grupo.

2.2. PLANO DE APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL (PARA O PROFESSOR)

PERÍODO DE APLICAÇÃO: ____/____/____ até ____/____/____

QUANTIDADE DE AULAS: ____ aulas

METODOLOGIAS DE ENSINO: Ensino híbrido, sala de aula invertida, ensino colaborativo, instrução pelos colegas, estudo dirigido e aula expositiva

DISTRIBUIÇÃO DAS AULAS E ORIENTAÇÕES PARA A APLICAÇÃO DO PRODUTO

Momento 1: Conhecendo o neutrino

Instruções para a pré-aula:

Os alunos deverão acessar o site e ler a “Página inicial” e a página “O que é o Neutrino?” na seção “Situando os neutrinos” do menu principal. Esta etapa tem a finalidade de que o aluno adquira um conhecimento prévio sobre o tema geral.

Atividade para avaliação (individual): Cada aluno deve entregar as dúvidas da leitura.

Instruções para a aula:

- ✓ 10 minutos: Divisão da turma em 9 grupos para o desenvolvimento do projeto.
- ✓ 10 minutos: Em grupos, os alunos terão que discutir suas dúvidas sobre neutrinos, a partir da leitura prévia. Ao término do tempo, cada grupo deve apresentar suas principais dúvidas por escrito.
- ✓ 20 minutos: O professor mediará uma discussão onde um grupo consiga responder a dúvida de outro grupo.
- ✓ 10 minutos: O professor irá formalizar e expor conceitos importantes para a continuidade do estudo.

Momento 2: Situando o neutrino

Instruções para a pré-aula:

Os alunos deverão acessar o site na seção “Situando os neutrinos” e devem ler as páginas “As partículas Elementares” e o “Modelo Padrão”. Esta etapa tem a finalidade de que o aluno adquira um conhecimento prévio sobre o tema.

Atividade para avaliação (individual): Cada aluno deve entregar as dúvidas da leitura.

Instruções para a aula:

- ✓ 10 minutos: A turma será dividida em grupos, o professor apresentará a tabela do Modelo Padrão e os alunos terão que discuti-la a partir dos seus conhecimentos prévios. Ao término do tempo, cada grupo deve apresentar suas principais dúvidas por escrito.
- ✓ 15 minutos: O professor irá formalizar e expor conceitos importantes para a continuidade do estudo.

- ✓ 25 minutos: O professor utilizará testes conceituais, questões objetivas, utilizando o aplicativo Plickers. Esta etapa seguirá a metodologia de instrução pelos colegas.

Atividade para avaliação (individual): Testes conceituais.

Momento 3: Compreendendo melhor os Neutrinos

Instruções para a pré-aula:

Os alunos irão receber um estudo dirigido para a leitura da seção “Propriedades”. Esta etapa tem a finalidade de que o aluno adquira um conhecimento prévio sobre a física dos neutrinos.

Atividade para avaliação (individual): Entrega do estudo dirigido respondido.

Instruções para a aula:

- ✓ 10 minutos: Em grupos, os alunos terão que discutir suas dúvidas sobre o estudo dirigido. Ao término do tempo, cada grupo deve apresentar suas principais dúvidas por escrito.
- ✓ 30 minutos: O professor irá intercalar aula expositiva com testes conceituais (questões objetivas), utilizando o aplicativo Plickers. Esta etapa seguirá a metodologia de instrução pelos colegas.
- ✓ 10 minutos: O professor irá formalizar e expor conceitos importantes para a continuidade do estudo.

Atividade para avaliação (individual): Testes conceituais.

Momento 4: Conhecendo as Fontes de neutrinos

Instruções para a pré-aula:

Cada grupo estudará uma das fontes de neutrinos presente na seção “Fontes”. (9 grupos)

Atividade para avaliação (individual): Entregar um resumo da fonte de neutrinos estudada.

Instruções para a aula:

- ✓ 40 minutos: Cada grupo irá fazer uma apresentação de até 3 minutos sobre o seu tema. (Utilizar a página estudada)
- ✓ 10 minutos: O professor irá responder as principais dúvidas e expor conceitos importantes para a continuidade do projeto.

Atividade para avaliação (grupo): Ao término das apresentações, cada grupo deve entregar um resumo das principais características de cada fonte.

Momento 5: Como os neutrinos são detectados?

Instruções para a pré-aula:

Todos os alunos devem ler as subpáginas contidas na seção “Detectores” + “Interação dos neutrinos” em “Situando os neutrinos”. Opcionalmente, o aluno pode ler a Seção “Experimentos”. Esta etapa tem a finalidade de que o aluno adquira um conhecimento prévio sobre o tema.

Atividade para avaliação (individual): Responder e entregar o estudo dirigido + dúvidas da leitura.

Instruções para a aula:

- ✓ 10 minutos: Responder as principais dúvidas sobre o estudo dirigido.
- ✓ 15 minutos: Aula expositiva sobre importância da ciência e detectores de neutrinos
- ✓ 25 minutos: Prova online (questões objetivas)

Momento 6: Encerramento

Instruções para a aula:

- ✓ Atividade para avaliação individual (40 minutos): Prova
- ✓ Avaliação do site (10 minutos): Os alunos devem acessar o link a seguir para avaliar o site.

[https://forms.office.com/Pages/ResponsePage.aspx?id=DQSlkWdsW0yxEjaBLZtrQAAA
AAAAAAMAAAU7OUNUQjIXUUFMR1o0WFcyTE41QU9JTzQ0TkIwOC4u](https://forms.office.com/Pages/ResponsePage.aspx?id=DQSlkWdsW0yxEjaBLZtrQAAA...AAAAAAMAAAU7OUNUQjIXUUFMR1o0WFcyTE41QU9JTzQ0TkIwOC4u)

Os alunos devem ser orientados a responder de maneira sincera, pois esta pesquisa irá ajudar no desenvolvimento do site.

CRONOGRAMA

Data	___/___/___	___/___/___	___/___/___	___/___/___	___/___/___	___/___/___
Momento 1	X					
Momento 2		X				
Momento 3			X			
Momento 4				X		
Momento 5					X	
Momento 6						X

2.3. INSTRUÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA (GUIA DO ALUNO)

TEMA: NEUTRINOS

ÁREA DA FÍSICA: FÍSICA DE PARTÍCULAS

PERÍODO DE APLICAÇÃO: ____/____/____ até ____/____/____

PONTUAÇÃO: ____ pontos

MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS

Apesar da maioria das pessoas acreditar que a Ciência pode produzir conhecimentos benéficos para nossas vidas, poucos conseguem entender e defender a sua importância. Poucos sabem dizer o que os físicos estudam atualmente. Poucos conseguem justificar os bilhões de dólares investidos na Física ou outras áreas da Ciência. Poucos sabem quais são as metas e os objetivos das Ciências nos dias de hoje. Neste contexto, o trabalho visa levar um pouco da Ciência produzida atualmente para os alunos do Colégio _____.

Espero que você enxergue a Física de Neutrinos como algo próximo da nossa realidade e que tenha mais envolvimento com a Ciência contemporânea. Não espero que você queira se tornar um cientista após o envolvimento com o tema, mas espero que você valorize os cientistas e entenda o papel fundamental da Ciência para a evolução humana!

METODOLOGIA PARA APRENDIZAGEM

Devido ao número reduzido de material sobre o tema, criei um site sobre NEUTRINOS, o qual será nosso referencial teórico. Endereço de acesso: <http://propg.ufabc.edu.br/mnpef-sites/neutrinos/>

Nossas aulas terão a SALA DE AULA INVERTIDA como metodologia de aprendizagem, assim o aluno sempre deve ler algumas páginas do site antes do encontro presencial.

Importante: Levar notebook (preferência) ou tablet para as aulas. Celulares podem ser utilizados, porém não terá a melhor experiência de navegação.

CRONOGRAMA

Data	____/____/____	____/____/____	____/____/____	____/____/____	____/____/____	____/____/____
Momento 1	X					
Momento 2		X				
Momento 3			X			
Momento 4				X		
Momento 5					X	
Momento 6						X

MOMENTO 1: ORIENTAÇÕES PARA A LEITURA DA SEÇÃO “O QUE É O NEUTRINO?”

1. Acesse o site <http://propg.ufabc.edu.br/mnpef-sites/neutrinos/> e entre na seção “SITUANDO OS NEUTRINOS” disponível no menu.

2. Tarefa mínima (Entregar para o professor na aula dia ____ / ____):

a) Leia a página “O QUE É O NEUTRINO?”.

Esta página nos dá uma visão geral sobre nosso objeto de estudo, então algumas dúvidas não serão respondidas na primeira aula, mas ao longo das 4 aulas. Mas anote suas dúvidas e leve-as para aula.

b) Esta folha contendo as dúvidas deverá ser entregue ao professor no início da aula.

MOMENTO 2: ORIENTAÇÕES PARA A LEITURA DA SEÇÃO “SITUANDO OS NEUTRINOS”

1. Acesse o site <http://propg.ufabc.edu.br/mnpef-sites/neutrinos/> e entre na seção “SITUANDO OS NEUTRINOS” disponível no menu.

2. Tarefa mínima (Entregar para o professor na aula dia ____ / ____):

a) Leia a página “AS PARTÍCULAS ELEMENTARES”.

Anote suas dúvidas e leve-as para aula.

b) Leia a página “INTRODUÇÃO AO MODELO PADRÃO”

Anote suas dúvidas e leve-as para aula.

c) Esta folha contendo as dúvidas deverá ser entregue ao professor no início da aula.

3. Tarefa complementar (não obrigatório):

a) Leia a página “INTERAÇÕES DOS NEUTRINOS”.

Anote suas dúvidas, mas a discussão desta parte acontecerá na aula 4.

MOMENTO 3: ORIENTAÇÕES PARA A LEITURA DA SEÇÃO “PROPRIEDADES”

1. Acesse o site <http://propg.ufabc.edu.br/mnpef-sites/neutrinos/> e entre na seção “propriedades” disponível no menu. (Acesso direto: <http://propg.ufabc.edu.br/mnpef-sites/neutrinos/index.php/propriedades/>)

2. Tarefa mínima (**Entregar para o professor na aula** ___ / ___):

a) Leia a página “SABORES” e responda:

O neutrino possui sabor, o que significa isso? Quais são os sabores do neutrino?

b) Leia a página “MASSAS” e responda:

Os neutrinos possuem massas bem definidas?

Explique sucintamente como a massa de cada sabor de neutrino é constituída.

c) Leia a página “OSCILAÇÃO DE SABOR” e responda:

O que significa oscilação de neutrinos?

Tente entender o mecanismo para um neutrino oscilar de sabor.

d) Este estudo dirigido deverá ser entregue ao professor no início da aula.

3. Tarefa complementar (**não obrigatório**):

a) Leia a página “NÚMERO LEPTÔNICO” e responda:

Qual é o número leptônico dos neutrinos? E dos antineutrinos?

Observe que este número distingue um neutrino de seu antineutrino.

b) Leia a página “QUIRALIDADE” e responda:

Quais são os tipos de quiralidade que uma partícula pode ter?

Qual é a quiralidade do neutrino? E do antineutrino?

Qual é a importância dessa propriedade?

MOMENTO 4: ORIENTAÇÕES PARA LEITURA DA SEÇÃO “FONTES DE NEUTRINOS”

1. Acesse o site <http://propg.ufabc.edu.br/mnpef-sites/neutrinos/> e entre na seção “FONTES” disponível no menu. (Acesso direto: <http://propg.ufabc.edu.br/mnpef-sites/neutrinos/index.php/fontes/>)

2. Tarefa mínima (Entregar para o professor na aula ____ / ____):

- a) Cada aluno irá ler a FONTE determinada na aula anterior.
- b) Cada aluno irá elaborar um resumo da fonte estudada (ênfase em como ocorre a produção e sua importância). Também deve escrever suas dúvidas nesta mesma folha. **Obs:** Não exceder 1 folha.
- c) Este resumo deverá ser entregue ao professor no início da aula.

3. Tarefa complementar (não obrigatório):

- a) Ler os outros 8 tipos de fontes contidas no site.

MOMENTO 5: ORIENTAÇÕES PARA LEITURA DAS SEÇÕES “DETECTORES” E “EXPERIMENTOS”

1. Acesse o site <http://propg.ufabc.edu.br/mnpef-sites/neutrinos/> e entre na seções “detectores” e “experimentos” disponíveis no menu. (Acessos diretos: <http://propg.ufabc.edu.br/mnpef-sites/neutrinos/index.php/detectores/> e <http://propg.ufabc.edu.br/mnpef-sites/neutrinos/index.php/experimentos/>)

2. Tarefa mínima (**Entregar para o professor na aula** /):

a) Leia a página “VISÃO GERAL” disponíveis na seção “DETECTORES” e responda:
Quais as 3 principais característica de um detector de neutrinos?

Como sabemos que um neutrino interagiu com o alvo? (Resposta em 1 linha)

b) Leia as páginas “DETECTORES CHERENKOV” e “DETECTORES CINTILADORES” disponíveis na seção “DETECTORES”

Tente entender os 2 processos de interação que envolve os neutrinos (Espalhamento e decaimento).

Anote suas dúvidas.

c) Leia as páginas “Super-Kamiokande”, “IceCube” e “DUNE” disponíveis na seção “EXPERIMENTOS” e entenda a grandeza desses laboratórios.

Anote suas dúvidas.

d) Esta folha contendo as perguntas e respostas, dúvidas e anotações relevantes deverá ser entregue ao professor no início da aula. **Obs.:** Não exceder 1 folha.

3. Tarefa complementar (**não obrigatório**):

a) Os neutrinos podem sofrer 2 tipos de interações com o alvo do detector, espalhamento ou decaimentos. Acesse o link a seguir e entenda a diferença entre esses processos de interação.

<http://propg.ufabc.edu.br/mnpef-sites/neutrinos/index.php/situando/interacoes-neutrinos/>

MOMENTO 6: ORIENTAÇÕES PARA AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM E DO SITE

1. Avaliação de aprendizagem: O professor irá aplicar uma prova sobre o conteúdo estudado.

2. Avaliação do site: Acesse o link a seguir para avaliar o site.

<https://forms.office.com/Pages/ResponsePage.aspx?id=DQSIkWdsW0yxEjajBLZtrQAAAAAA&AAAAAMAAu7OUNUQjIXUUFMR1o0WFcyTE41QU9JTzQ0TklwOC4u>

Responda de maneira sincera, essa pesquisa irá ajudar no desenvolvimento do site.

3. TESTES CONCEITUAIS QUE PODEM SER UTILIZADOS DURANTE AS AULAS OU AVALIAÇÕES

Modelo padrão e partículas da matéria

1. As partículas que formam a matéria e as partículas responsáveis pelas interações fundamentais são chamadas de:

Quarks e Glúons
Férmions e Bósons
Antipartículas e Fótons

2. As partículas que constituem a matéria (=Férmions) são divididas em:

Léptons e Bósons
Quarks e Léptons
Prótons e Nêutrons

3. O neutrino pertence ao grupo dos:

Bósons
Quarks
Léptons

Modelo padrão e partículas de interação

4. As 3 interações fundamentais descritas pelo modelo padrão são:

Gravitacional, Eletromagnética e Forte
Gravitacional, Eletromagnética e Fraca
Fraca, Eletromagnética e Forte

5. As partículas de matéria (=Léptons e Quarks) interagem trocando:

Férmions (=Up, Múon e Tau)
Bósons (=Fótons, Glúons e Bósons W e Z)
Antipartículas (=Pósitron, Antipróton e Antinêutron)

6. As partículas trocadas durante a interação forte são os:

Fótons
Glúons
Bósons W e Z

7. As partículas trocadas durante a interação fraca são os:

Fótons
Glúons
Bósons W e Z

8. As partículas trocadas durante a interação eletromagnética são os:

Fótons
Glúons
Bósons W e Z

9. A interação de menor alcance é a:

Fraca
Eletromagnética
Forte

10. O neutrino experimenta a interação:

- Fraca
- Eletromagnética
- Forte

Propriedades dos neutrinos

11. Quais são os sabores de neutrinos encontrados na natureza?

Neutrino do Up, Neutrino do Down e Neutrino do Top.

Neutrino Vermelho, Neutrino Azul e Neutrino Verde.

Neutrino do Elétron, Neutrino do Múon e Neutrino do Tau.

12. Qual é a carga elétrica do neutrino?

- Positiva
- Negativa
- Nula.

13. Podemos dizer que a massa do neutrino é:

- nula.
- quase nula.
- maior que a massa do elétron.

14. Podemos dizer que a oscilação do neutrino está relacionada com:

- a mudança de sabor.
- a mudança do spin.
- a mudança de carga elétrica.

15. Um neutrino do elétron pode ser representado por $\nu_e = A.\nu_1 + B.\nu_2 + C.\nu_3$. Alterando os valores de A, B e C:

o neutrino do elétron pode alterar seu sabor para neutrino do múon.

o neutrino do elétron pode alterar sua carga elétrica.

o neutrino do elétron pode alterar seu modo de interagir.

16. Em geral, uma partícula difere da sua antipartícula devido:

- a carga elétrica oposta.
- a massa oposta.
- ao spin oposto.

17. O que difere um neutrino do seu antineutrino?

- a carga elétrica.
- o spin.
- o número leptônico.

18. Em geral, as partículas elementares apresentam quiralidade:

- apenas mão direita. (=destros)
- apenas mão esquerda. (=canhotos)
- mão direita e mão esquerda.

19. Os neutrinos observados até hoje apresentam quiralidade de:

- mão direita. (=destros)
- mão esquerda. (=canhotos)
- mão direita e mão esquerda.

20. A quiralidade é importante para determinar que o neutrino só pode interagir via:

interação forte.

interação fraca.

interação eletromagnética.

Interage pouco da sua fonte até a Terra, trazendo informações não contaminadas.

É mais fácil de detectar que outros mensageiros como as ondas eletromagnéticas e as ondas gravitacionais.

Fontes de neutrinos

21. São fontes artificiais de neutrinos:

Aceleradores de partículas e reatores nucleares

Sol e Big Bang

Supernova e reatores nucleares

22. A maior quantidade de neutrinos que nos atravessa vem do:

Interior da Terra

Sol

Big Bang

23. Qual das fontes produz um neutrino com maior energia?

Aceleradores de partículas

Fontes cósmicas (exemplo buraco negro)

Uma banana

24. O neutrino é um bom mensageiro para observações astronômicas pois:

Interage muito da sua fonte até a Terra, trazendo maior quantidade de informações.

Detectores de neutrinos

25. Um detector deve ser enterrado em grandes profundidades, pois a camada de Terra:

Evita odores desagradáveis.

Bloqueia outras partículas que poderiam contaminar as medições.

Aumenta a probabilidade de detectar neutrinos.

26. Um detector de neutrinos é cercado por milhares de sensores que captam:

Luz

Pressão

Temperatura

27. Um detector de neutrinos possui um imenso alvo com toneladas de água, pois:

Evita odores desagradáveis.

Aumentar a probabilidade de detectar neutrinos.

Bloqueia outras partículas que poderiam contaminar as medições.

28. Por enquanto, os detectores de neutrinos maiores e mais famosos são:

IceCube (Antártida) e Borexino (Itália)

Super-Kamiokande (Japão) e IceCube (Antártida)

SNO (Canadá) e Borexino (Itália)

29. O maior e mais moderno detector de neutrino está sendo construído nos EUA e terá participação brasileira. Qual é o nome desse detector?

JUNO

DUNE

Hyper-Kamiokande

30. A física de neutrinos se enquadra como:

Física Clássica (Consolidada antes do século XX)

Física Moderna (Consolidada durante o século XX)

Física contemporânea (Em desenvolvimento nos dias de hoje)

31. O investimento em ciência visa, primeiramente,

A produção de tecnologia.

A produção de conhecimento.


O retorno financeiro.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] F. L. A. Pena. Por que, nós professores de Física do Ensino Médio, devemos inserir tópicos e ideias de física moderna e contemporânea na sala de aula? Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 28, n. 1, p. 1 - 2, 2006.
- [2] M. A. Moreira. Uma análise crítica do ensino de Física. Estudos Avançados, v.32, no94, p. 73-80, 2018.
- [3] F. Ostermann e C. J. H. Cavalcanti. Teorias de Aprendizagem. Porto Alegre: Evangraf UFRGS, p. 34-36, 2011.
- [4] A. Pelizzari et al. Teoria da Aprendizagem Significativa segundo Ausubel. Revista PEC, Curitiba, v.2, n.1, p.37-42, jul. 2001-jul. 2002. Disponível em: portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/materiais/0000012381.pdf. Acesso em: 20 out. 2019.
- [5] M. A. Moreira. O que é afinal aprendizagem significativa? Disponível em: moreira.if.ufrgs.br/oqueeafinal.pdf. Acesso em: 30 set. 2019.
- [6] J. S. Bruner. The Process of Education. Cambridge: Harvard University Press, 1960.
- [7] M. A. Moreira. Teorias de Aprendizagem. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária. 1999.
- [8] J. A. Valente. Blended learning e as mudanças no ensino superior: a proposta da sala de aula invertida. Educar em Revista, Curitiba, n. 4, Edição Especial, p. 79-97, 2014.
- [9] L. Bacich e J. Moran. Aprender e ensinar com foco na educação híbrida. Revista Pátio, no 25, p. 45-47, jun.2015
- [10] T. E. Oliveira, I. S. Araujo e E. A. Veit. Sala de aula invertida (flipped clasroom): Inovando as aulas de física. Física na escola. v. 14, n. 2, 2016.
- [11] COMITÊ GESTOR DA INTERNET NO BRASIL. TIC educação pesquisa sobre o uso das tecnologias de informação e comunicação nas escolas brasileiras 2017. São Paulo, 2018. Disponível em: https://cetic.br/media/docs/publicacoes/2/tic_edu_2017_livro_eletronico.pdf. Acesso em: 20 out. 2019.

Apêndice B

Questionário de avaliação do site



Questionário de avaliação do site (Neutrinos)

* Obrigatória

Caracterização do aluno

Responda de forma sincera, assim você ajudará no desenvolvimento do site. Obrigado!

1. Nome: *

2. Número: *

3. Qual é a sua turma? *

3ª série A

3ª série C

3ª série D

3ª série E

4. Gosta de estudar Física na Escola? *

Sim

Não

5. Possui interesse em Física fora do ambiente escolar? *

Sim

Não

6. Considera a Física como uma Ciência importante? *

Sim

Não

7. Qual é a sua principal área de interesse no estudo? *

Exatas

Humanas

Biológicas

Artes

Linguagem

Outras

8. Qual curso de graduação você pretende cursar? *

Insira sua resposta

9. Antes de visitar o site, você já ouviu falar sobre física de partículas ou neutrinos? *

- Sim
- Não

10. Após visitar o site, o meu interesse por temas relacionados à física: *

- aumentou muito.
- aumentou pouco.
- permanece o mesmo.
- diminuiu pouco.
- diminuiu muito.

11. Após visitar o site, eu vejo a Física como uma ciência: *

- mais importante do que acreditava.
- da mesma maneira que acreditava.
- menos importante do que acreditava.

12. Após a leitura do site, você considera que seu conhecimento prévio era suficiente para entender: *

- a maioria das informações do site.
- algumas informações do site.
- poucas informações do site.

13. Qual o seu nível de satisfação em relação ao conhecimento obtido através do site? *

- Muito satisfeito
- Satisfeito
- Nem satisfeito nem insatisfeito
- Insatisfeito
- Muito insatisfeito

14. Você acessou o site: *

- Majoritariamente pelo computador
- Majoritariamente pelo tablet
- Majoritariamente pelo celular

15. A linguagem dos textos do site é: *

- Excelente
- Boa
- Regular
- Ruim
- Péssima

16. A aparência do site é: *

- Excelente
- Boa
- Regular
- Ruim
- Péssima

17. A estrutura e organização do site é: *

- Excelente
- Boa
- Regular
- Ruim
- Péssima

18. Os vídeos, imagens, simuladores e links externos utilizados como exemplos e/ou complemento foram: *

- Excelentes
- Bons
- Regulares
- Ruins
- Péssimos
- Não prestei atenção nesse tipo de material

19. Os vídeos, imagens, simuladores e links externos utilizados (em inglês) como exemplos e/ou complementos foram: *

- Excelentes
- Bons
- Regulares
- Ruins
- Péssimos
- Não visualizei conteúdos em outros idiomas.

20. Quais são os aspectos positivos do site? *

Escrever no mínimo 1 aspecto positivo

Insira sua resposta

21. Quais são os aspectos negativos do site? *

Escrever no mínimo 1 aspecto negativo

Insira sua resposta

22. Dê sugestões, críticas ou comentários gerais para implementarmos melhorias no site. *

Insira sua resposta

23. Avaliação geral: O site deve receber qual nota? *

Considere:

1 = pontuação mínima

5 = pontuação máxima

1 2 3 4 5

Referências Bibliográficas

- [1] F. L. A. Pena, *Por que, nós professores de Física do Ensino Médio, devemos inserir tópicos e ideias de física moderna e contemporânea na sala de aula?* Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 28, n. 1, p. 1 - 2, 2006.
- [2] M. A. Moreira, *Uma análise crítica do ensino de Física*. Estudos Avançados, v.32, nº94, p. 73-80, 2018.
- [3] J. S. Bruner, *The Process of Education*. Cambridge: Harvard University Press, 1960.
- [4] *Base Nacional Comum Curricular: Ensino Médio*. Brasília: MEC/Secretaria de Educação Básica, 2018.
- [5] A. R. Artuso e N. C. S Filho, *Física 3*. Brasília: Editora Edebe Brasil. 2015.
- [6] Ariskeber M. Santos, *Neutrinos: uma abordagem na Educação Básica utilizando história em quadrinhos*. 2018. Dissertação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) - Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2018. Disponível em: http://www1.fisica.org.br/mnpef/sites/default/files/dissertacao_ariskebler.pdf. Acesso em: 19 mai. 2019.
- [7] Grupo de Estudo de Física e Astrofísica de Neutrinos (GEFAN) do Instituto de Física “Gleb Wataghin”. Disponível em: <https://portal.ifi.unicamp.br/a-instituicao/departamentos/drcc-departamento-de-raios-cosmicos-e-cronologia/grupo-de-estudo-de-fisica-e-astrofisica-de-neutrinos-gefan>. Acesso em: 20 mai. 2019.
- [8] Fermi National Accelerator Laboratory, *All Things Neutrinos*. Disponível em: <https://neutrinos.fnal.gov/>. Acesso em: 9 set. 2019.
- [9] Symmetry Magazine, *Neutrinos* Disponível em: <https://www.symmetrymagazine.org/archive?topic=3366>. Acesso em: 15 set. 2019.
- [10] F. Ostermann e C. J. H. Cavalcanti, *Teorias de Aprendizagem*. Porto Alegre: Evangraf UFRGS, p. 34-36, 2011.

- [11] D. P. Ausubel, *Education psychology: a cognitive view*. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1968.
- [12] A. Pelizzari *et al.*, *Teoria da Aprendizagem Significativa segundo Ausubel*. Revista PEC, Curitiba, v.2, n.1, p.37-42, jul. 2001-jul. 2002. Disponível em: portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/materiais/0000012381.pdf. Acesso em: 20 out. 2019.
- [13] M. A. Moreira, *O que é afinal aprendizagem significativa?* 2010. Disponível em: moreira.if.ufrgs.br/oqueeafinal.pdf. Acesso em: 30 set. 2019.
- [14] M. A. Moreira, *Teorias de Aprendizagem*. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária. 1999.
- [15] J. A. Valente, *Blended learning e as mudanças no ensino superior: a proposta da sala de aula invertida*. Educar em Revista, Curitiba, n. 4, Edição Especial, p. 79-97, 2014.
- [16] L. Bacich e J. Moran, *Aprender e ensinar com foco na educação híbrida*. Revista Pátio, nº 25, p. 45-47, jun.2015
- [17] J. Bergmann e A. Sams, *Sala de Aula Invertida – Uma Metodologia Ativa de Aprendizagem*. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- [18] T. E. Oliveira, I. S. Araujo e E. A. Veit, *Sala de aula invertida (flipped classroom): Inovando as aulas de física*. Física na escola. v. 14, n. 2, 2016.
- [19] E. Mazur, *Peer Instruction: A Revolução da Aprendizagem Ativa*. Porto Alegre: Penso, 2015.
- [20] Plickers. <https://get.plickers.com/>. Acesso em janeiro de 2020.
- [21] D. J. Griffiths, *Introduction to Elementary Particles*. 2 Edição. Wiley-VCH, 2008.
- [22] M. C. B. Abdalla, *Sobre o Discreto Charme das Partículas Elementares*. Física na Escola, vol. 6, n. 1, 38-44, 2005.
- [23] G. A. Valdivieso e M. M. Guzzo, *Compreendendo a oscilação dos neutrinos*. Revista Brasileira de Ensino de Física. São Paulo, vol. 27, n. 4, p.495-506, dez. 2005.
- [24] Fermi National Accelerator Laboratory. *Deep Underground Neutrino Experiment (DUNE)*. Disponível em: <https://www.dunescience.org/>. Acesso em: 5 mai. 2019.
- [25] G. V. Stenico, *Cálculo da produção de neutrinos atmosféricos*. 2015. Dissertação de Mestrado - UNICAMP, Campinas, 2015.

- [26] Kamioka Observatory. *Super-Kamiokande*. Disponível em: <http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/sk/index-e.html>. Acesso em: 10 mai. 2019.
- [27] J. C. Anjos *et al.*, *Detector de Antineutrinos para Monitorar a Composição do Combustível e Potência Térmica de Reatores Nucleares*. CBPF, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: http://www.cbpf.br/~hlima/files/angra/Neutrinos_Angra.pdf. Acesso em: 20 set. 2019.
- [28] F. Ardellier *et al.*, Colaboração Double Chooz, *Double Chooz: A Search for the Neutrino Mixing Angle θ_{13}* . e-Print: hep-ex/0606025 [hep-ex]. Disponível em <https://arxiv.org/pdf/hep-ex/0606025.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2020.
- [29] SuperNova Early Warning System. *SNEWS*. Disponível em: <https://snews.bnl.gov/whatissnews.html>. Acesso em: 20 jul. 2019.
- [30] L. Ludhova e S. Zavatarelli, *Studying the Earth with Geoneutrinos*. Advances in High Energy Physics. 2013.
- [31] University of Wisconsin-Madison. *ICECUBE*. Disponível em: <https://icecube.wisc.edu/>. Acesso em: 19 jul. 2019.
- [32] KamLAND. *KamLAND Detector*. Disponível em: <https://www.awa.tohoku.ac.jp/kamlande/>. Acesso em: 16 out. 2019.
- [33] Queen's University. *The SNO+ Experiment*. Disponível em: <https://www.queensu.ca/snoplus/snoplus>. Acesso em: 16 out. 2019.
- [34] Laboratori Nazionali Del Gran Sasso. *Deep Underground Neutrino Experiment (DUNE)*. Disponível em: <https://www.lngs.infn.it/en/borexino>. Acesso em: 16 out. 2019.
- [35] M. A. Moreira, *O Modelo Padrão da Física de Partículas*. Revista Brasileira de Ensino de Física. São Paulo, vol. 31, n. 1, abr. 2009.
- [36] M. J. G. Veltmann, *Facts and Mysteries in Elementary Particle Physics*. World Scientific, 2003.
- [37] *PhET Interactive Simulations*, https://phet.colorado.edu/pt_BR/. Acesso em julho de 2019.
- [38] Comitê Gestor da Internet no Brasil, *TIC educação pesquisa sobre o uso das tecnologias de informação e comunicação nas escolas brasileiras 2017*. São Paulo, 2018. Disponível em: https://cetic.br/media/docs/publicacoes/2/tic_educ_2017_livro_eletronico.pdf. Acesso em: 20 out. 2019.