

Ricardo Luís De Ré

Física de partículas na escola: um jogo educacional

Dissertação de mestrado submetida ao Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Sociedade Brasileira de Física, no polo da Universidade Federal de Santa Catarina, parte do requisito para a obtenção do grau de mestre em ensino de física.

Orientador: Prof. Dr. Nelson Canzian da Silva

Florianópolis
2016

Ficha de identificação elaborada pelo autor através do
programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFSC

Ré, Luís Ricardo De Ré

Física de partículas na escola : um jogo educacional /
Ricardo Luís de Ré Ré ; orientador, Prof. Dr. Nelson
Canzian da Silva Silva - Florianópolis, SC, 2016.
181 p.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade
Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e
Matemáticas. Programa de Pós-Graduação em Física.


Inclui referências.

1. Física. 2. Ensino de física. 3. Jogo educacional. 4.
Física de partículas elementares. I. Silva, Nelson Canzian
da Silva. II. Universidade Federal de Santa Catarina.
Programa de Pós-Graduação em Física. III. Título.

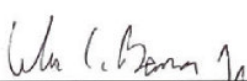
Física de Partículas na Escola: Um Jogo Educacional

Ricardo Luís De Ré

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de **MESTRE EM ENSINO DE FÍSICA**, aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, nível Mestrado Profissional.



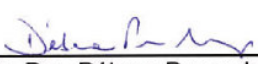
Prof. Dr. Nelson Canzian da Silva
(UFSC - orientador)




Prof. Dr. Celso de Camargo Barros Jr.
(UFSC/FSC - Coordenador do Programa)




Prof. Dr. Nelson Canzian da Silva
(UFSC - presidente)



Profa. Dra. Débora Peres de Menezes
(membro titular) - UFSC/FSC



Profa. Dra. Tatiana da Silva
(membro titular) - UFSC/FSC



Prof. Dr. Henrique César da Silva
(membro externo) - MEN/CED-UFSC

Este trabalho é dedicado a minha Mãe.

AGRADECIMENTOS

Ao povo brasileiro, por financiar e fomentar a pesquisa e formação de professores no ensino de física.

A todas instituições e pessoas envolvidas na realização do Programa Nacional Profissional em Ensino de Física, em especial a Sociedade Brasileira de Física, a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), ao Departamento de Física da UFSC e aos professores.

Ao orientador pelo exemplo, dedicação, confiança e apoio.

À banca examinadora pela atenção dedicada a este trabalho e aos apontamentos para melhoria e continuação deste projeto.

Aos meus colegas mestrandos pelo coleguismo, principalmente nos momentos difíceis.

Aos colaboradores da pesquisa, em especial as escolas que acolheram e disponibilizaram espaço para sua realização e aos alunos participantes.

Aos meus pais, por tudo.

Ao meu filho e minha companheira, pela compreensão nos momentos de ausência e pelo carinho incondicional.

A minha Nona querida e meus irmãos, por me motivarem a buscar ser uma pessoa melhor.

A Nice e ao Beto, por toda a amizade e companheirismo, em especial com meu filho, nos momentos em que estive ausente em virtude deste trabalho.

A meus amigos que de alguma forma contribuíram com a realização deste trabalho, em especial ao Jefferson, Clóvis, Eduardo, Edson, James, Tiago, Jussara e Paulo.

RESUMO

Esse trabalho refere-se à elaboração e desenvolvimento do jogo educacional "Física de partículas na escola". Trata-se de um jogo de tabuleiro com perguntas e respostas que têm como tema a física de partículas e o *Large Hadron Collider*.

O uso de jogos no ensino promove um ambiente motivador e agradável que contribui com os aspectos cognitivos e afetivos da aprendizagem. Todas as regras e elementos do jogo estão relacionados ao tema e buscam colaborar com a aprendizagem em física de partículas.

A presente pesquisa consistiu na análise da jogabilidade do jogo educacional e consequente aprimoramento, visando possibilitar seu uso em escolas de ensino médio na disciplina de física. Para tal, foi elaborada uma lista de heurísticas de jogabilidade, inspirada em métodos de desenvolvimento de jogos digitais, que nortearam a realização de alterações necessárias para aprimorar sua eficiência enquanto produto educacional. Foram realizadas duas partidas em escolas de ensino médio da rede pública estadual de ensino deste Estado. A partir da análise do registro das partidas foram realizadas alterações que culminaram no jogo educacional disponível no apêndice dessa dissertação.

ABSTRACT

This work is about the design and development of the educational game "Particle physics at school: and educational game". It is a board game based on questions and answers about particle physics and the Large Hadron Collider.

The use of games in education promotes a motivating and pleasant environment that contributes to the cognitive and affective aspects of learning. All the rules and game elements are related to the subject and aim to collaborate with learning in particle physics.

The research includes the analysis of the gameplay of the educational game, and eventual improvements for its full use in the context of a Physics course in high school. In order to do that, a list of gameplay heuristics was proposed, inspired in digital game development methods. These heuristics guided the realization of necessary changes to improve its effectiveness as an educational product. There were two matches with high school classrooms. Recording and analysis of these matches ended up in modifications that resulted in the educational game available in the appendix of this dissertation.

LISTA DE FIGURAS

- 3.1 Imagem de Física de partículas na escola durante uma hipotética partida
- 3.2 Dados de quarks (esquerda) e dado de léptons (direita)
- 3.3 Imagem dos peões
- 3.4 Exemplos de cartas-pergunta
- 3.5 Cartas utilizadas para apresentar as respostas
- 3.6 Fichas de EVA
- 3.7 O blog Física de partículas na escola
- 3.8 Captura de tela em momentos distintos da viagem ao mundo do muito pequeno
- 3.9 Captura tela principal do site "A aventura das partículas"
- 3.10 Captura tela de quatro quadros da animação gráfica "O caminho dos prótons"
- 3.11 Captura de tela do vídeo da reportagem "CERN" do programa Matéria de Capa, da TV Cultura
- 3.12 Captura de tela do "Um passeio virtual pelos corredores do CERN"
- 3.13 Captura de tela do vídeo "Viagem ao CERN", da TV IFSC
- 3.14 Captura de tela principal do blog Professor Diogo
- 4.1 Imagem da partida realizada na EEB Professora Laura Lima
- 4.2 Imagem do tabuleiro após a partida na EEB Professora Laura Lima
- 4.3 Imagem durante partida realizada na EEB Simão José Hess
- 4.4 Imagem do tabuleiro ao final da partida realizada na EEB Simão José Hess

LISTA DE TABELAS E QUADROS

- 4.1. Resultados da partida na EEB Professora Laura Lima
- 4.2. Resultados da partida na EEB Simão José Hess

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ALICE	A Large Ion Collider Experiment (<i>um grande experimento colisor de íons</i>)
ATLAS	A Toroidal LHC Apparatus (<i>um equipamento toroidal para o LHC</i>)
CERN	Organização Européia para a Pesquisa Nuclear
CMS	Compact Muon Solenoid (<i>solenóide compacto para múons</i>)
EEB	Escola de Educação Básica
EM	Ensino Médio
FMC	Física Moderna e Contemporânea
GERED	Gerência Regional de Educação
IFSC	Instituto Federal de Santa Catarina
HTML	HyperText Markup Language (<i>linguagem de marcação de hipertexto</i>)
LINAC2	Linear Particle Accelerator (<i>acelerador linear de partículas</i>)
LHC	Large Hadron Collider (<i>grande colisor de hádrons</i>)
LHCb	Large Hadron Collider Beauty Experiment
MNPEF	Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
PS	Proton Synchrotron (<i>síncroton de prótons</i>)
PSB	Proton Synchrotron Booster (<i>pré-acelerador para o síncroton de prótons</i>)
SPS	Super Proton Synchrotron (<i>super síncroton de prótons</i>)
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
TDHA	Perturbação de hiperatividade e déficit de atenção
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (<i>Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura</i>)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Delimitação do tema	1
1.2. Objetivos	3
1.3. Justificativa	3
1.4. Estrutura da dissertação	3
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	5
2.1. O CERN, o LHC e o Modelo Padrão	5
2.2. O uso de jogos no ensino	9
2.3. Heurísticas para análise da jogabilidade	12
3. MATERIAIS E MÉTODOS	15
3.1. Elementos físicos do jogo	16
3.2. Material de apoio	23
3.3. Mídia de apoio	24
3.4. Conceito e jogabilidade	31
3.5. Testes	35
4. RESULTADOS	36
4.1. Partida na EEB Laura Lima	36
4.2. Partida na EEB Simão José Hess	41
4.3. Propostas de alterações adicionais	47
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
REFERÊNCIAS	50
APÊNDICES	56

APÊNDICES

A. Material de apoio	56
B. Cartas-pergunta	101
C. Respostas às cartas-pergunta	152
D. Decupagem das gravações de vídeo	153
E. Regras da 1a. partida	159
F. Regras da 2a. partida	162
G. Termo de consentimento livre e esclarecido para alunos maiores de 18 anos	165
H. Termo de consentimento livre e esclarecido para responsáveis por menores de 18 anos	168
I. Termo de assentimento para menores de 18 anos	171
J. Parecer consubstânciado do Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos	174
K. Autorização da GERED para realização da pesquisa	178
L. Autorizações das escolas para realização da pesquisa	179

1. INTRODUÇÃO

1.1. Delimitação do tema

A ciência é o fenômeno cultural que causa maior impacto na sociedade atual, contribuindo para severas e frequentes alterações no modo de vida da maioria dos indivíduos do mundo. O desenvolvimento da ciência está atrelado ao desenvolvimento das comunicações, da mobilidade, da produção de alimentos, da indústria armamentista e, de um modo geral, é fator preponderante sobre o fenômeno da globalização. Além de estar relacionada a alterações no cotidiano das pessoas, em diversos momentos a ciência mudou também suas percepções de mundo, muitas vezes contrariando preceitos religiosos que já estavam instituídos nos discursos das populações, outras, inserindo a ideia probabilística na interpretação da natureza. Neste contexto a aprendizagem em ciência é importante, pois permite uma interação mais consciente e autônoma do sujeito com o ambiente e sociedade em que vive (BLAINEY, 2008; RBEF, 2002).

Atualmente os principais avanços e perguntas da ciência estão relacionados à Física Moderna e Contemporânea (FMC), que surge no final do século XIX e início do século XX. Na época, as teorias físicas que compõem o conjunto de teorias que hoje chamamos de Física Clássica (Mecânica, Termodinâmica e Eletromagnetismo), permitiam fazer previsões satisfatórias para quase todos os fenômenos. Porém, existiam problemas na intersecção entre essas teorias que elas não eram capazes de explicar. Havia problemas relacionados à estrutura da matéria que só foram resolvidos com o surgimento dos novos campos de pesquisa – Física Quântica, Física Estatística e Física Relativística – que formam a base do que chamamos hoje de FMC (MENEZES, 2000; RBEF, 2002; RENN, 2005; MOREIRA, 2009).

Um dos focos da FMC é investigar o que é conhecido como *modelo padrão*. O modelo padrão é um conjunto de teorias que incorpora toda a nossa compreensão atual sobre partículas elementares e forças fundamentais,

alicerçada e estruturada em modelos matemáticos e evidências experimentais (MENEZES, 2000; RBEF, 2002; RENN, 2005; MOREIRA, 2009).

Pesquisas na área de Ensino de Física, bem como os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), apontam a necessidade da inclusão efetiva da FMC no currículo do Ensino Médio (EM), possibilitando à população em geral acesso a essa intrigante área do conhecimento relacionada aos principais desenvolvimentos tecnológicos da atualidade (MENEZES, 1996; MENEZES, 2000; RBEF, 2002).

O produto educacional "Física de partículas na escola" é um jogo de tabuleiro e tem a temática do *Large Hadron Collider* (LHC), que é a maior, mais cara e moderna máquina a disposição da ciência. Localizado a uma profundidade média de 100 m, sob a sede da Organização Européia para a Pesquisa Nuclear, o CERN, nas proximidades de Genebra, na Suíça, é o maior e mais potente acelerador de partículas de uma cadeia de aceleradores subterrâneos.

Construído em um túnel de 27 km de circunferência, dispõe de dois dutos, onde feixes contendo muitos bilhões de partículas subatômicas percorrem trajetórias em sentidos contrários com velocidades próximas à velocidade da luz para colidirem frontalmente em pontos específicos onde são geradas novas partículas, ainda menores, que são detectadas por máquinas gigantescas que traduzem os sinais captados em informações computacionais. Estas informações são transmitidas a um centro de controle, distribuídas para cientistas ao redor do mundo e utilizadas para investigar as porções mais ínfimas da matéria em estados de energia similares a instantes de tempo menores que um milionésimo de segundo após o *Big Bang*. Alguns produtos e resultados das pesquisas realizadas no CERN já são utilizados pela população como alguns tratamentos médicos, ao exemplo da radioterapia com feixes e íons de carbono, e o *World Wide Web*, que revolucionou a comunicação mundial na década de 1990 (MOREIRA, 2009; ROSSO, 2012; NÓBREGA e MACKEDANZ, 2013; CAILLIAU, 2014; CERN, 2016).

O "Física de partículas na escola" foi elaborado para ser utilizado por alunos do Ensino Médio, com o objetivo de contribuir para aprendizagem em Física, atuando como facilitador da aprendizagem, estimulando o aspecto lúdico associado ao desenvolvimento cognitivo e emocional das crianças e adolescentes (MENEZES, 2000; ALVES e BIANCHIN, 2010). Em uma partida, estudantes divididos em equipes e utilizando pedões, percorrem as casas

do tabuleiro (que faz alusão ao LHC) respondendo a perguntas sobre aspectos científicos e sociais relacionados à temática do jogo.

1.2. Objetivos

Objetivo geral

Analisar e aprimorar a jogabilidade do "Física de partículas na escola" e apontar possibilidades de aprendizagens devido a sua utilização.

Objetivos específicos

- analisar a utilização das regras do jogo pelos alunos;
- analisar o tempo necessário para realização dos procedimentos do jogo;
- analisar a interação dos participantes com os elementos físicos do jogo;
- analisar a utilização, pelos estudantes, dos textos do jogo;
- apontar indicativos de aprendizagens em Física.

1.3. Justificativa

A análise da jogabilidade do jogo didático possibilita promover a melhoria do produto educacional para melhorar a qualidade da interação entre os participantes e entre os participantes e os elementos do jogo e assim facilitar o seu uso por alunos e professores interessados no tema, possibilitando aprendizagens em física de partículas.

1.4. Estrutura da dissertação

Além dessa introdução, a dissertação contém mais quatro capítulos e

diversos apêndices.

O capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica, destacando a possibilidade do ensino através de jogos, o conceito de jogabilidade e os critérios heurísticos para avaliação da jogabilidade. Contém textos sobre os principais conteúdos que o jogo aborda: o CERN, o LHC e o Modelo Padrão.

O capítulo 3 apresenta os materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento e confecção do produto educacional "Física de partículas na escola", que consistiram no desenvolvimento e confecção do jogo e a pesquisa feita para aprimorá-lo. Descreve os métodos e ferramentas para levantamento de dados e sua análise com base na análise heurística de critérios de jogabilidade, a coleta de dados e todos aspectos práticos da pesquisa.

O capítulo 4 apresenta os resultados e discussões e eventuais alterações feitas no jogo.

O capítulo 5 apresenta as considerações finais, que consistem em um panorama geral do trabalho realizado e seus principais resultados, apontando possibilidades e instruindo para sua utilização em escolas e possibilidades de aprimoramento e continuidade deste projeto.

Nos apêndices encontram-se os elementos do produto educacional propriamente dito (tabuleiros, dados, cartas, regras e extenso material de apoio ao professor e aos alunos), a transcrição das gravações feitas durante os dois testes em escolas e a documentação associada às questões éticas e legais do trabalho.

O material desenvolvido contém diversas imagens obtidas da internet, todas devidamente citadas. Entretanto, ainda não foram solicitadas autorizações de uso aos detentores dos direitos autorais. Isso será providenciado para a disponibilização e circulação do material como produto educacional.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. O CERN, o LHC e o Modelo Padrão

A Europa, berço e protagonista da ciência moderna, ao final da segunda guerra mundial já não desempenhava papel de destaque no cenário científico mundial. O continente vivia uma crise pós-guerra e muitos dos seus principais cientistas haviam evadido. Sob o "eco" das bombas atômicas de Hiroshima e Nagasaki, os Estados Unidos e a Rússia disputavam a hegemonia científica. Neste contexto, alguns poucos e visionários cientistas idealizaram a criação de um laboratório europeu de física atômica. Entre estes cientistas estavam os físicos Edoardo Amaldi, da Itália, Pierre Auger, Raoul Dautry e Lew Kowarski da França, e Niels Bohr da Dinamarca (ROSENFELD, 2013).

Em dezembro 1949, durante a Conferência do Centro Cultural Europeu em Lausanne, na Suíça, o físico francês Louis De Broglie, ganhador do prêmio Nobel de 1929, apresentou a primeira proposta oficial para a criação de uma instituição internacional de pesquisa em física nuclear, uma instituição que iria concentrar esforços e permitir a realização de pesquisas que nenhum país seria capaz de fazer sozinho. Este movimento ganhou força e durante a Conferência Geral da UNESCO em Florença em junho de 1950, após conversas com o Amaldi e Auger, o então diretor de ciências exatas e naturais da UNESCO, o físico americano e Prêmio Nobel Isidor Isaac Rabi, apresentou uma resolução autorizando a UNESCO a:

- a. encorajar a formação de centros regionais de pesquisa e de laboratórios com o propósito de aumentar e tornar mais frutífera a colaboração internacional de cientistas na busca de novos conhecimentos em áreas nas quais o esforço de um único país seja insuficiente para cumprir a tarefa;
- b. explorar as necessidades e a possibilidade de tais centros regionais, fazer estimativas iniciais de custos e de localização e ajudar na formulação de programas sem que haja contribuição do orçamento regular da UNESCO em custos de construção e manutenção.

Em seu discurso na conferência, o físico americano também enfatizou que o primeiro destes centros seria na Europa Ocidental e deveria se ocupar de pesquisa em física nuclear.

A relevância da realização de pesquisas em física de alta energia, o caráter pacífico e colaborativo dado ao projeto e a UNESCO como agente catalisador favoreceu a consolidação da ideia. Em 1952 foi criado, em caráter provisório, um novo organismo intergovernamental, o *European Council for Nuclear Research* ou *Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire* (Conselho Europeu para a Pesquisa Nuclear). Nascia o CERN (ROSENFELD, 2013).

Concorrendo com Copenhague (Dinamarca), Longjumeau (França) e Arnhem (Holanda) a cidade de Genebra na Suíça foi escolhida como sede. A neutralidade do país, a sua localização estratégica e a boa infraestrutura influenciaram na escolha. Foi necessária uma campanha de esclarecimento para a população e uma convocação de plebiscito. Em junho de 1953 a construção do laboratório foi aprovada por 17239 votos a favor e 7332 contra. Havia uma oposição à construção do laboratório pela população de Genebra: há pouco havia acabado a Segunda Guerra Mundial e as pesquisas em física nuclear tinham conotação negativa (ROSENFELD, 2013).

Em primeiro de julho de 1953, em Paris, doze países assinaram a convenção que estabeleceu a organização: Bélgica, Dinamarca, França, República Federal da Alemanha, Grécia, Itália, Países Baixos, Noruega, Suécia, Suíça, Reino Unido e Iugoslávia. Aos 29 de setembro de 1954 os doze países ratificaram a convenção, o conselho provisório foi dissolvido e surgiu oficialmente a *European Organization for Nuclear Research*, mas o acrônimo CERN foi mantido.

Atualmente, há vinte estados membros que financiam o CERN: Alemanha, Áustria, Bélgica, Bulgária, Dinamarca, Espanha, Finlândia, França, Grécia, Holanda, Hungria, Itália, Noruega, Polônia, Portugal, Reino Unido, República Checa, República Eslovaca, Suécia e Suíça. Há também oito organizações internacionais e países que possuem o estatuto de observador no conselho do CERN: Estados Unidos, Índia, Israel, Japão, Rússia, Turquia, UNESCO e União Européia. Aproximadamente 2200 funcionários de várias nacionalidades trabalham em tempo integral no CERN, que conta com mais de 8000 cientistas e engenheiros colaboradores em todo o mundo

(ROSENFELD, 2013).

O Brasil e o CERN tem um acordo para cooperação internacional: mais de uma centena de pesquisadores brasileiros participam dos experimentos realizados no CERN. Estes pesquisadores estão vinculados a institutos e universidades brasileiras. Segundo aponta Duarte, 2008:

As atividades dos pesquisadores brasileiros nessa Organização têm sido muito importantes para o desenvolvimento científico nacional, principalmente na área de FAE [física de altas energias], por conferir acesso a pesquisas na fronteira do conhecimento realizadas naquele Centro. Um exemplo da importância desta cooperação está na participação da indústria brasileira para a confecção de circuitos eletrônicos que compõem um experimento do CERN, com colaboração direta de cientistas brasileiros desde a sua construção, num exemplo de transferência de tecnologia direta do CERN para o Brasil por meio dos cientistas.

Há também parcerias na área educacional, como a Escola de Física do CERN em Língua Portuguesa, onde dezenas de professores da educação básica visitam a sede do CERN, localizada na região noroeste de Genebra, e participam de palestras e têm a oportunidade de conhecer um pouco as instalações onde se localizam os principais aceleradores e detectores de partículas, centros de controle e escritórios da organização.

Um complexo de aceleradores e detectores de partículas viabilizam os principais experimentos do CERN. Basicamente estes experimentos consistem em acelerar partículas subatômicas e as fazerem colidir em locais determinados, onde se localizam os detectores. Estas interações se transformam em dados que são enviados aos centros de controle do CERN. As informações são processadas, selecionadas e compartilhadas com cientistas do mundo todo, com o objetivo de aprimorar os conceitos e modelos matemáticos relacionados à estrutura da matéria e suas interações (mais informações no apêndice A).

Os principais experimentos ocorrem durante o funcionamento do *Large Hadron Collider* (LHC) Grande Colisor de Hádrons). Um deles começa em uma garrafinha de hidrogênio, de onde são extraídos prótons que são injetados em um sistema de aceleradores sucessivos que lhes fornecem energias até que cheguem no LHC. A sequência da trajetória que os prótons percorrem também é uma sequência histórica de construção destes aceleradores. Com exceção de um deles (o PS Booster), sempre o acelerador mais antigo alimenta

o mais novo. São cinco estágios de aceleração, que levam a energias (por núcleon) cada vez mais elevadas: Linac2 (50 MeV); PSBooster (1,4 GeV); PS (25 GeV); SPS (450 GeV) e LHC (7 TeV). Cavidades de radiofrequência são utilizadas para fazer os feixes de prótons ganharem energia e ímãs de material supercondutor são utilizados para controlar a direção e tamanho dos feixes durante suas trajetórias. Também são realizados experimentos com outras partículas, como íons de chumbo (mais informações no apêndice A).

O LHC fica localizado no subsolo entre a França e a Suíça, com profundidade média de 100 m. É o maior experimento científico da humanidade considerados o número de pessoas que trabalham, número de estados e instituições participantes, tamanho físico e montante financeiro empregado na sua construção. O acelerador fica em túnel circular com aproximadamente 27 km de circunferência. Dentro do acelerador, feixes contendo mais de 3×10^{14} prótons percorrem trajetórias quase circulares dentro de dois dutos contidos em uma estrutura. Quando atingem as velocidades e energia esperadas, são provocadas colisões frontais (um grupo de partículas contidas em duto percorre sentido horário e o no outro duto, sentido anti-horário). As colisões ocorrem em quatro pontos específicos, onde se localizam os detectores ATLAS, Alice, CMS e LHCb. (mais informações no apêndice A).

A ciência que o LHC investiga está relacionada ao Modelo Padrão, a compreensão atual sobre partículas elementares e forças fundamentais. Esta teoria é alicerçada em modelos matemáticos e computacionais e preconiza que o universo é constituído por partículas elementares (quarks e léptons) que interagem através de partículas mediadoras de quatro forças: nuclear forte, nuclear fraca, eletromagnética e gravitacional. Estão relacionadas a eventos como o surgimento do Universo e a questões sobre a constituição da matéria(mais informações no apêndice A).

Este tipo de pesquisa com aceleradores de partícula trouxe importantes contribuições pra a sociedade, conforme afirma Carlos Aragão (VENÂNCIO, 2014):

Além de importantes descobertas científicas, tais como a recente descoberta do bóson de Higgs no grande colisor de hádrons (LHC, sigla em inglês para Large Hadron Collider) e a resolução de estruturas atômicas e moleculares, de cristais, amorfos, géis, proteínas e enzimas em síncrotron, os aceleradores permitem o desenvolvimento das mais variadas tecnologias: biotecnologia, nanotecnologia, computação e imagens, com importantes consequências para o avanço nas áreas

de materiais, energia, medicina, entre outras

Eduardo Gregores (VENÂNCIO, 2014), professor da Universidade Federal do ABC, aponta que

a busca pelo conhecimento é o motor de todo o desenvolvimento tecnológico. Neste contexto, podemos explorar projetos criados dentro do CERN que, inicialmente, não foram pensados para utilização fora do centro de pesquisa, mas acabaram se expandindo e trazendo grandes benefícios para a sociedade.

Um exemplo emblemático é a *world wide web* (WWW), que surgiu em 1990 devido à necessidade de compartilhamento de informações e documentos entre os pesquisadores do centro. Naquele ano o físico de partículas Tim Berners-Lee definiu os conceitos básicos e o primeiro navegador da WEB. A primeira página foi <http://info.cern.ch/hypertext/WWW/TheProject.html>.

2.2. O uso de jogos no ensino

As atividades lúdicas fazem parte das atividades intelectuais das crianças e adolescentes. Negar estas oportunidades na escola tornam o ensino enfadonho e a aprendizagem com pouco significado, tornando os processos de ensino e aprendizagem desmotivantes. O jogo é uma atividade lúdica, naturalmente motivadora e estimuladora das relações sociais. Aplicado adequadamente em escolas permite aos aprendizes explorar sua espontaneidade criativa, promovendo profundas modificações no organismo, sejam intelectuais ou físicas.

...é importante explicar que a palavra "jogo" se origina do vocábulo latino *ludus*, que significa diversão, brincadeira e que é tido como um recurso capaz de promover um ambiente planejado, motivador, agradável e enriquecido, possibilitando a aprendizagem de várias habilidades. Dessa maneira, alunos que apresentam dificuldades de aprendizagem podem aproveitar-se do jogo como recurso facilitador na compreensão dos diferentes conteúdos pedagógicos. (ALVES e BIANCHIN, 2010).

O uso de jogos no ensino atualmente é apontado como uma alternativa oposta à centralização de atividades escolares, que geralmente estimulam

apenas a leitura, a escrita e a resolução de exercícios, além da capacidade de sentar, ouvir e fazer silêncio.

Neste contexto, o jogo é reconhecido por educadores como um veículo que contribui para o desenvolvimento social, intelectual e emocional dos alunos. Jogando o educando experimenta, inventa, explora, negocia e assim sua inteligência e sensibilidade estão sendo desenvolvidas. Segundo Tezani (2006), os jogos contribuem para dois aspectos fundamentais da aprendizagem: o cognitivo e o afetivo.

Sob a perspectiva cognitiva, o jogo cria uma situação de regras que proporcionam uma zona de desenvolvimento proximal do aluno. Para Tezani, no conceito de zona de desenvolvimento proximal de Vygotsky

...a criança, em cada momento de seu desenvolvimento, tem um nível de desenvolvimento real e um nível de desenvolvimento potencial. O primeiro representa a capacidade que a criança tem de realizar tarefas de forma independente. O nível de desenvolvimento potencial seria sua capacidade de desempenhar tarefas com ajuda de adultos ou de amigos mais capazes. A distância entre esses dois níveis é a zona de desenvolvimento proximal. Ao interferir na zona do desenvolvimento proximal, um educador estará contribuindo para movimentar os processos de desenvolvimento das funções mentais complexas da criança. Nesta zona, a interferência é mais transformadora.

O uso de jogos em atividades escolares proporciona um ambiente desafiador, capaz de estimular o intelecto, proporcionando um nível mais elevado de raciocínio. Grupos de crianças são sempre heterogêneos quanto aos conhecimentos adquiridos e assim uma criança também pode atuar como mediadora entre outra criança e as ações e significados relevantes em uma cultura. Em um jogo, além de interagir com os elementos e regras, que têm uma significação cultural, também há a intensa comunicação com os colegas: além do professor, alunos também contribuem com a aprendizagem de seus pares.

A afetividade, neste contexto, está relacionada à capacidade e disposição do ser humano ser afetado por fatores externos e internos, relacionados a sensações de agradável e desagradável. Quanto aos aspectos afetivos da aprendizagem, a vontade de aprender, o desejo de buscar e realizar a construção do conhecimento estão relacionadas ao prazer e, conseqüentemente, à intensidade com que o educando vai se dedicar a uma atividade.

A aprendizagem com jogos promove momentos de afetividade entre os alunos e o aprender, tornando a aprendizagem mais significativa e prazerosa. Segundo Tezani (2006):

O jogo representaria, então, a articulação entre o desejo, a afetividade, a inteligência e os processos de apropriação do conhecimento e o avançar das zonas de desenvolvimento.

Momentos de aprendizagem significativa que proporcionem processos de desenvolvimento ressaltariam o valor do sucesso escolar como algo verdadeiro e realmente importante para a criança. A relação entre educadores e alunos, então, deverá ser verdadeira e de trocas de experiências e opiniões, favorecendo um clima harmônico para a socialização do conhecimento.

Em suma, o objetivo da utilização de jogos no ensino é promover uma educação escolar integral e motivadora, que estimule aspectos afetivos e cognitivos associados à aprendizagem e permita um espaço agradável para o desenvolvimento pleno dos estudantes. Para tal, o educador que for aplicar este tipo de atividade deve ter clareza e consciência de todos os procedimentos envolvidos na sua realização.

A seguir, de maneira simplificada, estão elencados alguns dos diversos aspectos que motivam o uso de jogos na educação escolar (MAHONEY e ALMEIDA, 2005; TEZANI, 2006; ALVES e BIANCHIN, 2010; BARCELOS et al., 2011; COSTA, 2012; SILVA, 2012; FERREIRA e CARVALHO, 2014):

- Desenvolve o raciocínio e a capacidade de elaboração estratégias; jogos dão margem para criar hipóteses e soluções para os problemas colocados.
- Contribui para a educação escolar em seu aspecto social e de formação do cidadão: promovem o trabalho em equipe e a cooperação, estimulando a cooperação e a desportividade. Quando se mostram capazes de seguir regras, o relacionamento do educando com colegas e professores melhora.
- Estimula e contribui para aprendizagem dos conteúdos escolares. A existência de ambientes lúdicos coletivos em situações de aprendizagem escolar, como no caso de jogos, além de proporcionar motivação, permite maior facilidade em assimilar conceitos e linguagens

progressivamente mais abstratos.

- Atua de forma inclusiva, permitindo que alunos que pouco interagem em aulas tradicionais participem mais neste tipo de atividade, por estar fora da rotina comum da aula, por estimular a concentração, ou ainda pela significação social da atividade.
- Desenvolve a linguagem, fazendo com que os educandos interajam com os elementos do jogo, com os colegas e professor, que se comuniquem e interpretem regras, símbolos, tabelas, imagens, relações matemáticas e outros elementos contidos em jogos.

O conceito de jogabilidade

A jogabilidade (*gameplay*) é um conceito que tem origem nos jogos eletrônicos e está associada às experiências do jogador durante a partida, à natureza e ao grau das interações e como estas interações são feitas. Tem a função de descrever com que facilidade que o jogo é jogado, sua duração, a quantidade de vezes pode ser completado e outras características que possibilitem um bom desempenho dos jogadores, mantendo-os motivados a jogar. Por exemplo, se o jogo for muito fácil de ser jogado, logo perde a graça; se for muito difícil, deixa os jogadores desmotivados.

Segundo Barcelos et al (2012) apesar de não haver consenso sobre o conceito de jogabilidade, vários autores propuseram definições deste conceito. Existem critérios e regras que podem ser utilizados no *design* de bons jogos e o sucesso pedagógico da sua utilização no contexto escolar, tanto em caráter afetivo quanto cognitivo, também depende da sua jogabilidade.

2.3. Heurísticas para análise da jogabilidade

Em análises de situações em que não é possível se chegar a uma resposta definitiva para um problema, é possível utilizar heurísticas, que permitem encontrar não uma solução perfeita, mas uma boa solução para o problema.

Cordenonsi (2008 apud RICH e KNIGHT, 1993) aponta que

Para resolver eficientemente muitos problemas difíceis, geralmente é necessário comprometer as exigências de mobilidade e sistematicidade e construir uma estrutura de controle que não garanta encontrar a melhor resposta, mas que quase sempre encontre uma resposta muito boa. ... a heurística é uma técnica que melhora a eficiência de um processo de busca, possivelmente sacrificando pretensões de completeza.

Já Tonetto et al (2006 apud PLOUS, 2013) conceitua as heurísticas como regras gerais de influência utilizadas pelos sujeitos para chegar aos seus julgamentos em tarefas decisórias de incerteza e cita, como vantagens de utilização, a redução do tempo e dos esforços empreendidos para que sejam feitos julgamentos razoavelmente bons. As heurísticas reduzem a complexidade das tarefas de acessar probabilidades e prever valores a simples operações de julgamento. Geralmente, as heurísticas são úteis, mas, por vezes, podem levar a erros severos e sistemáticos.

Métodos baseados em heurísticas são utilizados no desenvolvimento de jogos digitais, que neste caso são elaboradas sobre a interação dos jogadores e os elementos do jogo com o intuito de melhorar sua jogabilidade. São uma espécie de conjunto de quesitos acerca das ações dos jogadores que supõe-se fundamentais para uma boa jogabilidade e que podem ser avaliados, possibilitando a melhoria do produto. Segundo Cupers Schmid e Hildebrand (2013) "a heurística pode ser entendida como um conjunto de regras e métodos que conduzem à descoberta, à resolução de problemas e ajudam a traçar diretrizes para a concepção deste tipo de produção". Como exemplo, algumas das dezoito heurísticas (H) utilizadas no trabalho "Análise comparativa de heurísticas para avaliação de jogos digitais" (BARCELOS et al., 2013):

H1: Os controles devem ser claros, customizáveis e fisicamente confortáveis; suas respectivas ações de resposta devem ser imediatas;

H5: O jogador deve encontrar um tutorial claro de treinamento e familiarização com o jogo;

H6: Todas as representações visuais devem ser de fácil compreensão pelo jogador;

H12: O objetivo principal do jogo deve ser apresentado ao jogador desde o início;

H15: O ritmo do jogo deve levar em consideração a fadiga e a manutenção dos níveis de atenção.

A avaliação do conceito de jogabilidade é bastante complexa, pois trata-se de ações humanas sobre objetos. Muitas vezes não é possível alcançar um resultado perfeito ou um melhor resultado (o que seria uma jogabilidade ideal?) ou demandaria muito esforço. Consideramos adequado desenvolver um método baseado em heurísticas de jogabilidade em jogos digitais para a presente pesquisa pois permite, no tempo e com os recursos disponíveis, promover alterações construtivas visando uma boa qualidade de interação entre os jogadores e dos jogadores com os elementos do "Física de partículas na escola".

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos deste trabalho consistiram no planejamento, desenvolvimento e confecção do jogo didático. Foram elaboradas e aplicadas estratégias para que, ao final, o jogo seja jogável com alunos do EM, promovendo possibilidades de aprendizagem em física de partículas.

O produto educacional "Física de partículas na escola" é um jogo de tabuleiro feito para ser utilizado na escola com a finalidade de contribuir para a aprendizagem em física de partículas, promovendo o desenvolvimento do vocabulário, a articulação de conceitos, e a percepção de aspectos sociais, políticos e econômicos da ciência. Foi concebido para ser utilizado como um jogo didático, no contexto da apresentação programada dos conteúdos, ou paradidático, como uma atividade de lazer entre amigos.

Consiste em: tabuleiro, dados, peões, cartas com perguntas, cartas com respostas, fichas de duas cores para pontuação, texto de apoio aos estudantes, texto de apoio aos professores e um *blog* que contém todas estas informações e a outros *sites* de referência.

No jogo os estudantes, organizados em quatro equipes de até três alunos, jogam dados e percorrem o tabuleiro utilizando peões. Para avançar devem responder a perguntas extraídas aleatoriamente de um maço de cartas. Recebem fichas representando "eventos" em caso de acerto e fichas representando "ruídos" em caso de erro. Caso o peão da equipe pare em alguma casa diferenciada os critérios de pontuação são alterados. Vence a equipe que tiver a melhor relação entre "eventos" e "ruídos".



Figura 3.1: Imagem de "Física de partículas na escola" durante uma hipotética partida.

Os textos contidos nas cartas com perguntas referem-se a conceitos de física, química e matemática básicas, à física e engenharia empregadas na construção do LHC e a questões sociais, econômicas, ambientais e históricas relacionadas a ele. O *design* dos elementos físicos e as regras do jogo fazem alusão a elementos do LHC e a conceitos de física de partículas.

3.1. Elementos físicos do jogo

Tabuleiro

O tabuleiro foi impresso em lona, com dimensões de 50 cm comprimento e 50 cm de largura. A trilha a ser percorrida tem formato circular e é dividida em duas vias nas quais os peões das equipes se movimentam. As vias fazem alusão aos dutos que ficam dentro dos túneis do LHC, por onde as partículas

se deslocam durante a realização dos experimentos.

As vias são divididas em casas e possuem algumas casas diferenciadas, que levam o nome de alguns dispositivos do LHC: ATLAS, LHCb, CMS, ALICE, injeção do feixe, limpeza do feixe e saída do feixe. A arte foi produzida em HTML/JavaScript/CSS e permite facilmente alterar o número de casas das vias para testar diferentes ritmos de jogo (ver apêndice B para detalhes).

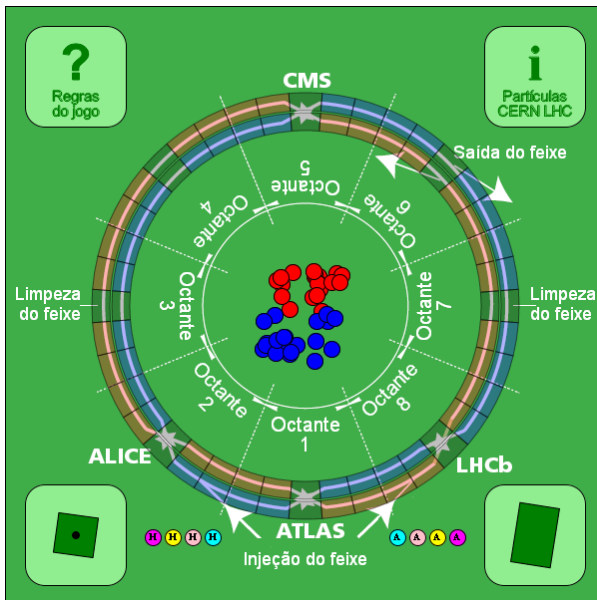


Figura 3.2: Imagem do tabuleiro com 40 divisões.

Dados

São três dados, impressos em papel cartão, recortados e montados. Dois dados são caracterizados pela família dos quarks e o terceiro é caracterizado pela família dos léptons. Um dos dados de quarks é colorido de azul porque vai sortear o número de casas que um peão da equipe vai avançar na raia azul; o outro dado de quarks é pintado de vermelho, porque vai sortear o número de casas que um peão da equipe vai avançar na raia vermelha. O dado dos lépton serve para sortear os integrantes das equipes, a ordem das jogadas e outros

impasses que possam surgir durante a realização das partidas. Os moldes para recorte e montagem dos dados estão disponíveis no apêndice C.



Figura 3.3: Dados com faces com informações sobre os quarks.



Figura 3.4: Dado com faces com informações sobre os léptons.

Existem seis tipos de quarks e seis tipos de léptons que podem ser diferenciados e ordenados pelo valor de suas massas de repouso. Assim, nos dois casos, existem seis possibilidades distintas, como em um dado normal. Para facilitar, é possível escrever em cada uma das faces dos dados o número correspondente às respectivas massas de repouso.

Peões

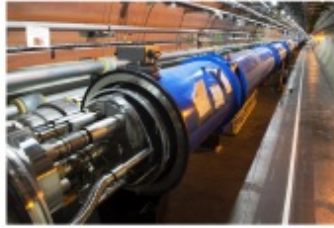
São oito peões de quatro cores diferentes (um par da mesma cor para cada equipe), que podem ser feitos com ímãs de geladeira, botões ou similares. Em cada par de peões está escrito V e A com pincel marcador permanente. Cada equipe tem um peão escrito V (de vermelho) e outro escrito A (de azul) que percorrerão as raias vermelha e azul do tabuleiro, respectivamente.



Figura 3.5: Imagem dos peões.

Cartas-pergunta

São 100 cartas-pergunta com questões objetivas de múltipla escolha, numeradas de 1 a 100 e impressas em papel cartão em tamanho de 14 cm × 18 cm. No jogo, os alunos utilizam estas cartas para ter acesso às perguntas que trazem textos, tabelas e imagens relacionadas ao tema. As perguntas estão disponíveis no Apêndice D.



O acelerador de partículas LHC é uma máquina de circunferência de 27 km. Fica localizado a uma profundidade média de 100 m, sob a fronteira entre a França e a Suíça. Um bom motivo para optar-se por construir a máquina em um túnel e não na superfície é que

- (a) a crosta da Terra proporciona uma boa blindagem para a radiação emitida durante o funcionamento do LHC.
- (b) evita a espionagem científica.
- (c) evita a interferência da luminosidade solar.

Figura 3.6: Exemplo de carta-pergunta.

Cartas-resposta

São 12 cartas-resposta impressas em papel cartão com tamanho de 6,0 cm \times 7,5 cm. Cada equipe recebe três cartas contendo as letras A, B e C , que serão utilizadas para indicar a resposta escolhida à carta-pergunta. O material está disponível nos apêndices.

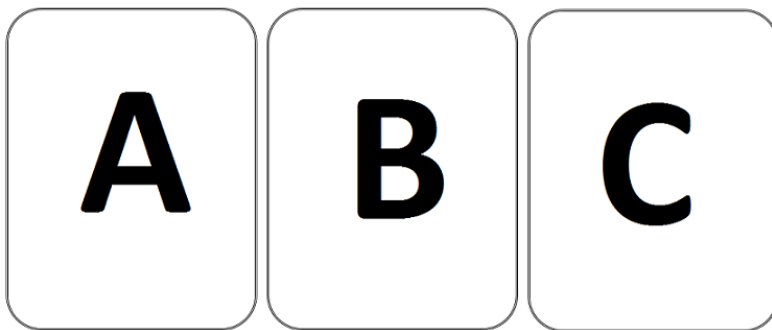


Figura 3.7: Cartas-resposta.

Ampulheta

A ampulheta é utilizada como instrumento de marcação de tempo, que deve marcar um tempo de aproximadamente um minuto. Qualquer outro dispositivo de marcação do tempo pode ser utilizado, mas a ampulheta é de fácil manuseio e pode ser visualizada coletivamente (diferentemente de um cronômetro de mão ou um *smartphone*, por exemplo).

Fichas azuis e vermelhas

As fichas, em grande quantidade, foram feitas em EVA utilizando um furador específico (encontrado em papelarias) para fazer as fichas com formato circular ou outro formato desejado.



Figura 3.8: Fichas de EVA representando "eventos" e "ruídos".

As fichas são utilizadas para marcar a pontuação das equipes no jogo. As fichas azuis representam "eventos", obtidos quando se acerta a resposta à pergunta, e as fichas vermelhas representam "ruídos", obtidos quando se erra a resposta à pergunta.. Vence a equipe que tiver o melhor relação entre eventos e ruídos.

3.2. Material de apoio

São materiais que servem para orientar os participantes do jogo. Há duas formas de veiculação destes materiais: na forma impressa e encadernada e na forma digital, disponível no *blog* "Física de partículas na escola: um jogo educacional".

Os textos presentes nos materiais impressos e digitais, e disponíveis no apêndice A, incluem:

Introdução

Objetiva convidar a participar e informar sobre o que trata o jogo

Elementos do jogo

Traz uma primeira ideia sobre os objetos que serão manipulados durante a partida. São mostrados para facilitar o entendimento das regras do jogo.

Regras do jogo

Informa as regras e procedimentos do jogo.

O CERN e suas máquinas de investigar as origens do Universo

É um texto baseado, traduzido e adaptado de várias referências nele indicadas que traz informações sobre a constituição do CERN e seus experimentos, dando ênfase ao LHC e à física de partículas.

Bibliografia

Tratam do que foi utilizado na elaboração dos textos anteriores e estão listadas e ordenadas em ordem alfabética. São constituídas por artigos da área de ensino de física, livros didáticos de graduação e mídias de divulgação científica, inclusive fomentadas pelo CERN.

3.3. Mídia de apoio

O *blog* "Física de partículas na escola: um jogo educacional" traz um menu com quatro itens: *Início*, que faz o papel de introdução, convidando o estudante a navegar pelo blog e informando sobre sua estrutura; *Física de partículas*, que traz links para outros materiais relacionados à física de partículas e ao LHC; *Regras do jogo*, que traz os textos "Elementos do jogo" e "Regras do jogo" citados anteriormente; e *Sobre*, que traz informações sobre a autoria do *blog* e do jogo didático. Está disponível em: <https://fisicadeparticulasnaescola.wordpress.com/>.

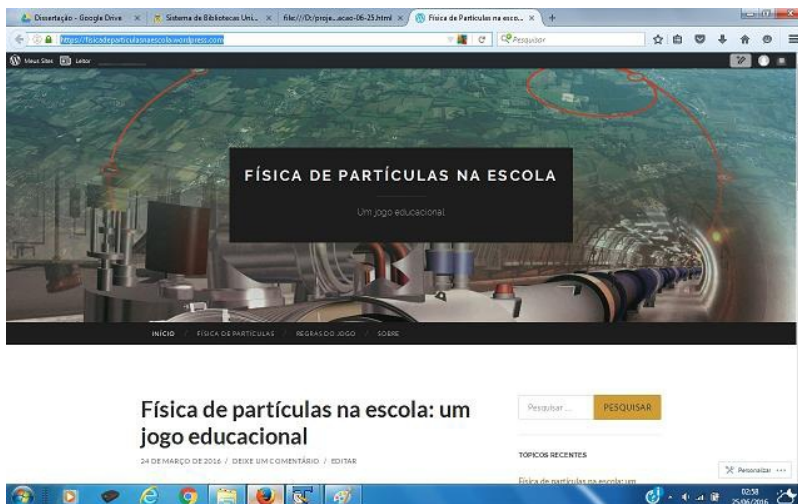


Figura 3.9: Tela de entrada do blog "Física de partículas na escola".

No menu "Física de partículas" há hiperlinks para outros *sites* sobre o tema:

Nanoreisen, uma aventura pelos decimais

O site ilustra uma viagem ao interior da matéria, mostrando as escalas em que os objetos são "vistos". É repleto de ilustrações e percorre as dimensões do metro ao fentômetro ($1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$). É proposto com o objetivo de estimular a reflexão sobre a estrutura da matéria e os prefixos utilizados no estudo de partículas subatômicas. Disponível em <http://nanoreisen.de/>.



Figura 3.10: Tela do site "Nanoreisen" em um momento particular da viagem ao mundo do muito pequeno.

A aventura das partículas

É um site interessante e divertido sobre física de partículas. A partir de perguntas como "De que o mundo é feito?" e "O que mantém o mundo unido?" apresenta os conhecimentos sobre esta área da física de maneira lúdica e organizada. É proposto com o objetivo sistematizar as primeiras ideias do estudante sobre física de partículas. Disponível em <http://www.sprace.org.br/AventuraDasParticulas/>.



Figura 3.11: Tela de entrada do site "A aventura das partículas".

O CERN e suas máquinas de investigar as origens do Universo

Disponível em PDF, foi produzido para suprir a deficiência de material similar, com nível de aprofundamento adequado aos estudantes de EM que se propõem a participar do jogo. Disponível no apêndice A, consiste de uma releitura, tradução e adaptação de alguns textos lá citados.

O caminho dos prótons

É uma animação produzida por equipe vinculada ao CERN e representa o funcionamento do LHC a partir do caminho percorrido pelas partículas até chegar no LHC. Tem duração de aproximadamente três minutos e é utilizado para estimular o entendimento sobre o funcionamento do LHC. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=pQhbhpU9Wrg>.

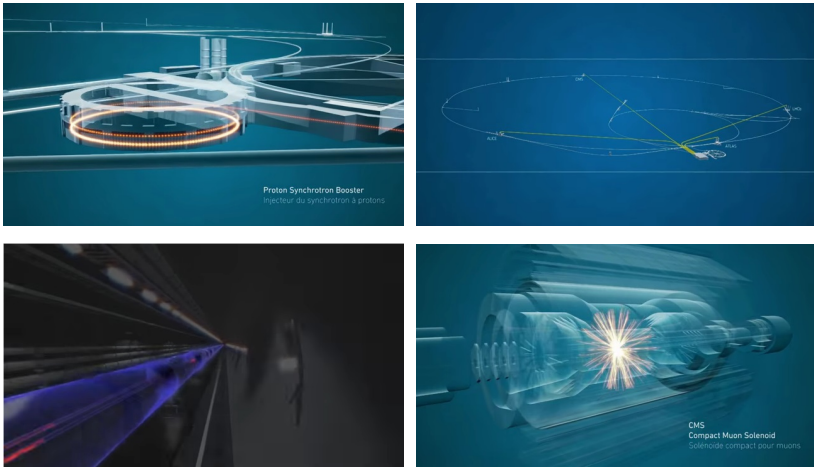


Figura 3.12: Captura de tela de quatro quadros da animação "O caminho dos prótons".

CERN

É uma reportagem exibida no programa "Matéria de Capa", da TV Cultura, que mostra um pouco dos bastidores do LHC e algumas entrevistas com pesquisadores que trabalham no experimento. O vídeo tem duração de 29 minutos. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=1TONz71uDak>.



Figura 3.13: Captura de tela do vídeo da reportagem "CERN" do programa "Matéria de Capa", da TV Cultura.

Um passeio virtual pelos corredores do LHC

Permite um passeio virtual pelos corredores do LHC, com imagens reais e muita interatividade, permite ao usuário deslocar-se virtualmente pelos corredores do LHC observando detalhes do acelerador. Disponível em <http://virtual-tours.web.cern.ch/virtual-tours/vtours/LHC/LHC.html>.

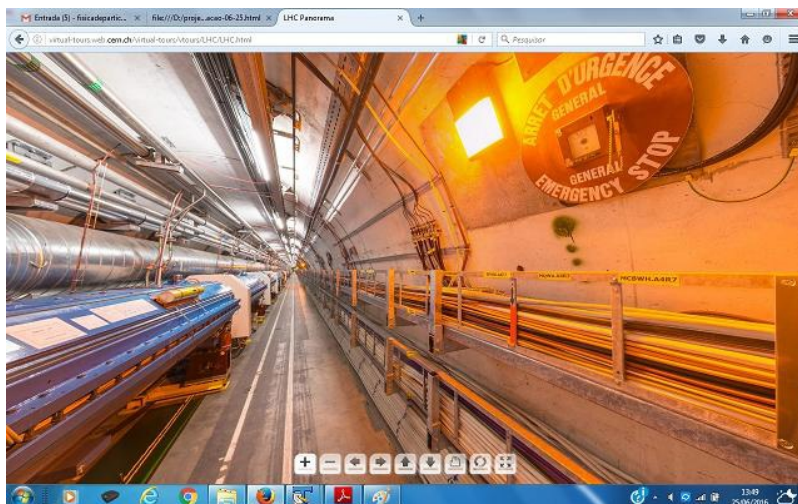


Figura 3.14: Captura de tela do "Um passeio virtual pelos corredores do CERN".

Viagem ao CERN

Viagem ao CERN é um documentário exibido pela IFSC TV e mostra a ida de dois professores do IFSC à Suíça para conhecer o LHC. Com entrevistas, imagens e animações, mostra um pouco dos bastidores do acelerador de partículas, da sua história e da física pesquisada através dos experimentos lá realizados. O objetivo é explorar recursos audiovisuais no ensino. Tem duração de 16 minutos e está disponível em <https://linkdigital.ifsc.edu.br/2016/02/18/ifsc-tv-documentario-viagem-ao-cern/>.



Figura 3.15: Captura de tela do vídeo "Viagem ao CERN", da TV IFSC.

Professor Diogo

É um blog onde o professor do IFSC compartilha suas experiências na visita ao CERN durante participação na Escola de Física CERN 2016, onde teve a oportunidade de conhecer o complexo de aceleradores de partículas CERN. O objetivo é mostrar o ponto de vista de um professor de EM que visitou o CERN e associar informações sobre o tema. Está disponível em <http://diogoch9.wix.com/profdiogo>.



Figura 3.16: Tela principal do *blog* Professor Diogo.

3.4. Conceito e jogabilidade

A escolha do tema (física de partículas e o LHC) deve-se principalmente a três fatores: (a) conteúdos sobre física de partículas estão pouco presentes nas aulas de EM; (b) durante as aulas, os alunos se mostram interessados no tema; (c) busca de qualificação e conhecimento no assunto.

Optou-se em desenvolver um jogo como ferramenta de ensino também principalmente por três motivos: (a) é uma forma divertida de aprender e ensinar, portanto motivadora; (b) é possível que outros professores e alunos o utilizem; (c) é uma ferramenta adaptável e aplicável a outros conteúdos.

De início pensava-se em realizar um jogo de cartas semelhante ao que conhecemos como canastra ou tranca que, ao invés de naipes, utilizaria grupos ou famílias de partículas. A ideia foi descartada devido aos riscos de aceitação (poderia ser mais facilmente associado a um jogo de azar), à existência de jogos semelhantes e ao número limitado de informações veiculadas neste tipo de jogo.

Um jogo de tabuleiro permite possibilidades de aprendizagem mais diversificadas, pois pode-se utilizar os elementos gráficos e as perguntas para abordar vários aspectos da engenharia, da física e matemática básicas, da física de partículas, do contexto histórico e social do CERN, entre outros. Em especial, em um jogo de perguntas e respostas em equipes, há maior interação entre os estudantes e entre os estudantes e os elementos do jogo, permitindo ler, raciocinar e conversar sobre o tema.

Quanto maior a interação dos jogadores com os elementos do jogo e com os outros jogadores, maiores serão as possibilidades de aprendizagem. A jogabilidade é um indicativo desta interação e por isso neste trabalho contém a análise da jogabilidade do "Física de partículas na escola".

O procedimento desenvolvido para esta análise consistiu em elaborar uma lista de heurísticas a respeito da jogabilidade, aplicar o jogo com alunos em escolas e analisar os resultados, eventualmente promovendo melhorias, e repetir o processo enquanto as condições permitirem.

As heurísticas escolhidas foram construídas principalmente a partir da auto avaliação da experiência profissional do mestrando e seu orientador, de comparações com características e peculiaridades de outros jogos similares, e da pesquisa bibliográfica sobre métodos de desenvolvimento e avaliação de jogos digitais.

Com base nisso, um conjunto de heurísticas de jogabilidade e respectivas justificativas foram criadas e utilizadas na pesquisa:

H1: As regras do jogo precisam ser objetivas e de fácil interpretação pelos jogadores. *Justificativa:* evitar interpretações divergentes ou demora na leitura.

H2: As regras do jogo precisam garantir que o jogo possa ser jogado no tempo determinado. *Justificativa:* como trata-se de um jogo educacional, é importante que ele termine no tempo estimado pelo professor.

H3: As regras do jogo devem fazer com que todos os participantes passem a maior parte do tempo interagindo com os colegas e com os elementos do jogo. *Justificativa:* evitar que o jogo fique enfadonho e pouco motivador.

H4: Os jogadores devem perceber as alusões contidas nos elementos do

jogo como referentes ao tema do jogo. *Justificativa:* perceber estas relações, além de fomentar a imaginação e a fantasia de estar no cenário do LHC, servem para a maioria dos alunos como primeiras concepções acerca dos assuntos tratados, facilitando aprendizagens posteriores em sala de aula.

H5: Os grupos devem ser capazes de responder corretamente a maioria das questões. *Justificativa:* erros consecutivos podem provocar frustração e diminuir a motivação dos alunos para participar da atividade.

H6: As questões apresentadas nas cartas-pergunta devem fazer os jogadores discutirem sobre a resposta a ser apresentada como correta. *Justificativa:* o colega também atua como mediador; durante o ouvir, o raciocinar, o elaborar e falar uma frase ocorrem aprendizagens.

H7: As questões apresentadas nas cartas-perguntas devem fazer o jogador remeter, mesmo de maneira indireta, a conhecimentos pré-existentes. *Justificativa:* a relação com conhecimentos pré-existentes possibilita resignificação dos conceitos, contribuindo para aprendizagem sobre o tema.

H8: As equipes devem conseguir apresentar respostas no tempo estimado. *Justificativa:* o tempo para resposta deve ser longo o suficiente para possibilitar que as equipes leiam as perguntas e alternativas para resposta, conversem sobre a resposta escolhida, façam alguma pesquisa rápida no textos do jogo e apresentem a resposta escolhida.

H9: O tempo para leitura deve ser breve o suficiente para evitar dispersão dos alunos da atividade. *Justificativa:* este fator influência na motivação dos jogadores em mobilizar adequadamente fatores afetivos e cognitivos relacionados à aprendizagem.

H10: A manipulação dos elementos físicos do jogo (peões, cronômetro, dados, cartas, tabuleiro e textos) deve ser fácil. *Justificativa:* a demora ou dificuldade pode atrapalhar o andamento do jogo.

Foram realizadas duas partidas de experimentação em escolas da rede pública estadual de ensino, com a participação de alunos das séries finais do EM que se dispuseram a colaborar com a pesquisa. Durante a realização da primeira partida foram observados e registrados os comportamentos e falas dos

alunos referentes às heurísticas mencionadas. Com base nestas informações e nos critérios heurísticos selecionados foi realizada uma análise e avaliação que resultou em alterações nas regras e elementos do jogo. Após as alterações no jogo terem sido concretizadas, foi realizada uma segunda partida, onde novamente foram observadas, analisadas e avaliadas as manifestações dos alunos, resultando em novas alterações no jogo, resultando na forma em que se encontra no presente trabalho.

Critérios gerais para elaboração do layout

Os elementos físicos do jogo foram elaborados com o intuito de familiarizar os estudantes com símbolos e conceitos relacionados à ciência e engenharia empregados no LHC.

Critérios gerais para elaboração das regras do jogo

As regras do jogo, baseadas em jogos de tabuleiro semelhantes, foram elaboradas com o intuito de permitir momentos agradáveis de trabalho escolar e de aprendizagem, promovendo o trabalho em equipe e fazendo com que a partida tivesse duração de até duas horas/aula. As regras foram testadas, avaliadas e aprimoradas durante esta pesquisa.

Critérios gerais para elaboração das perguntas

A elaboração das perguntas e das alternativas de resposta foi feita com base em parte da bibliografia citada. Esta é uma parte fundamental do jogo, pois é a que estimula os estudantes a ler e pensar sobre o tema. As perguntas e alternativas de resposta, além de adequadas ao público alvo, deveriam ser lidas e respondidas em aproximadamente 1 minuto, visando manter a atenção dos jogadores, e proporcionar uma alta taxa de acertos, de modo a não desmotivá-los.

Critérios gerais para elaboração do protótipo

Os materiais que compõem o jogo foram projetados para ser facilmente manipulados e transportados, para resistir ao uso e para ter um custo que permita sua utilização em escolas. Esses critérios são razoavelmente satisfeitos com o uso do EVA para a confecção das fichas, dos ímãs de geladeira como peões, dos dados montáveis e do tabuleiro e das cartas impressos em papel.

3.5. Testes

A parte experimental da pesquisa consistiu em reunir grupos de alunos do EM para jogar o jogo e buscar estimulá-los a visitar o *blog* "Física de partículas na escola" para mais informações sobre o jogo e o seu conteúdo educacional.

Todas as providências legais necessárias foram tomadas. O projeto teve aprovação da Gerência Regional de Educação da Grande Florianópolis (Apêndice K), do Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da UFSC (Apêndice J), da direção das escolas participantes (Apêndice L) e dos alunos e seus responsáveis legais, quando necessário, através dos termos de assentimento e de consentimento livre e esclarecido (Apêndice I).

Em abril de 2016 a pesquisa de campo foi realizada com alunos da EEB Professora Laura Lima e em maio foi com alunos da EEB Simão José Hess, escolas em que o pesquisador principal leciona a disciplina de física. Todas as atividades relacionadas à pesquisa de campo foram realizadas pelo pesquisador principal com o apoio da escola e do professor orientador.

Registro das atividades

Para fazer o registro das atividades foram feitas gravações de áudio e vídeo, registro fotográfico e anotações das falas e atitudes dos participantes.

O registro audiovisual foi feito com uma câmera GoPro, pois resiste a impactos, é pequena e leve, possui suporte, lente grande angular (que amplia o campo visual) e captador de áudio. O registro fotográfico foi realizado com aparelho celular e as anotações foram feitas durante e após as atividades.

4. RESULTADOS

4.1. Partida na EEB Professora Laura Lima

No dia 04 de abril os alunos das turmas da 3^a série do EM foram convidados a participar da pesquisa prevista para ser realizada em dois momentos: (1) na sala de informática da escola, para instruções sobre o jogo e o site "Física de partículas na escola"; (2) em uma sala de aula, para a realização de uma partida do jogo "Física de partículas na escola". Os alunos foram esclarecidos sobre a pesquisa e foram distribuídos os TCLEs e os termos de assentimento necessários para a participação dos estudantes na pesquisa.

No primeiro momento, no dia 5 de abril, a partir das 13h30min, no local previsto, estiveram presentes sete alunos voluntários. Inicialmente lhes foi apresentado, através do uso de um *data show*, o *blog* "Física de partículas na escola" que contém informações sobre os elementos do jogo, as regras do jogo, a física de partículas e ao CERN. Também foi exibido o documentário "Viagem ao CERN". Posteriormente, em quatro computadores da sala de informática, os voluntários exploraram o *blog* e seus links para outros sites relacionados aos conteúdos do jogo. Foram distribuídas quatro brochuras com textos de apoio aos estudantes (Apêndice A).

No dia 19 de abril, das 13h45min às 15h10min, em uma sala de aula, com a presença de 9 alunos voluntários, foi realizada uma partida do jogo educacional. Foram realizados registros escrito, fotográfico e audiovisual da atividade.



Figura 4.1: Foto de um momento da partida realizada na EEB Professora Laura Lima.

Nos dois encontros a sensação térmica superior aos 40 °C devido às elevadas temperatura e umidade do ar, e o barulho incessante de alunos em outras atividades da escola, tiveram um forte impacto negativo na realização da atividade, evidenciando, mais uma vez, como a baixa qualidade das instalações escolares prejudica o processo de ensino-aprendizagem.

Descrição

O registro da partida realizada em 19 de abril consistiu de anotações realizadas durante os procedimentos, três fotografias digitais e cinco sequências de filmagens. A câmera foi posicionada sobre uma pilha de livros, ao lado da mesa com o tabuleiro, acima do nível do tabuleiro, permitindo visualizar a interação dos alunos com os elementos do jogo.

Posteriormente, os vídeos foram decupados (Apêndice F) e comparados com outros registros (fotográfico e escrito), o que resultou na seguinte sistematização:

1. Todas as equipes receberam com antecedência o "Texto de apoio aos alunos" . Dos nove participantes, apenas três disseram ter lido o texto e outros três alunos disseram ter olhado superficialmente os textos.

2. Em diversos momentos foi importante a mediação do pesquisador: formação dos grupos, escolha de quem inicia, organização geral. As regras não contém itens específicos sobre estas questões.
3. No início da atividade as perguntas não foram lidas em voz alta e os alunos que não faziam parte da equipe que estava respondendo a pergunta ficavam ociosos, sem participar. Uma aluna sugeriu que as perguntas fossem lidas em voz alta, pois isso poderia ajudar a responder futuras perguntas. A mudança sugerida foi realizada por volta de 15 minutos após o início da partida e foi positiva, melhorando a atenção dos estudantes.
4. Os alunos em nenhum momento consultaram o texto de apoio ao aluno.
5. Apenas 36% das respostas dos alunos estavam corretas. Considerando que havia apenas três alternativas de resposta para cada pergunta, pode-se supor que as perguntas estavam difíceis para aquele grupo .
6. Os alunos que disseram ter lido o material e/ou visitado o *blog* apresentaram maior interação, fazendo questionamentos, sugerindo respostas a colegas e demonstraram elaborar algum tipo de raciocínio para responderem aos questões propostas. A única equipe cujos participantes – todos – disseram não ter lido o material teve o pior desempenho no jogo e ficou evidente o não entendimento da maioria das questões.
7. Como um peão se desloca em cada sentido, apesar de identificados com "E" significando esquerda e "D" significando direita, quando os peões estavam próximos houve dúvidas sobre qual peão deveria estar em qual raia, azul ou vermelha (o que levou à mudança no esquema de identificação dos peões para "A" e "V").
8. Ocorreram erros de cronometragem devido à utilização do aparelho celular como cronômetro. Para esta situação o aparelho de celular não se mostra adequado pois é de difícil manuseio.
9. Apenas um estudante de cada vez conseguiu ler as cartas-pergunta.
10. Para realizar as duas primeiras rodadas, que são equivalentes a dezesseis jogadas, foram necessários 31min14s. Cada jogada representa

duas jogadas de dados, dois deslocamentos dos peões que representam as equipes, leituras de duas cartas pergunta e duas conferências de respostas (e demais pormenores). O tempo de cada etapa da jogada (dados, deslocamento dos peões, leitura de carta-pergunta e conferência da resposta) demora aproximadamente dois minutos.

11. A leitura de uma carta-pergunta e apresentação da resposta demorou aproximadamente 50 s.
12. Em alguns momentos o tempo alocado para o processamento de uma pergunta foi considerado curto. Inicialmente, o tempo sugerido era de 30 segundos e houve dúvida em relação a essa regra: se estes 30 segundos deveriam ser contados a partir do momento em que a carta-pergunta é "pescada" ou se o tempo seria contado a partir do término da leitura da carta-pergunta. Após testes nos dois modos foi utilizado o tempo de um minuto para a leitura da carta-pergunta e apresentação da carta-resposta.
13. Os alunos apresentaram dificuldades na leitura das unidades de medida e dos termos estrangeiros que estavam contidos nas cartas-pergunta. Ao ler as cartas-pergunta os alunos inconscientemente se aproximavam do rosto, com se pretendessem ler com mais facilidade, o que impedia outros alunos (inclusive da mesma equipe) de enxergar o texto e as imagens da carta.
14. Em alguns momentos os alunos demonstraram insatisfação por errar ao responder as perguntas.
15. Um integrante da equipe LHCb sugere que se o peão de outra equipe cair na casa do LHCb e se a equipe errar a resposta, a ficha azul (evento) vai pra equipe que leva o nome da casa.
16. Alguns peões das equipes nem sequer chegaram à casa que leva o nome ATLAS, prejudicando esta equipe.

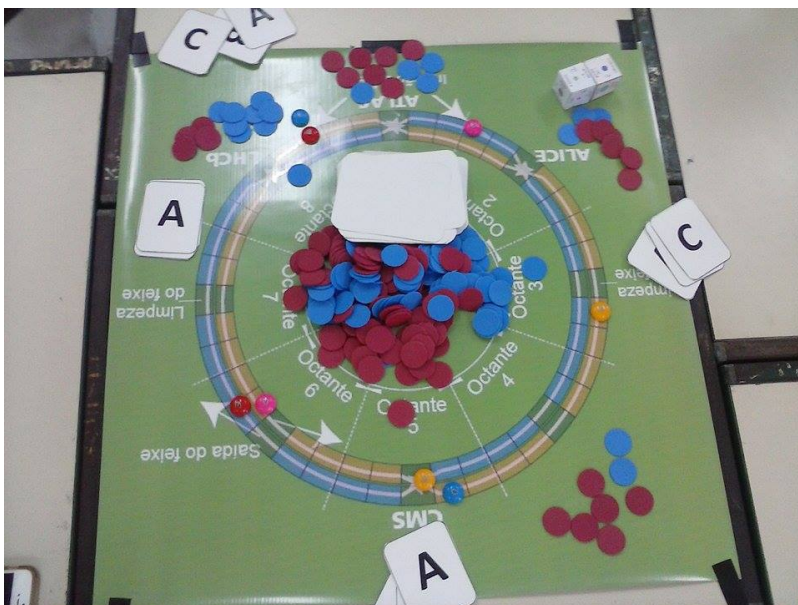


Figura 4.2: Imagem do tabuleiro após a partida na EEB Professora Laura Lima.

17. Resultado da partida:

Equipe	Fichas
ALICE	8 azuis e 6 vermelhas
ATLAS	4 azuis e 7 vermelhas
CMS	2 azuis e 6 vermelhas
LHCb	8 azuis e 4 vermelhas

Tabela 4.1. Resultado da 1a. partida.

Análise

A análise foi fundamentada nos dez critérios heurísticos propostos para avaliação da jogabilidade. Sua aplicação resultou na alteração das regras e de alguns elementos físicos e textuais do jogo.

1. Da forma que foi jogado, com apenas a equipe que está realizando a

- jogada com a prerrogativa de poder apresentar resposta à carta-pergunta, os outros alunos ficam ociosos a maior parte do tempo. É de se supor que se as outras equipes também puderem responder e pontuar (caso a equipe que esteja realizando a jogada apresente uma resposta errada) os alunos se mantenham entretidos durante um tempo maior, com o consequente aumento das possibilidades de aprendizagem (heurísticas H2, H3 e H6).
2. É possível melhorar o *design* do material impresso, facilitando o acesso do aluno às informações, como por exemplo, aumentar o tamanho da tabela que mostra a relação entre prefixo, potência de dez e decimal equivalente (heurísticas H5, H8 e H10).
 3. Utilizar uma ampulheta pode facilitar a marcação do tempo (heurística H10).
 4. Ampliar o tamanho das cartas-pergunta para que mais de um aluno possa interagir com a carta no momento da leitura (heurísticas H6, H8 e H10).
 5. Fazer uma apresentação no início do jogo, incluindo discussão de conceitos, instruções para uso do texto de apoio e eventualmente a apresentação de algum vídeo ou conjunto de transparências (heurísticas H4, H5, H6 e H7).
 6. Cada equipe ficou muito tempo esperando pela sua jogada: foram lidas e respondidas 6 cartas perguntas até que a equipe jogasse outra vez (aproximadamente 12 min). Possibilidade de alteração de regra: em uma rodada a equipe joga um dado de cada vez, os peões correm nas respectivas casas, mas apenas uma carta-pergunta é respondida por rodada (heurísticas H2 e H3).
 7. É necessário definir um tempo específico para cada jogada e tornar clara esta informação aos alunos (heurísticas H1, H2, H3, H5, H6, H8 e H9).
 8. Os peões das equipes percorreram um trajeto pequeno e não realizaram uma volta completa no tabuleiro, aparentemente provocando alguma frustração. Não previsto nas heurísticas propostas.

4.2. Partida na EEB Simão José Hess

No dia 19 de maio de 2016 os alunos foram convidados a participar da pesquisa. Aos que aceitaram foram distribuídos os TCLE's e os termos de assentimento. Nesse encontro também foi feita a divulgação do *blog* "Física de partículas na escola".

No dia 23 de maio de 2016 às 13h30min estiveram presentes na sala de aula combinada oito alunos dos 3^{os} anos com os TCLEs e termos de assentimento devidamente preenchidos e assinados.

Foi exibido o audiovisual "Viagem ao CERN", a animação gráfica "Caminho dos prótons" e o *blog* do jogo para mostrar os textos de apoio e incentivar a consulta ao material impresso, que cada equipe dispunha na forma de uma cópia encadernada para consulta durante a partida.

O registro da atividade foi realizado através de fotografias e anotações das falas e outros fatos importantes para a pesquisa. Não foi utilizado registro audiovisual por problemas técnicos com a câmera.

Todas as equipes receberam com antecedência o "Texto de apoio aos alunos". Dos nove participantes apenas três disseram ter lido o texto e outros três alunos disseram ter olhado superficialmente os textos.



Figura 4.3: Foto de um momento da partida realizada na EEB Simão José Hess.

Algumas regras e materiais foram alterados para melhorar a interação dos alunos entre si e com os elementos do jogo, visando aumentar as oportunidades de aprendizagem e melhorar a jogabilidade do produto educacional:

- As cartas-pergunta foram ampliadas do tamanho de $8,5 \text{ cm} \times 11,5 \text{ cm}$ para o tamanho de $14 \text{ cm} \times 18 \text{ cm}$, com a finalidade de facilitar a leitura e interação dos jogadores com este elemento do jogo;
- O diagrama "Os primeiros minutos do Universo" e a tabela "Relação entre prefixo, potências de dez e decimais equivalentes", contidos no texto "O CERN e suas máquinas de investigar as origens do Universo" (Apêndice A.8) foram ampliados dos tamanhos de $7 \text{ cm} \times 11,5 \text{ cm}$ para $9,5 \text{ cm} \times 15,5 \text{ cm}$ e $15 \text{ cm} \times 17 \text{ cm}$, respectivamente.
- As regras foram alteradas para que seja respondida apenas uma carta pergunta por equipe por rodada ao invés de duas, o que permite maior dinamismo na partida, reduzindo o tempo de espera entre uma jogada e

outra;

- As regras do jogo foram alteradas de modo que quando a equipe que está realizando a jogada errar a pergunta, as outras equipes podem tentar responder, permitindo que todas as equipes participem da leitura das cartas-pergunta.
- Foi fixado o tempo de um minuto para leitura da carta-pergunta e apresentação da carta-resposta.
- Foi realizada a substituição do cronômetro do aparelho celular por uma ampulheta que marca um intervalo de tempo de aproximadamente 1 minuto, para facilitar a manipulação, evitar erros de cronometragem e permitir que esta seja acompanhada por todos.

Descrição

1. A partida iniciou as 14h15min e terminou as 15h45min.
2. Sessenta por cento das respostas dos alunos estavam corretas.
3. Cada equipe realizou 7 jogadas, jogando os dois dados de uma vez e respondendo a uma pergunta, com exceção de duas situações em que os peões pararam na casa em que está escrito "limpeza do feixe".
4. Quando os peões paravam em casas diferenciadas e conseqüentemente acontecia algo como perder a chance de responder a perguntas ou, caso a equipe acertasse a pergunta a ficha azul (evento) iria para outra equipe, geraram momentos descontraídos durante a partida, fazendo com que os alunos sugerissem que deveria haver mais destas casas.
5. O fato de todas as equipes poderem responder as perguntas caso a equipe que está realizando a jogada não acerte a resposta fez com que todos se mantivessem concentrados na leitura das cartas-pergunta.
6. Quando eventualmente a areia da ampulheta parava de descer ou descia muito devagar os alunos das equipes que não estavam realizando a jogada batiam levemente na mesma para que a areia descesse mais rápido. Isso provocou momentos de descontração e não causou desconforto entre as equipes.

7. Como cada peão se desloca em um sentido diferente, apesar de identificados com "E" significando esquerda e "D" significando direita, quando os peões estavam próximos houve dúvidas sobre qual peão deveria estar em que raia, azul ou vermelha. Um aluno sugeriu que que os peões fossem identificados com a letra "V" em alusão à raia vermelha do tabuleiro e com a letra "A" em alusão à raia azul, em substituição às marcações "E" e "D".
8. Frequentemente os alunos conversavam entre a equipe e buscaram fazer relações com outros conhecimentos, muitas vezes estudados em aula, para responder as perguntas. Os dois integrantes da equipe vencedora disseram ter visitado o *blog* e ter lido o material de apoio.
9. Os alunos frequentemente realizaram pesquisas no material impresso durante a realização da partida.
10. Cinco peões pararam na casa CMS, um peão parou na casa LHCb, nenhum peão parou na casa ALICE e nenhum peão sequer passou pela casa ATLAS.

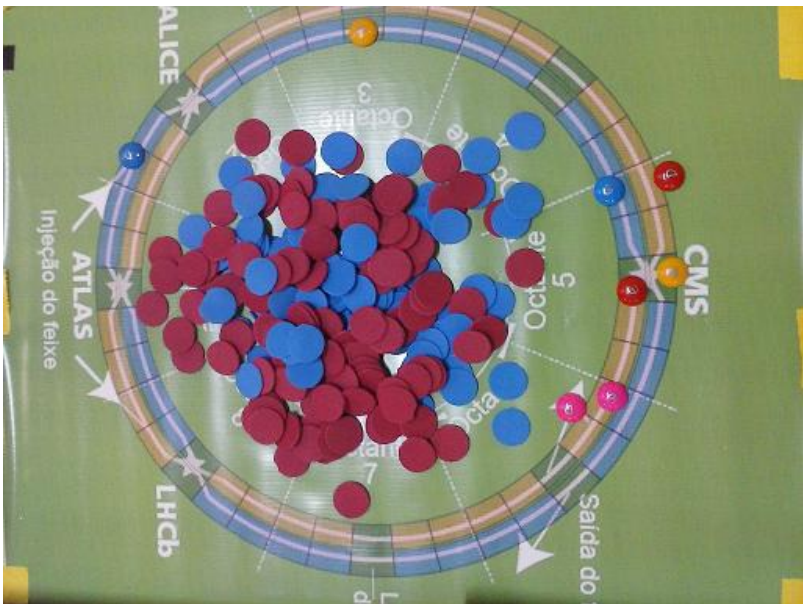


Figura 4.4: Imagem do tabuleiro ao final da partida na EEB
Simão José Hess.

11. Resultado da partida:

Equipe	Fichas
ALICE	1 azul
ATLAS	6 azuis
CMS	4 azuis
LHCb	0

Tabela 4.2. Resultado da 2a. partida.

Análise

A análise foi fundamentada nos dez critérios heurísticos propostos para avaliação da jogabilidade. Sua aplicação resultou na alteração das regras e de alguns elementos físicos e textuais do jogo.

1. As cartas maiores aprimoram a interação dos estudantes com o texto contido durante a jogada, pois não somente a equipe que faz a jogada tem acesso ao conteúdo da carta (heurísticas H5, H8 e H10).
2. O fato das demais equipes poderem apresentar a resposta às perguntas caso a equipe que está realizando a jogada erre permitiu que os alunos ficassem a maior parte do tempo da partida entretidos (heurísticas H2, H3 e H6).
3. Na aplicação anterior foram lidas e respondidas duas perguntas por jogadas, em um tempo médio de 4 minutos; nesta aplicação, foi lida e respondida uma pergunta por jogada, com um tempo médio de 3 minutos e 15 segundos.
4. A equipe ATLAS foi prejudicada, pois nenhum peão teve a possibilidade de passar na casa que leva o seu nome. Uma possível solução seria diminuir o número de casas do tabuleiro. (heurísticas H2 e H10).
5. Além de tornar as regras do jogo mais equilibradas entre as equipes, a

diminuição do número de casas do tabuleiro pode permitir um maior número jogadas diferenciadas, que é quando algum para em uma casa com nome de detector ou injeção ou limpeza de feixe, deixando a partida ainda mais dinâmica e descontraída.

6. Para ficar mais claro que peão da equipe deve percorrer qual raia, escrever nos peões V de vermelho e A de azul ao invés de E e D (heurística H10).
7. A ampulheta revelou-se uma opção bastante eficaz, pois além dos participantes poderem "visualizar" o tempo, também interagiram bastante com o aparato, promovendo momentos de bastante descontração (heurística H10).
8. O tempo de um minuto para leitura da carta-pergunta e apresentação da resposta mostrou-se adequado (heurística H8 e H9).

4.3. Propostas de alterações adicionais

Com base na análise realizada em 4.2 foram realizadas as seguintes alterações incorporadas à versão final do jogo:

1. Confecção de tabuleiros com um número menor de casas. O tabuleiro original dispõe de 40 casas e os outros dois propostos dispõem de 24 e 16 casas, de modo que os peões circulem o tabuleiro durante uma partida em um menor intervalo de tempo.
2. Os peões das equipes foram marcados com "V" (vermelho) e "A" (azul) para deixar claro que raia devem percorrer.
3. Foram feitas pequenas alterações na redação das regras, para torná-las mais claras.
4. Foram feitas adequações aos textos e elementos físicos do jogo para compatibilizá-los com as alterações propostas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O jogo "Física de partículas na escola" foi elaborado com o intuito de estimular a aprendizagem sobre o tema buscando favorecer e orientar a comunicação (leitura, análise de imagens, interpretação de tabelas e outros esquemas etc.) durante as partidas. Os conceitos e termos dessa área da física moderna são muito distantes tanto da rotina escolar enquanto do cotidiano fora da escola, e acreditamos que o uso de estratégias ativas de comunicação seja essencial para uma familiarização mínima com o tema.

O conceito original surgiu de pesquisa bibliográfica e conversas com o orientador. Em seguida, foi desenvolvido um protótipo digital, interativo, para se ter mais clareza sobre o *layout* do tabuleiro e outros elementos do jogo (cartas, dados, peões, fichas) e sua jogabilidade.

O desenvolvimento dos materiais e das regras do jogo, e posteriormente a análise das partidas experimentais, foi pautado por um conjunto de heurísticas usualmente propostas para jogos digitais. Essas heurísticas abordam o andamento do jogo, a interação do jogador com o jogo e com outros jogadores, a motivação, tempo do jogo e possibilidades de aprendizagem.

Foram realizadas duas partidas-teste com alunos de turmas de 3^o ano do Ensino Médio de escolas da rede pública estadual de Santa Catarina. A partir da análise dessas partidas quanto à jogabilidade e possibilidades de aprendizagem foram realizadas alterações no jogo.

Na primeira aplicação o percentual de respostas corretas foi equivalente ao que se teria com escolhas aleatórias (1/3). Na segunda partida, esse número dobrou, o que pode ser atribuído ao estímulo à utilização do *blog* e dos textos de apoio.

As partidas-teste aconteceram com o tabuleiro de 40 casas, que revelou-se muito longo. Para partidas com duração de até duas aulas pode ser mais conveniente a utilização do tabuleiro com 24 casas (devido à própria divisão do LHC em "octantes", o número de casas tem que ser um múltiplo de 8).

Ficou claro, nas duas aplicações, que os alunos se mostraram motivados durante quase toda a atividade e se manifestaram disponíveis para participar de outra partida. Também ficou claro o uso frequente dos termos e conceitos relacionados ao tema, o que contribui para sua apropriação pelos estudantes.

O jogo possibilitou momentos agradáveis de contato com o tema, mantendo os alunos interagindo com os elementos do jogo e com os colegas a maior parte do tempo, estimulando os aspectos cognitivos e afetivos da aprendizagem. No entanto, há alterações que podem ser realizadas para a melhoria deste produto educacional:

- Alterações na diagramação do texto de modo a dar agilidade e rapidez a eventuais pesquisas durante a partida.
- Utilizar imagens em um número maior de cartas, pois chamam a atenção, estimulam a leitura e veiculam mais informações.
- Inclusão de elementos textuais informativos de fácil visualização, como por exemplo painéis com informações sobre física de partículas, modelos atômicos, linhas do tempo sobre a pesquisa em física de partículas disponibilizados aos estudantes durante as partidas.
- Incrementar o *blog* "Física de partículas na escola", explorando outras mídias digitais mais interativas sobre o tema, como simulações computacionais, palavras cruzadas, jogos digitais, etc.
- Adaptar o produto para disponibilizá-lo a outros níveis de ensino.

REFERÊNCIAS

ALVES, Luciana; BIANCHIN, Maysa Alahmar. **O jogo como recurso de aprendizagem.** Revista Psicopedagogia, São Paulo, v. 27, n. 83, p.282-287, 2010. Disponível em: <<http://pepsic.bvsalud.org/pdf/psicoped/v27n83/13.pdf>>. Acesso em: 27/10/2015.

BARCELOS, Thiago Schumacher; CARVALHO, Thiago; SCHIMIGUEL, Juliano; SILVEIRA, Ismar Frango. **Análise Comparativa de Heurísticas para Avaliação de Jogos Digitais.** Proceedings do 10º Simpósio Brasileiro de Fatores Humanos em Sistemas Computacionais e a 5ª Conferência Latino-Americana sobre Interação Humano Computador, p. 187-196. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2011. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2254469>>. Acesso em: 11/06/2016.

BLAINEY, Geoffrey. **O olho de vidro da ciência.** In: BLAINEY, Geoffrey. *Uma breve história do mundo.* São Paulo: Fundamento Educacional, 2008. p. 212-221.

BLAINEY, Geoffrey. **Nobre a vapor.** In: BLAINEY, Geoffrey. *Uma breve história do mundo.* São Paulo: Fundamento Educacional, 2008. p. 258-270.

BLAINEY, Geoffrey. **A bomba e a Lua.** In: BLAINEY, Geoffrey. *Uma breve história do mundo.* São Paulo: Fundamento Educacional, 2008. p. 310-325.

CAILLIAU, Robert. **Twenty years of a free and open WWW.** Postado em 20/01/2014. Disponível em: <<http://home.cern/cern-people/opinion/2013/04/twenty-years-free-and-open-www>>. Acesso em: 07/05/2016.

CERF, Vinton G. **The open internet and the web.** Disponível em: <<http://home.cern/cern-people/opinion/2013/04/open-internet-and-web>>. Acesso em: 08/05/2016.

CERN Council. **Convention for the Establishment of a European Organization for Nuclear Research.** Disponível em: <<http://council.web.cern.ch/council/en/Governance/Convention.html>>. Acesso em: 14/06/2016.

CERN Timelines. **The Birth of the World Wide Web.** Disponível em: <<http://timeline.web.cern.ch/timelines/The-birth-of-the-World-Wide-Web/exportImagem>>. Acesso em: 03/06/2016.

CERN Timelines. **The history of CERN.** Disponível em: <<http://timeline.web.cern.ch/timelines/the-history-of-cern/overlay#1949-12-09%2000:45:00>>. Acesso em: 14/06/2016.

CHEFER, Sonia Mara. **Os jogos educativos como ferramenta de aprendizagem e enfatizando a educação ambiental no ensino de ciências.** Dissertação de mestrado do Programa de Pós-graduação em Formação Científica, Educacional e Tecnológica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014. Disponível em: <<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/960>>. Acesso em: 10/05/2016.

CORDENONSI, Andre Zanki. **Ambientes, objetos e dialogicidade: uma estratégia de ensino superior em heurísticas e metaheurísticas.** Tese de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação, UFRGS, 2008. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/14668/000666903.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 08/05/2016.

COSTA, Carina Joana Mendes Sampaio. **A importância do jogo no processo de ensino e aprendizagem de alunos com perturbação de hiperatividade e déficit de atenção.** Dissertação de mestrado na Escola Superior de Educação João de Deus, Lisboa, 2012. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10400.26/2595>>. Acesso em: 10/06/2016.

COSTA, Carina Joana Mendes Sampaio. **A importância do jogo no processo de ensino e aprendizagem de alunos com perturbação de hiperatividade e déficit de atenção.** Dissertação de mestrado na Escola Superior de Educação João de Deus, Lisboa, 2012. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10400.26/2595>>. Acesso em: 10/06/2016.

CUPERSCHMID, Ana Regina Mizrahy; HILDEBRAND, Hermes Renato.

Avaliação heurística de jogabilidade. Proceedings of SBGames 2013. Disponível em: <<http://www.sbgames.org/sbgames2013/proceedings/artedesign/44-dt-paper.pdf>>. Acesso em: 10/06/2016.

FCT. **Sobre o CERN.** Fundação para a Ciência e a Tecnologia. República Portuguesa. Disponível em: <<http://www.fct.pt/apoios/cooptrans/cern/>>. Acesso em: 14/06/2016.

FERREIRA, Marli Cardoso; CARVALHO, Lizete Maria Orquiza de. **A evolução dos jogos de física, a avaliação formativa e a prática reflexiva do professor.** Rev. Bras. de Ens. de Fís., v. 26, n. 1, p. 57-61, 2004. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/26951>>. Acesso em: 10/06/2016.

GARCEZ, Andrea; DUARTE, Rosalia; EISENBERG, Zena. **Produção e análise de vídeo gravações em pesquisas qualitativas.** Educ. Pesqui., v. 37, n. 2, p. 249-261, São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ep/v37n2/v37n2a03.pdf>>. Acesso em: 14/06/2016.

MAHONEY, Abigail Alvarenga; ALMEIDA, Laurinda Ramalho de. **Afetividade e processo ensino-aprendizagem: contribuições de Henri Wallon.** Psicologia da educação, n. 20, p. 11-30, São Paulo, 2005. Disponível em: <http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-169752005000100002&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 08/05/2016.

MENEZES, Ebenezer Takuno de; SANTOS, Thais Helena dos. **Verbetes paradidáticos.** Dicionário Interativo da Educação Brasileira - Educabrazil. São Paulo: Midiamix, 2001. Disponível em: <<http://www.educabrazil.com.br/paradidaticos>>. Acesso em: 07/05/2016.

MENEZES, Luís Carlos de (Coord). **Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio. Parte III Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias.** Brasília: Ministério da Educação, 1996. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>>. Acesso em: 24/03/2016.

MENEZES, Luis Carlos de. **Uma física para o novo ensino médio.** A Física na Escola, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 06-8, out. 2000. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol1/Num1>>. Acesso em: 08/05/2016.

MENICONI, Tadeu. **Brasileiros contam como é o 'sonho' de atuar no maior laboratório do mundo.** G1. São Paulo, 22/04/2012. Disponível em: <<http://glo.bo/I3frzL>>. Acesso em: 15/06/2016.

MOREIRA, Marco Antonio. **O Modelo Padrão da física de partículas.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 31, n. 1, p. 1306, 2009. ISSN 1806-9126. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/~moreira/modelopadrao.pdf>>. Acesso em: 08/05/2016.

NÓBREGA, Fábio Kopp; MACKEDANZ, Luiz Fernando. **O LHC (Large Hadron Collider) e a nossa física de cada dia.** Rev. Bras. de Ens. de Fís., v. 35, n. 1, p. 1-11, 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v35n1/v35n1a01.pdf>>. Acesso em: 08/05/2016.

O'LUANAIGH, Cian. **About CERN.** Disponível em: <<http://home.cern/about>>. Acesso em: 14/06/2016.

PINTO, Alexandre Custódio; ZANETIC, João. **É possível levar a física quântica para o ensino médio?** Cad. Bras. de Ens. de Fís., v. 16, n. 1, p.7-94, Florianópolis, 1999. Disponível em: <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5165612>>. Acesso em: 10/04/2016.

PINTO DUARTE, Rafael. **Cooperação internacional para o desenvolvimento em ciência e tecnologia: a participação brasileira na Organização Europeia para Pesquisa Nuclear (CERN).** Journal of Technology Management & Innovation, vol.3, n.4, pp. 133-151, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_pdf&pid=S0718-27242008000200011&lng=es&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 14/06/2016.

RBEF. **Física moderna e contemporânea no ensino médio: chamada de artigos.** Rev. Bras. Ensino Fís., vol.24, n.4, pp. 375-376, 2002. Disponível em: <www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172002000400001>. Acesso em: 07/05/2016.

RENN, Jürgen. **A física clássica de cabeça para baixo: como Einstein descobriu a teoria da relatividade especial.** Rev. Bras. de Ens. de Fís., v. 27, n. 1, p. 27-36, São Paulo, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-

11172005000100004&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 19/06/2016.

ROSENFELD, Rogério. **O cern da matéria: a aventura científica que levou à descoberta do bóson de Higgs**. São Paulo: Companhia das Letras, 2013.

ROSSO, Antonella del. **Speaking about the internet** Cern Bulletin. Genebra, p. 4-4. abr. 2012. Disponível em: <http://cds.cern.ch/journal/CERNBulletin/2012/18/News_Articles/1442997?ln=en>. Acesso em: 01/05/2016.

SHAPIN, Steven. **Bomba e circunstância: a tecnologia literária de Robert Boyle**. In: SHAPIN, Steven. *Nunca pura: estudos históricos de ciência como se fora produzida por pessoas com corpos, situadas no tempo, no espaço, na cultura e na sociedade e que se empenham por credibilidade*. Belo Horizonte: Fino Traço, 2013. p. 90-117. ISBN 978-85-8054-110-6

SILVA, Hudson de Aguiar. **O uso do jogo no ensino de física com foco nas competências e habilidades exigidas pelo novo ENEM**. Dissertação de Mestrado do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <http://dippg.cefet-rj.br/index.php?option=com_docman&task=doc_details&gid=980&Itemid=23>. Acesso em: 15/05/2016.

TEZANI, Thaís Cristina Rodrigues. **O jogo e os processos de aprendizagem e desenvolvimento: aspectos cognitivos e afetivos**. Educação em Revista, Unesp, v. 7, n. 1-2, p.1-16, 2006. Disponível em: <<http://www2.marilia.unesp.br/revistas/index.php/educacaoemrevista/article/view/603/48>>. Acesso em: 11/06/2016.

TONETTO, Leandro Miletto; KALIL, Lisiane Lindenmeyer; MELO, Wilson Veir; SCHNEIDER, Daniela Di Giorgio; STEIN, Lilian Milnitsky. **O papel das heurísticas no julgamento e na tomada de decisão sob incerteza**. Estudos de Psicologia, v. 23, n. 2, p.181-189, Campinas, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-166X2006000200008>>. Acesso em: 12/06/2016.

VENANCIO, Tatiana. **Aceleradores de partículas e seu impacto na sociedade**. ComCiência, n. 156, Campinas, 2014. Disponível em:

<http://comciencia.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-76542014000200004&lng=es&nrm=iso>. Acesso em: 14/06/2016.

APÊNDICE A. Material de apoio

Física de partículas na escola: um jogo educacional

Material de apoio

SUMÁRIO

- 1. Introdução**
- 2. Elementos do jogo**
- 3. Regras do jogo**
- 4. O CERN e suas máquinas de investigar as origens do universo**
- 5. Bibliografia**

Física de partículas na escola: um jogo educacional

Material de apoio

INTRODUÇÃO

Brincar é uma maneira divertida e agradável de aprender. Este jogo educacional é inspirado em uma área da ciência que desperta a curiosidade de todos, afinal quem nunca se perguntou *De que as coisas são feitas?* ou ainda *Como era o Universo logo após seu início?*

A temática é a do *Large Hadron Collider*, o LHC, experimento que vem investigando as interações fundamentais da natureza, o surgimento do Universo e contribuindo para o ser humano evolua na sua concepção de mundo.

Esse texto tem essencialmente duas partes. A primeira parte trata dos elementos e das regras do jogo, e a segunda explora um pouco da física e engenharias do LHC e seus detetores, o maior empreendimento científico da humanidade.

Para saber mais sobre o jogo e os temas abordados visite o endereço eletrônico <https://fisicadepartículasnaescola.wordpress.com/> ou entre em contato com ricardo.luis@posgrad.ufsc.br ou nelson.canzian@ufsc.br. Colaborações para melhorar o trabalho também são bem-vindas.

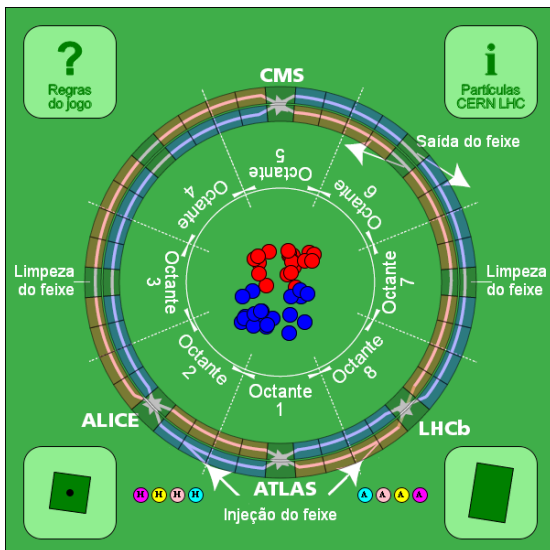
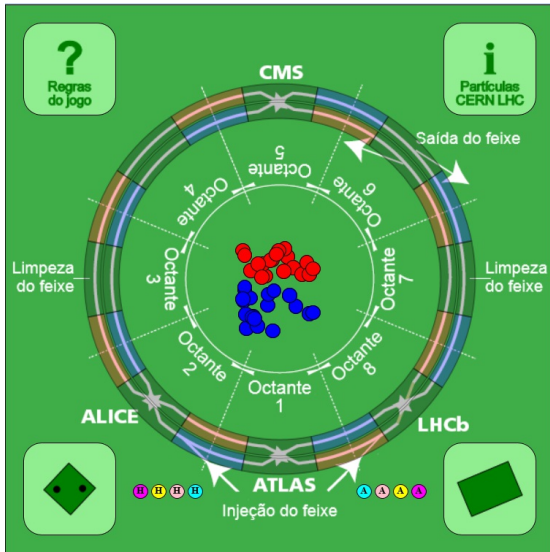
Bom estudo e divirtam-se!

Física de partículas na escola: um jogo educacional

Material de apoio

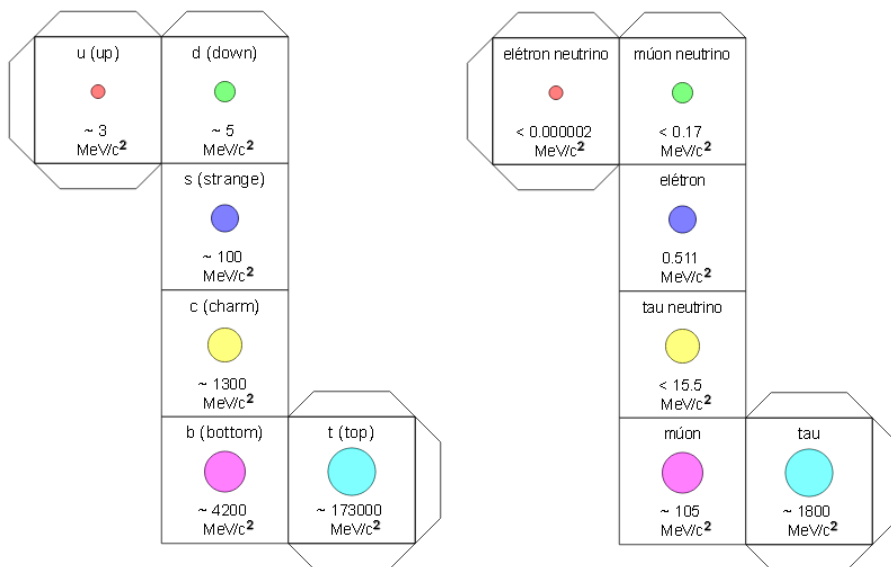
ELEMENTOS DO JOGO

Tabuleiros



Tabuleiros inspirados no LHC. As equipes levam os nomes dos principais experimentos do LHC (ATLAS, ALICE, LHCb e CMS). Estão disponíveis tabuleiros com 16 a 40 casas, em múltiplos de 8.

Dados de quarks e léptons



Dados com a temática dos grupos de partículas que formam a matéria: quarks, à esquerda, e léptons, à direita. São informadas as massas de repouso de cada partícula, que podem substituir os números. No dado de quarks, o quark *up* (que tem a menor massa de repouso) é equivalente a 1, enquanto o quark *top* (que tem a maior massa de repouso) equivale a 6. Para o dado de léptons utiliza-se o mesmo critério.

Cartas-pergunta e cartas-resposta

6

matéria molécula átomo núcleo nucleon próton quarks

Os valores que melhor representam o tamanho de átomos, núcleos atômicos e quarks são, respectivamente:

(a) 10^{-10} m, 10^{-14} m e 10^{-19} m.

(b) 10^1 m, 10^2 m e 10^8 m.

(c) 1 m, 2 m e 3 m.

25

O acelerador de partículas LHC é uma máquina de circunferência de 27 km. Fica localizado a uma profundidade média de 100 m, sob a fronteira entre a França e a Suíça. Um bom motivo para optar-se por construir a máquina em um túnel e não na superfície é que

(a) a crosta da Terra proporciona uma boa blindagem para a radiação emitida durante o funcionamento do LHC.

(b) evita a espionagem científica.

(c) evita a interferência da luminosidade solar.

A

B

C

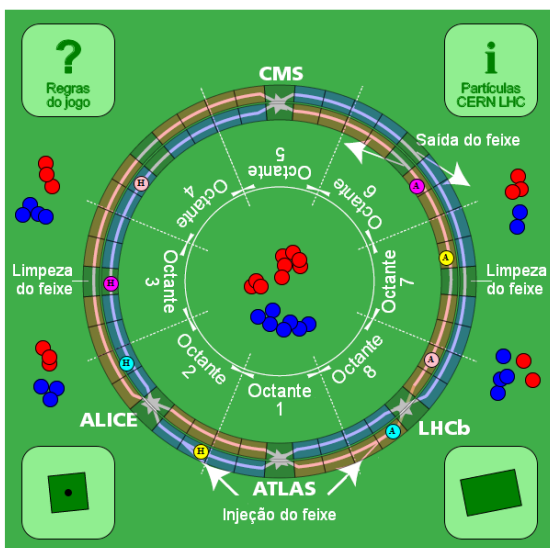
O jogo contém 100 cartas-pergunta, todas com três alternativas de resposta, e quatro conjuntos de três cartas-resposta, identificadas com as alternativas a serem propostas pelos estudantes.

Física de partículas na escola: um jogo educacional

Material de apoio

REGRAS DO JOGO

Estudantes, divididos em equipes, respondem a perguntas com o objetivo de percorrer, utilizando peões, um tabuleiro com a temática do LHC (*Large Hadron Collider*).



O Jogo do LHC consiste em:

- um tabuleiro
- três dados de quarks

- c. um dado de léptons
- d. 8 peões
- e. 100 cartas-perguntas com questões numeradas
- f. 12 cartas-resposta, marcadas com "a", "b" e "c" para os jogadores fazerem suas escolhas
- g. um manual com comentários sobre os textos do jogo
- h. grande quantidade de fichas azuis e vermelhas que representam eventos e ruídos

O jogo deve ser jogado por quatro equipes, denominadas "ATLAS", "ALICE", "LHCb" e "CMS".

Cada equipe é representada por dois "peões", um que circula no sentido horário e outro que circula no sentido anti-horário.

A ordem em que as equipes farão os movimentos não importa, mas pode ser decidida por sorteio no início do jogo, por exemplo, jogando-se os dados dos quarks e adotando a ordem crescente das massas como a ordem do jogo.

Um movimento consiste em uma equipe jogar dois dados, um colorido de azul, que vai lhe indicar quanto deve andar na trilha azul (horário), e outro colorido de vermelho, que vai lhe indicar quanto deve andar na trilha vermelha (anti-horário).

Os pontos de saída dos peões são os pontos de injeção do feixe, ao lado da primeira casa do octante 2 no sentido horário e da primeira casa do octante 8 no sentido anti-horário.

A cada jogada um membro da equipe deve retirar uma carta-pergunta e ler a pergunta e as alternativas em voz alta. Em até 1 minuto cada equipe deve apresentar uma carta-resposta. As equipes que não estão realizando a jogada podem apresentar uma carta resposta, deixando-a virada para baixo, esta carta será apresentada caso a equipe que esta realizando a jogada não acerte a resposta.

Feitas as escolhas, a resposta escolhida pela equipe que esta na jogada é conferida na tabela de respostas. Em caso de acerto, acumulam "eventos" (fichas azuis) e, em caso de erros, acumulam "ruídos" (fichas vermelhas) e as outras equipes devem desvirar suas cartas, apresentando suas respostas – neste caso são utilizados os mesmos critérios para acumular "eventos" ou "ruídos".

Ganha o jogo a equipe que obtiver a melhor relação evento/ruído (isto é, a divisão entre o número de fichas azuis pelo número de fichas vermelhas). Em caso de empate, ganha a equipe que tiver mais eventos.

Se algum dos peões da equipe parar nas casas identificadas como "limpeza do feixe", a equipe não receberá "evento" pela resposta correta, mas receberá um "ruído" pela resposta incorreta à carta-pergunta. Nesta situação as outras equipes não podem apresentar resposta.

Se algum dos peões da equipe parar nas casas identificadas como "saída do feixe", o peão deve retornar à posição inicial, ao lado da primeira casa do seu respectivo anel. Além disso, a equipe fica uma rodada sem jogar para recuperar-se do infortúnio. Nesta situação as outras equipes não podem apresentar resposta.

Se um peão parar na casa do detector da sua própria equipe (por exemplo, se um peão da equipe "ALICE" parar na casa do detector "ALICE"), será premiado em dobro por um acerto e perdoado por um erro. Nesta situação as outras equipes não podem apresentar resposta.

Se um peão parar na casa do detector de outra equipe (por exemplo, se um peão da equipe "ALICE" parar na casa do detector "ATLAS"), não receberá nada por um acerto, que irá para equipe "dona" da casa, e pagará em dobro por um erro. Nesta situação as outras equipes não podem apresentar resposta.

Se dois peões encontrarem-se na casa de um detector nenhuma carta-pergunta é retirada e a equipe do respectivo detector ganha automaticamente 4 eventos.

Se os dois peões caírem em casas diferenciadas (limpeza do feixe, saída do feixe, ATLAS, CMS, ALICE ou LHCb) a equipe escolhe entre uma das possibilidades para continuar a jogada.

A duração do jogo é definida estabelecendo-se um número definido de rodadas, dependendo do tempo disponível.

Física de partículas na escola: um jogo educacional

Material de apoio

O CERN E SUAS MÁQUINAS DE INVESTIGAR AS ORIGENS DO UNIVERSO

O texto que segue foi elaborado a partir de informações, traduções e adaptações de diversas fontes, sendo as principais delas:

Um pôster para ensinar Física de Partículas na escola

www.sbfisica.org.br/fne/Vol2/Num1/particulas.pdf

O LHC está de volta

fisicanaveia.blogosfera.uol.com.br/2015/06/03/olhc-esta-de-volta

Proton Synchrotron Booster

home.cern/about/accelerators/proton-synchrotron-booster

The Proton Synchrotron

home.cern/about/accelerators/proton-synchrotron

The Super Proton Synchrotron

home.cern/about/accelerators/super-proton-synchrotron

The Large Hadron Collider

home.cern/topics/largehadron-collider

ATLAS

home.cern/about/experiments/atlas

CMS

home.cern/about/experiments/cms

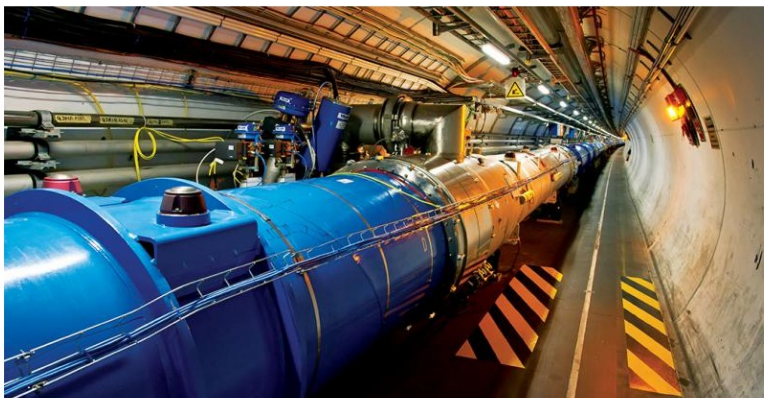
ALICE

home.cern/about/experiments/alice

Large Hadron Collider beauty (LHCb)

home.cern/about/experiments/lhcb

O jogo "Física de partículas na escola: um jogo educacional" é inspirado no *Large Hadron Collider*, o LHC (grande colisor de hádrons, em tradução livre), um complexo de aceleradores que abriga vários experimentos sobre física de partículas.



Túnel do LHC.

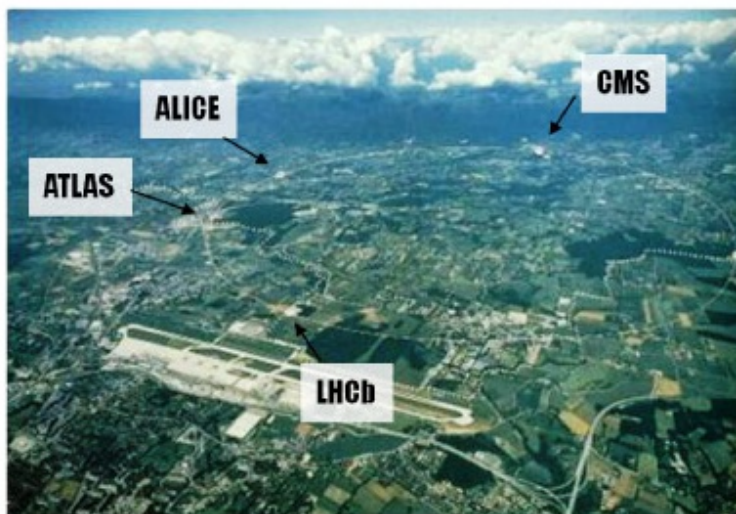
Fonte: <http://home.cern/topics/large-hadron-collider>.

O LHC é uma máquina gigantesca! São dois tubos colocados lado a lado dentro de um tubo maior, que forma um anel com 27 km circunferência. Nos tubos internos são acelerados feixes de prótons e outros núcleos (divididos em dois grupos que se deslocam em sentidos contrários) a velocidades próximas a velocidade da luz. A estas velocidades são provocadas colisões que geram milhares de partículas detetadas pelos experimentos do LHC.

Localizada sobre a região de fronteira entre a Suíça e a França a uma profundidade média de 100 m, esta inusitada máquina faz parte de um complexo de aceleradores de partículas da *Organização Européia para a Pesquisa Nuclear* (CERN)⁽²⁾. O CERN surgiu após a II Guerra Mundial em virtude da necessidade da Europa realizar, de forma independente, pesquisa na área de física de altas energias. Fundado em 1953, com a participação de 12 países, em 1954, o *Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire* (CERN) foi reorganizado, ampliado e alterado para *Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire* mas conservou o acrônimo do Conselho, CERN. Atualmente dezenas de países e instituições participam dos experimentos do CERN.

Curiosidade: CERN é o acrônimo para o antigo *Conseil Européen pour*

la Recherche Nucléaire. Hoje a instituição é chamada de *Organization for Nuclear Research*, mas o acrônimo CERN foi preservado.



Vista aérea da região onde está localizado o LHC.

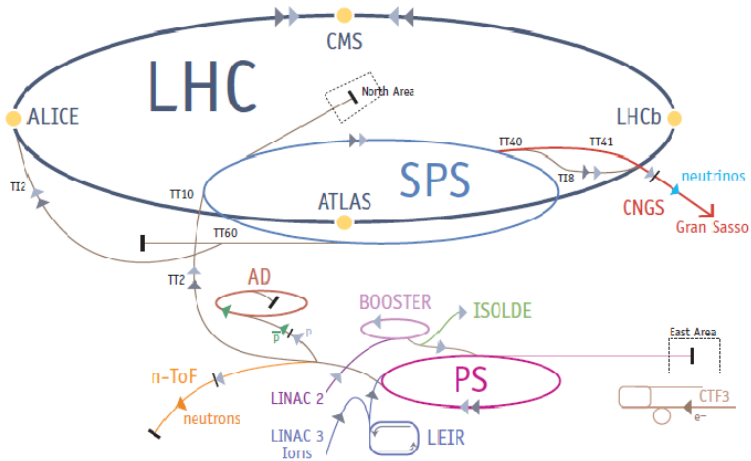
Fonte: <http://www.scielo.br/img/revistas/rbef/v35n2/21f03.jpg>.

Desde sua criação, o CERN desenvolve pesquisa de alta tecnologia e complexidade. Destacam-se descobertas que contribuíram para o desenvolvimento de teorias que explicam momentos após o surgimento do Universo e as partículas e interações fundamentais da natureza. Em consequência, surgiram algumas colaborações para a sociedade, como avanços na área de física médica e do protocolo para internet *World Wide Web*, o 'www'. Vários prêmios Nobel estão associados às experiências do CERN, incluindo o de 2013, atribuído a Peter Higgs e François Englert, pela previsão da existência do bóson de *Higgs*, que foi confirmada nos experimentos do LHC.

O complexo de aceleradores do CERN é uma sucessão de máquinas capazes de fornecer às partículas energias cada vez maiores. Átomos de hidrogênio são retirados a partir de um frasco, têm seu único elétron removido, acelerados em um acelerador linear (LINAC2) e injetados no impulsor (*booster*) do síncrotron de prótons (PS, de *proton sincrotron*). A partir daí, cada máquina injeta o feixe para o próximo, que traz o feixe para um nível ainda mais elevado de energia, e assim por diante. No LHC (o último elemento

dessa cadeia), cada feixe de prótons (se forem núcleos mais pesados a energia é maior)é acelerado até a energia recorde de 7 TeV.

Além disso, a maioria dos outros aceleradores da cadeia tem os seus próprios corredores experimentais, onde os feixes são utilizados para experiências com energias mais baixas.



Complexo de aceleradores do CERN.

Fonte: <https://cds.cern.ch/record/1092437/files/CERN-Brochure-2008-001-Eng.pdf>.

A tabela abaixo mostra a relação entre a energia cinética e a velocidade de um próton nas máquinas do CERN.

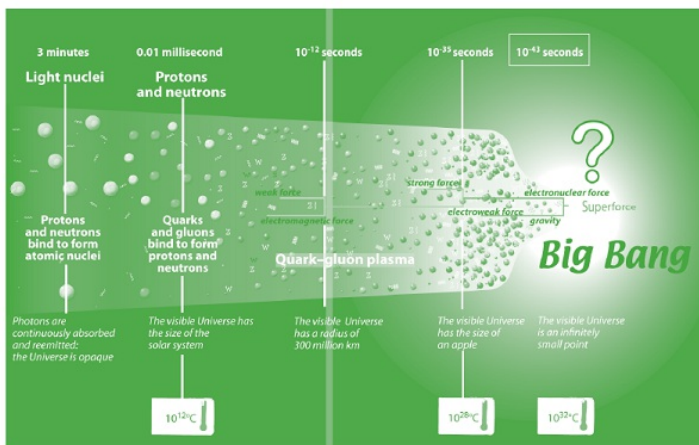
Energia cinética de um próton	Velocidade em relação à da luz)	Acelerador
50 MeV	31,4 %	LINAC 2
1.4 GeV	91,6 %	PS Booster
25 GeV	99,93 %	PS
450 GeV	99,9998 %	SPS
7 TeV	99,9999991 %	LHC

A energia que os feixes atingem é um parâmetro importante, pois define a quantidade e os tipos de partículas criadas após as colisões.

Em física de partículas, a unidade em que são expressos os valores de

energia é o elétron-volt (eV) e seus múltiplos. Por definição, um elétron-volt é a quantidade de energia cinética ganha por um único elétron quando acelerado por uma diferença de potencial elétrico de um volt, no vácuo. Equivale a $1,602 \times 10^{-19}$ joules.

Devido à grande concentração de energia, as colisões provocadas no LHC atingem temperaturas de aproximadamente 10^{16} °C, cerca de um milhão de vezes mais quente que o núcleo do Sol, recriando em laboratório situação similar a de 10^{-12} segundos após o *Big Bang*.



Os três primeiros minutos do Universo.

Fonte: <https://cds.cern.ch/record/1092437/files/CERN-Brochure-2008-001-Eng.pdf>.

Observar a natureza em situação tão extrema significa estudar a estrutura da matéria em dimensões inferiores ao tamanho dos prótons, equivalente a dimensões menores que 10^{-18} m, ou seja, 0,0000000000000000001 m. Compreende-se que neste mundo do muito, mas muito pequeno, existem partículas que compõe a matéria, que formam uma espécie de estrutura fundamental de partículas elementares e interações fundamentais.

É fácil perceber que as quantidades (de energia, partículas etc.) com as quais se trabalha com esta máquina de produzir matéria são um pouco atípicos. Pode-se escrevê-las de maneiras distintas. Utilizando potências de dez ou letras que significam um fator de dez pelo qual o número deve ser multiplicado.

Por exemplo, para escrever o tamanho dos constituintes do núcleo atômico, os nucleons (prótons e nêutrons), é necessário um pouco de persistência (devido ao grande número de casas decimais): 0,000000000000001 m. A tarefa torna-se mais simples quando escrevemos 10^{-15} m ou ainda, 1 fm.

Prefixo	Símbolo	Potência	Decimal
yotta	Y	10^{24}	1000000000000000000000000
zetta	Z	10^{21}	100000000000000000000000
exa	E	10^{18}	100000000000000000000000
peta	P	10^{15}	100000000000000000000000
tera	T	10^{12}	100000000000000000000000
giga	G	10^9	1000000000
mega	M	10^6	1000000
quilo	k	10^3	1000
		10^0	1
mili	m	10^{-3}	0,001
micro	μ	10^{-6}	0,000001
nano	n	10^{-9}	0,000000001
pico	p	10^{-12}	0,000000000001
femto	f	10^{-15}	0,000000000000001
atto	a	10^{-18}	0,000000000000000001
zepto	z	10^{-21}	0,00000000000000000001
yocto	y	10^{-24}	0,0000000000000000000001

Relação entre prefixo, potência de dez e decimal equivalentes

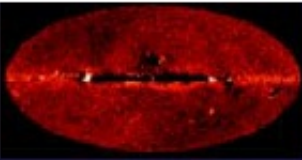

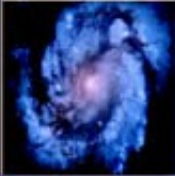



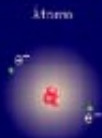



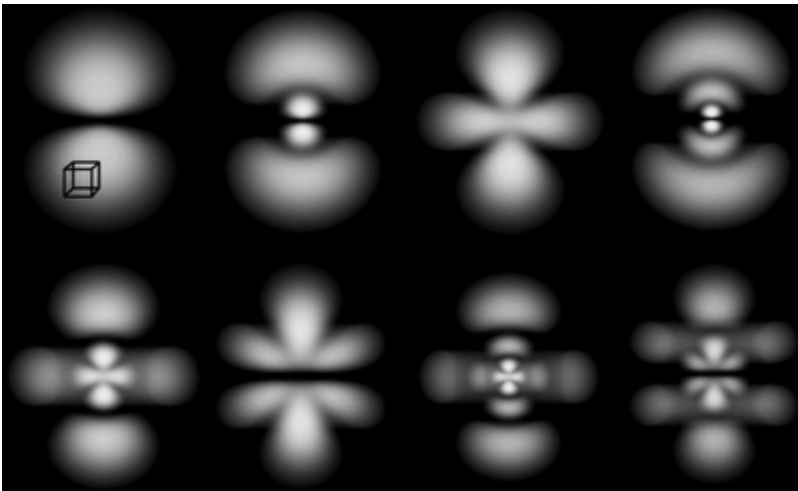
10^{26}	Universo	
10^{22}	Aglomerado de galáxias	
10^{19}	Galáxia típica	
10^{12}	Sistema planetário	
1	Ser humano	
10^{-8}	Molécula	 
10^{-10}	Átomo	
10^{-14}	Núcleo	 
10^{-15}	Próton	
10^{-18}	Quarks Leptons	

Tabela sobre o tamanho das coisas, em metros.
 Fonte: <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol2/Num1/particulas.pdf>.

O *Modelo Padrão* é um conjunto de teorias que incorpora toda a nossa compreensão atual sobre partículas elementares e forças fundamentais. Alicerçada e estruturada em modelos matemáticos e evidências experimentais, a teoria apresenta que o Universo é constituído de partículas elementares (quarks e léptons) que constituem toda matéria.

Três quarks unidos pela ação da partícula mediadora da força nuclear forte (glúon), que é um tipo de interação (força) fundamental, formam prótons e nêutrons (nucleons) que ficam confinados em uma pequena região, constituindo o núcleo atômico. Elétrons, que são um tipo de lépton, interagem com o núcleo atômico e assim constituem o que chamamos de átomo. Átomos ligados formam moléculas, que formam outras estruturas maiores.

É impossível enxergar um átomo: o núcleo tem tamanho de aproximadamente 10^{-15} m e os elétrons movimentam-se em torno do núcleo em uma região de 10^{-10} m. Devido ao princípio da incerteza, é impossível determinar a trajetória dos elétrons, porém é possível determinar a distribuição de probabilidades de se encontrar o elétron em um átomo.



Possível representação de alguns orbitais atômicos.

Fonte: <http://www.ciencia-explicada.com/2009/09/1a-no-primera-fotografia-del-atomo-y.html>

Essas distribuições também são chamadas de *orbitais atômicos*. A figura acima mostra uma representação para diferentes estados do único elétron de um átomo de hidrogênio. Um conjunto de *números quânticos* relacionado à

energia, momento angular orbital e momento angular intrínseco (*spin*) define as propriedades dos orbitais.

As partículas elementares e subatômicas se distinguem, interagem e são classificadas de acordo com algumas características que possuem, como massa de repouso, spin e carga elétrica.

Símbolo e nome	Massa de repouso (MeV/c ²)	Carga elétrica
u up	~ 5	2/3
d down	~ 10	-1/3
c charm	1500	2/3
s strange	~150	-1/3
t top	~ 174000	2/3
b bottom	~ 4700	-1/3

Tabela de quarks.

<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol2/Num1/particulas.pdf>

Atualmente as evidências indicam que existem 6 quarks que recebem o nome de up (*u*), down (*d*), charm (*c*), strange (*s*), top(*t*) e botton (*b*). Os quarks up e down são quarks de primeira geração responsáveis pela formação da matéria. Dois quarks up (*u*) e um quark down (*d*) unidos pela força nuclear forte formam um próton (*uud*) e dois quarks down (*d*) e um quark up (*u*) unidos, formam um nêutron (*udd*). Supõe-se que estas partículas fundamentais tenham surgido instantes após o *Big Bang*.

Cada um destes 6 tipos de quarks podem possuir uma característica chamada de cor, existem 3 cores possíveis. Assim, para cada um dos 6 tipos de quarks, existem 3 possibilidade de cores, totalizando um total de 18 diferentes partículas fundamentais do tipo 'quark'.

Existe para cada tipo de quark, um tipo de antipartícula que possui mesma massa da partícula e algumas características opostas, como carga elétrica. Quarks ou antiquarks nunca foram detectados sozinhos na natureza, unidos pela força nuclear forte, formam hádrons, que são partículas com estrutura interna e tamanho de 10^{-15} metros. Prótons e nêutrons são exemplos de hádrons. A palavra *hádron* tem origem no grego 'hadros', que significa forte, robusto.

Símbolo e nome	Massa de repouso (MeV/c ²)	Carga elétrica
ν_e neutrino do elétron	~ 0	0
e elétron	0,511	-1
ν_μ neutrino do múon	~ 0	0
μ múon	107	-1
ν_τ neutrino do tau	< 70	0
τ tau	1777	-1

Tabela de léptons.

<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol2/Num1/particulas.pdf>

Léptons constituem outra família de partículas elementares. A palavra *lépton* se origina no grego 'leptos', que significa delgado, fino, leve. Assim como os quarks, a família dos léptons também é composta por 6 integrantes: o elétron (e), o múon (μ), o tau (t) e três neutrinos (neutrino do elétron, neutrino do múon e neutrino do tau). Léptons não possuem a característica de cor, portando além dos seis léptons, existem também apenas um grupo de 6 antipartículas associadas a cada um dos léptons, com mesma massa, porém com algumas características contrárias, como a carga elétrica, por exemplo. Assim, somando os 6 léptons e cada antipartícula correspondente, tem-se 12 partículas fundamentais nesta família. Então temos 36 quarks, somados aos 12 léptons, totalizando 48 partículas fundamentais.

Estas partículas interagem através da troca de partículas de outra classe, chamadas de partículas de interação, e transmitem momento de uma partícula a outra. Estas interações fundamentais recebem o nome de gravitacional, eletromagnética, nuclear fraca e nuclear forte. São classificadas de acordo com características da partícula (fonte) que estão interagindo.

Interação	Bóson mediador	Fonte
Forte	Glúon	Carga cor
Eletromagnética	Fóton	Carga elétrica
Fraca	$W^- / W^+ / Z^0$	Carga fraca
Gravitacional	Gráviton	Massa

A interação tem um alcance infinito e em escalas atômicas é a mais fraca das quatro interações fundamentais, a sua intensidade relativa é da ordem de 10^{-39} vezes menor que a interação nuclear forte. Ocorre devido a troca de grávitons e atua de forma atrativa em todas as partículas que possuem massa.

PARTÍCULAS MEDIADORAS Bósons

Interação Eletrofraca			Interação Forte								
Simbolo	Massa de repouso (MeV/c ²)	Carga elétrica	Simbolo e nome	Massa de repouso (MeV/c ²)	Carga elétrica						
γ fóton	0	0	g glúon	0	0						
W^-	~ 80220	-1	Interação Gravitacional <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #000080; color: white;"> <th>Nome</th> <th>Massa de repouso (MeV/c²)</th> <th>Carga elétrica</th> </tr> </thead> <tbody> <tr style="background-color: #FFDAB9;"> <td>Gráviton </td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>			Nome	Massa de repouso (MeV/c ²)	Carga elétrica	Gráviton	0	0
Nome	Massa de repouso (MeV/c ²)	Carga elétrica									
Gráviton	0	0									
W^+	~ 80220	+1									
Z^0	~ 91187	0									

Interação Eletromagnética

➔

Interação Eletrofraca

Interação Fraca

➔

Interação Eletrofraca

Fonte: <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol2/Num1/particulas.pdf>.

Fótons são as partículas mediadoras na interação eletromagnética, que

ocorre devido à propriedade da carga elétrica. Elétrons, por exemplo, interagem com outros elétrons devido a esta propriedade. Esta interação tem um alcance infinito e a intensidade relativa, em relação a interação nuclear forte, é de $1/137$, ou seja, $1/137$ vezes menor que a força (interação) nuclear forte.

A interação nuclear forte é a força responsável pela aglutinação dos quarks confinados nos prótons e nêutrons dentro do núcleo, atua sobre uma propriedade chamada carga cor. Seu alcance é de 10^{-15} m e em nível subatômico é a maior de todas as forças, por isso sua intensidade é tomada como referência. As partículas responsáveis pela interação são chamadas de glúons.

A interação nuclear fraca possui um alcance curtíssimo, da ordem de 10^{-18} m. A intensidade da força nuclear fraca é de aproximadamente 10^{-12} em relação a força nuclear forte e atua sobre alguns léptons e hádrons devido a propriedade da carga fraca. As partículas trocadas são conhecidas como bósons Z^0 , W^+ e W^- . O entendimento que as interações eletromagnética e nuclear fraca possuem a mesma origem deu início a teoria eletrofraca.

As interações entre partículas ocorrem através da ação de partículas mediadoras e de acordo com características das partículas (mediadoras e mediadas), associadas a leis de conservação.

HÁDRONS					
BÁRIONS					Férmions
Exemplos de alguns Bárions e Antibárions					
Símbolo	Nome	Composição (Quarks)	Massa de repouso (MeV/c ²)	Carga elétrica	Spin
n	nêutron	dđđ	940	0	1/2
\bar{n}	antinêutron	$\bar{d}\bar{d}\bar{u}$	940	0	1/2
p	próton	đuu	938	+1	1/2
\bar{p}	antipróton	$\bar{d}\bar{u}\bar{u}$	938	-1	1/2
Ω^-	ômega menos	sss	1672	-1	3/2
$\bar{\Omega}^+$	anti-ômega menos	$\bar{s}\bar{s}\bar{s}$	1672	+1	3/2

Tabela de bárions.

Fonte: <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol2/Num1/particulas.pdf>

A carga elétrica é uma propriedade fundamental da matéria. O princípio da conservação da carga elétrica afirma que a quantidade de carga elétrica se conserva em um sistema. A quantidade de carga elétrica é quantizada. Existe um valor mínimo para essa quantidade que é $e = 1,602 \times 10^{-19}$ coulomb, e todas as outras quantidades desta grandeza observadas na natureza são múltiplos inteiros deste valor e , podendo assumir valores positivos e negativos (positivo para prótons e negativo para elétrons, por exemplo).

Quarks possuem carga elétrica fracionária, $(2/3)e$ ou $-(1/3)e$, mas quark isolados nunca foram observados na natureza. As partículas que formam o próton são dois quarks up (u), cada um tem carga elétrica $(2/3)e$ e um quark down (d), com carga elétrica de $-(1/3)e$. A soma dos valores das cargas elétricas das partículas que constituem o próton (uud) é $(2/3)e + (2/3)e + (-1/3)e = +1e$. Este resultado é o valor da carga elétrica de um próton. Assim, a carga elétrica de um próton é $e = 1,6 \times 10^{-16}$ C (coulomb).

HÁDRONS					
MÉSONS					Bósons
Exemplos de alguns Mésons e Antimésons					
Símbolo	Nome	Composição (Quarks)	Massa de repouso (MeV/c ²)	Carga elétrica	Spin
π^+	pi mais	$u\bar{d}$	140	+1	0
π^-	pi menos	$d\bar{u}$	140	-1	0
K^+	K mais	$u\bar{s}$	494	+1	0
K^-	K menos	$s\bar{u}$	494	-1	0
ρ^+	rho mais	$u\bar{d}$	770	+1	1
ρ^-	rho menos	$d\bar{u}$	770	-1	1

Tabela de mésons

Fonte: <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol2/Num1/particulas.pdf>

O princípio da conservação da energia, entre vários outros fatores, está relacionado à massa de repouso das partículas. Por exemplo, a massa somada dos três quarks que formam o próton é de apenas 1 % da massa do próton. A energia cinética dos quarks e à energia de ligação dos quarks que o compõe.

Pela teoria da relatividade, existe uma equivalência entre massa e energia ($E = mc^2$). Por este motivo, a massa é medida em unidades de energia, onde $1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$ e $1 \text{ MeV}/c^2 = 1,78 \times 10^{-30} \text{ kg}$.

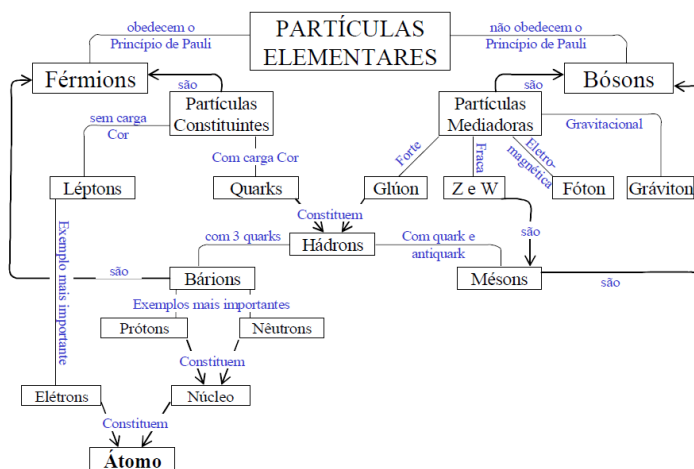
Em função de características comuns é possível dividir as partículas compostas por quarks em dois grupos distintos: bárions e mésons.

O *spin* (do termo em inglês "girar") geralmente é associado as partículas subatômicas como prótons, elétrons e alguns núcleos atômicos quando imersos em um campo magnético. Porém, esta descrição associada ao "giro" de uma partícula carregada não é adequada para explicar partículas que possuem carga elétrica nula, como os nêutrons, por exemplo. Assim é mais conveniente encarar o spin como apenas mais um número quântico.

O princípio da exclusão de Pauli explica muitas das propriedades características da matéria, desde sua estabilidade até as regularidades expressas

na tabela periódica. É um princípio da mecânica quântica e afirma que dois férmions idênticos não podem ocupar simultaneamente o mesmo estado quântico.

Férmions são descritos por funções de onda antissimétrica, "obedecem" ao princípio da exclusão de Pauli, possuem spin semi-inteiro ($1/2$, $3/2$, $5/2$ etc). São exemplos de férmions: prótons, nêutrons, elétrons, quarks, neutrinos e alguns átomos. Um exemplo é que elétrons em um átomo não podem possuir números quânticos idênticos, se os valores dos números quânticos principal, de momento angular e magnético forem idênticos, implica que dois elétrons não poderão ter o mesmo número quântico de spin.



Mapa conceitual sobre partículas elementares.

Fonte: <http://www.if.ufrgs.br/mpef/Hipermidias/Mutzenberg/arq/tr00.pdf>

Um sistema formado por partículas idênticas com spin inteiro (0, 1, 2,...) é descrito por uma função de onda simétrica, estas partículas são chamadas bósons (pois obedecem a estatística de Bose-Einstein) e ao contrário dos férmions, elas podem partilhar um mesmo estado quântico. São exemplos de bósons o fóton e os bósons W e Z .



Fonte de prótons do complexo de aceleradores do CERN. A garrafa vermelha contém hidrogênio, conectada ao duoplasmatron.

Fonte: <http://home.cern/about/accelerators/proton-synchrotron-booster>.

Os experimentos realizados no LHC começam numa garrafinha de hidrogênio. Uma máquina chamada Duoplasma provoca uma descarga elétrica e extrai o único elétron dos átomos de hidrogênio, e assim resta apenas o núcleo dos átomos, um próton.

Estes prótons são injetados no *Linear accelerator 2* (LINAC2), o único acelerador linear de todo o complexo. O LINAC2 utiliza cavidades de radiofrequência para carregar condutores cilíndricos e através deste campo elétrico acelerar os prótons que são mantidos em feixes por imãs de quadrupolo magnético. Ao final do corredor do LINAC2 cada próton carrega energia de 50 MeV e tem seu valor de massa aumentado em 5%, atingindo a velocidade equivalente a pouco mais de 30% da velocidade da luz no vácuo (com essa velocidade, correções relativísticas já começam a ser necessárias).



O LINAC2

Fonte: <http://fisicanaveia.blogosfera.uol.com.br/2015/06/03/o-lhc-esta-de-volta>.

Assim as partículas são preparadas para entrar no *Proton Synchrotron Booster* (PS Booster), o próximo passo da cadeia de aceleradores do CERN.

O PS Booster é o primeiro de uma sucessão de aceleradores circulares. É composto por quatro anéis sobrepostos que recebem feixes de prótons a partir do LINAC2 e os aceleram para 1,4 GeV para injeção no *Proton Synchrotron* (PS).



direito: *Proton Synchrotron Booster (PS Booster)*

Fonte: <http://home.cern/about/accelerators/protonsynchrotron-booster>.

Antes do início do funcionamento do PS Booster, em 1972, os prótons eram injetados diretamente a partir do LINAC2 para o PS, onde eram acelerados a 26 GeV. A energia de injeção (do LINAC2) de 50 MeV limitava o número de prótons do PS poderia aceitar.

O PS Booster permite ao PS aceitar um número de 100 vezes mais prótons, o que aumenta consideravelmente o uso dos feixes nos experimentos.



Proton Synchrotron

Fonte: <http://home.cern/about/accelerators/proton-synchrotron>.

O *Proton Synchrotron* (PS) é um componente chave do CERN, onde normalmente acelera tanto prótons provenientes do *PS Booster* ou íons pesados do *Low Energy Ion Ring* (LEIR). No curso de sua história, tem explorado muitos tipos diferentes de partículas, com experimentos ligados diretamente a ele ou alimentando aceleradores maiores.

O PS iniciou suas atividades em 1959, acelerando prótons e tornando-se por um breve período o acelerador de partículas de maior energia no mundo. O PS foi o primeiro acelerador de partículas circular do CERN. Foi o principal acelerador de partículas da instituição até a década de 1970, quando foram construídas novas e maiores. Após isso, o principal do PS tornou-se a fornecer partículas com as novas máquinas. Ao longo dos anos, tem sofrido muitas modificações e a intensidade de seu feixe de prótons aumentou em mil vezes. Com uma circunferência de 628 metros, o PS tem 277 eletroímãs convencionais (em temperatura ambiente), incluindo 100 dipolos para dobrar os feixes ao redor do anel. O acelerador funciona a até 25 GeV. Além de prótons, ele acelerou partículas alfa (núcleos de hélio), núcleos de oxigênio e enxofre, elétrons, pósitrons e antiprótons.



Super Proton Synchrotron (SPS).

Fonte: <http://home.cern/about/accelerators/super-proton-synchrotron>.

O *Super Proton Synchrotron* (SPS) é a segunda maior máquina no complexo de aceleradores do CERN. Medindo cerca de 7 km de circunferência, é alimentado por partículas provenientes do PS e as acelera para fornecer feixes de partículas para o LHC e para outros experimentos.

Ligado em 1976, as pesquisa usando SPS sondaram a estrutura interna de prótons, investigaram a preferência da natureza para a matéria sobre a antimatéria, olharam para a matéria em situação similar aos primeiros instantes do universo e procuraram formas exóticas de matéria. Um grande destaque veio em 1983 com a detecção das partículas W e Z , com o SPS funcionando como um acelerador de prótons e antiprótons.

O SPS opera com partículas com energia de até 450 GeV. Tem 1317 eletroímãs convencionais (em temperatura ambiente), incluindo 744 dipolos para curvar os feixes ao redor do anel. O acelerador tem lidado com muitos tipos diferentes de partículas: núcleos de enxofre e oxigênio, elétrons, pósitrons, prótons e antiprótons.

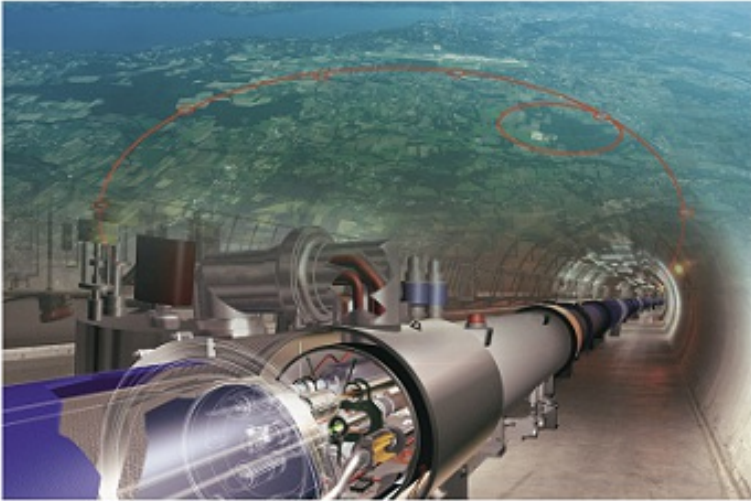
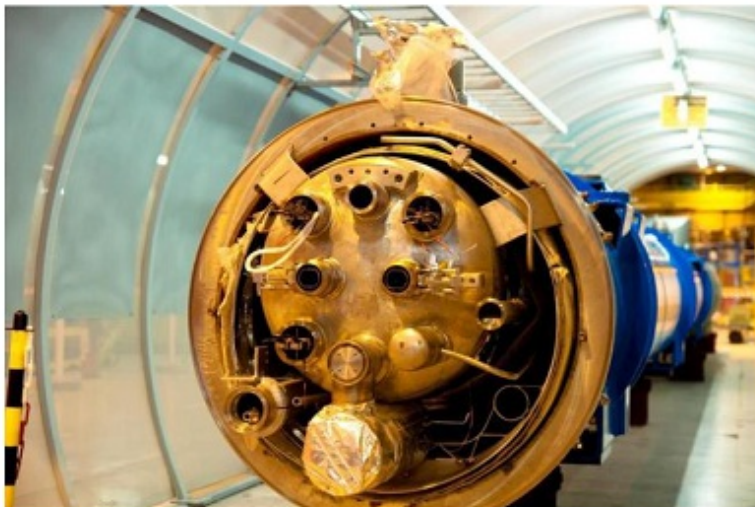


Foto do túnel do LHC parcialmente sobreposta a uma foto aérea da superfície.
Fonte:<http://cms.web.cern.ch>.

O LHC começou a funcionar em 2008. É o maior e mais poderoso acelerador de partículas já construído pelo homem. Consiste de um anel de 27 km repleto de ímãs supercondutores que orientam o feixe de prótons para percorrer a trajetória quase circular, com uma série de estruturas de aceleração para aumentar a energia das partículas ao longo do caminho.

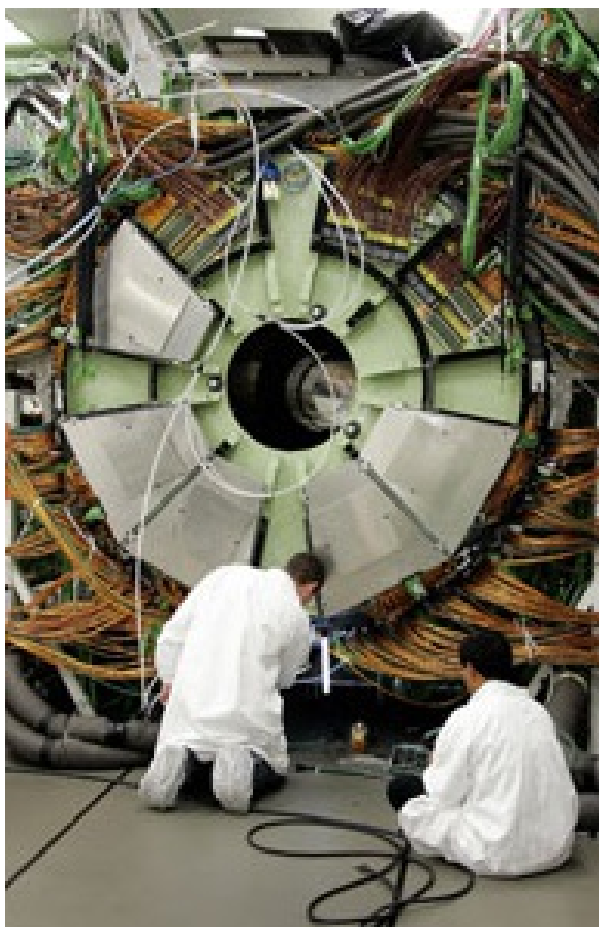
Dentro do acelerador, dois grupos de feixes de partículas viajam em uma velocidade próxima à da luz. Os feixes viajam em direções opostas em tubos de feixes separados mantidos a ultra-alto vácuo. Eles são guiados em torno do anel acelerador por um forte campo magnético mantido por eletroímãs supercondutores.



Dutos do LHC.

Fonte: <http://zh.clicrbs.com.br/rs/noticias/planeta-ciencia/noticia/2013/09/diarios-do-cern-1-um-detector-tao-pesadoquanto-a-torre-eiffel-4255185.html>

Os eletroímãs são construídos a partir de bobinas de cabo elétrico especial que opera em um estado supercondutor, de forma a conduzir eletricidade sem resistência ou perda de energia. Isso requer refrigeração os ímãs para $-271,3$ °C – uma temperatura mais fria do que a do espaço exterior. Por esta razão, muito do acelerador está ligado a um sistema de distribuição de hélio líquido, o qual arrefece os magnetos.



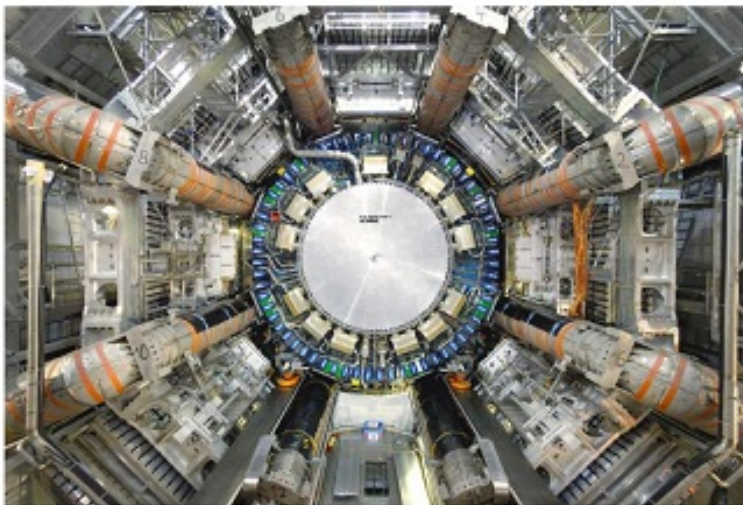
Engenheiros instalam ímãs no LHC.

<http://ciencia.hsw.uol.com.br/grande-colisor-de-hadrons.htm>

Milhares de ímãs de diferentes variedades e tamanhos são usados para direcionar os feixes ao redor do acelerador. Estes incluem 1232 ímãs dipolares de 15 metros de comprimento, que faz os feixes se manter em órbita, e 392 ímãs de quadrupolo magnético, cada um com 5 a 7 metros de comprimento, que concentram os feixes. Pouco antes da colisão, outro tipo de ímã é usado para "espremer" as partículas e deixá-las mais juntas para aumentar as chances de colisões. As partículas são tão pequenas que a tarefa de fazê-las colidir é semelhante a disparar duas agulhas a 10 quilômetros de distância e fazê-las se encontrar no caminho.

A estrutura no interior do LHC é feita para que as colisões ocorram em

quatro locais específicos ao redor do anel do acelerador, o que corresponde às posições dos quatro detectores de partículas – ATLAS, CMS, Alice e LHCb.

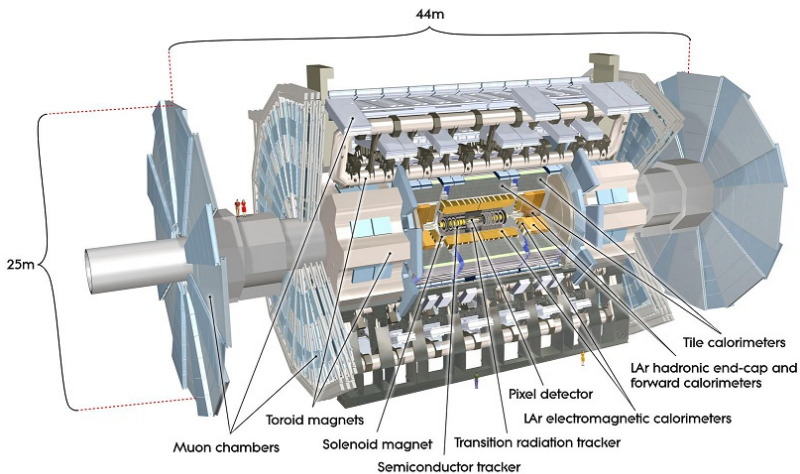


Detector ATLAS.

Fonte: <http://home.cern/about/experiments/atlas>.

O ATLAS é um dos dois detectores com função geral no LHC. Ele investiga uma ampla gama da física, da pesquisa sobre o bóson de Higgs à sobre dimensões extras e matéria escura.

Feixes de partículas do LHC colidem no centro do detector ATLAS, gerando detritos da colisão sob a forma de partículas novas, que voam para todas as direções, a partir do ponto de colisão. Seis subsistemas de detecção diferentes estão dispostos em camadas ao redor do ponto de colisão para gravar os caminhos, momento e energia das partículas, permitindo que eles sejam identificados individualmente. Um enorme sistema magnético curva o caminho das partículas carregadas para que seus momentos possam ser medidos.

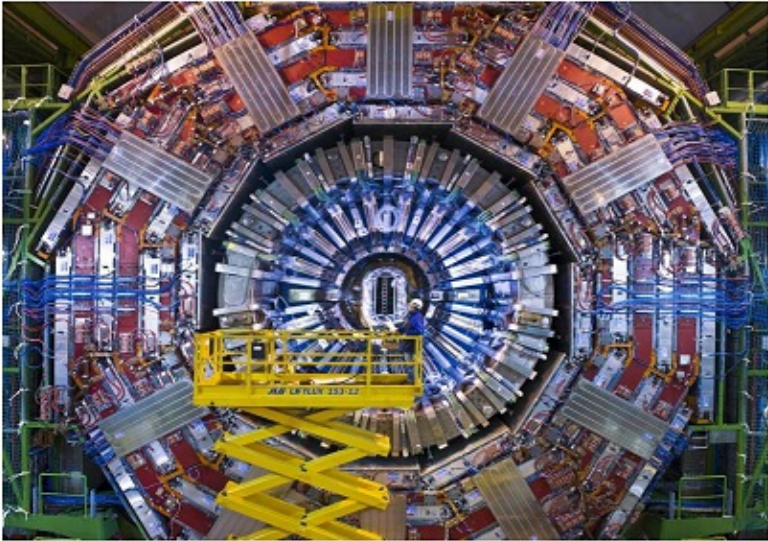


O detector ATLAS e seus elementos.

<http://www.atlas.ch/photos/full-detector-cgi.html>.

As interações nos detectores do ATLAS criam um enorme fluxo de dados. Para processar estes dados, o ATLAS utiliza um avançado sistema de "gatilho" para dizer ao detector quais eventos gravar e quais ignorar. É utilizado um complexo sistema de computação e aquisição de dados para analisar os acontecimentos registrados nas colisões.

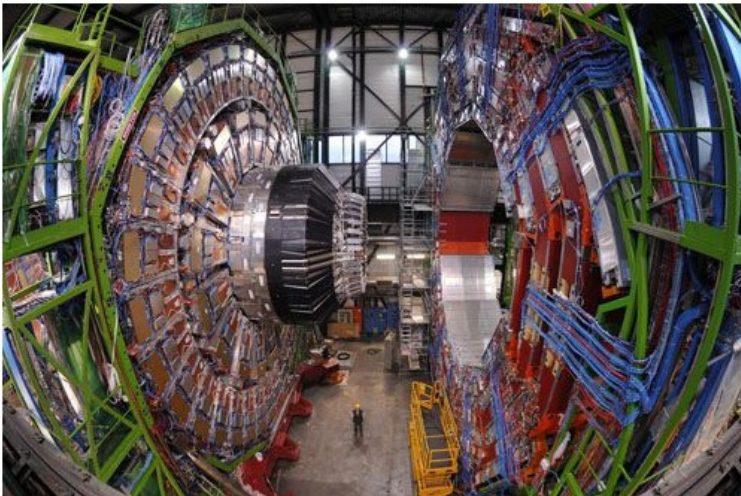
Com 7.000 mil toneladas, 46 m de comprimento, 25 m de altura e 25 m de largura, o detector ATLAS é o maior (em tamanho) detector de partículas já construído. Localiza-se em uma caverna a 100 m abaixo do solo, nas proximidades da sede do CERN, perto de Meyrin, na Suíça. Mais de 3.000 cientistas de 174 institutos em 38 países trabalham na experiência ATLAS (dados de fevereiro de 2012).



Vista frontal do *Compact Muon Solenoid* (CMS)

Fonte: <http://home.cern/about/experiments/cms>.

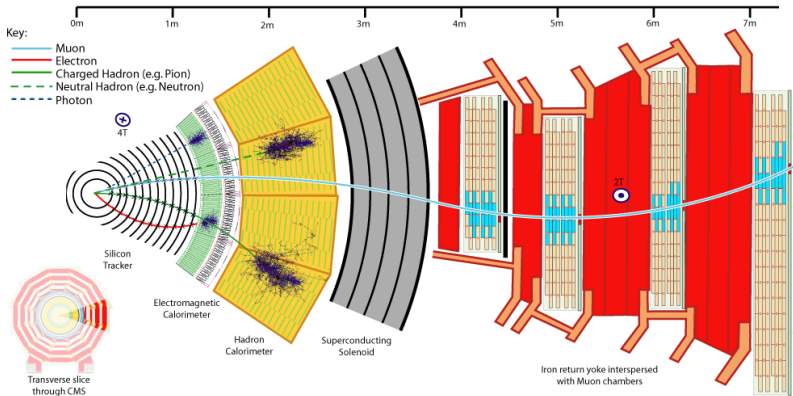
O *Compact Muon Solenoid* (CMS) é um detector de uso geral no LHC. Ele opera em uma ampla variedade de estudos, que vai desde o estudo do Modelo Padrão (incluindo o bóson de Higgs) até a busca de dimensões extras e partículas que poderiam tornar-se matéria escura. Embora tenha os mesmos objetivos científicos que o experimento ATLAS, ele usa diferentes soluções técnicas e um design diferente do sistema de imãs.



Vista lateral do *Compact Muon Solenoid* (CMS)

Fonte: <http://cms.web.cern.ch/news/what-cms>.

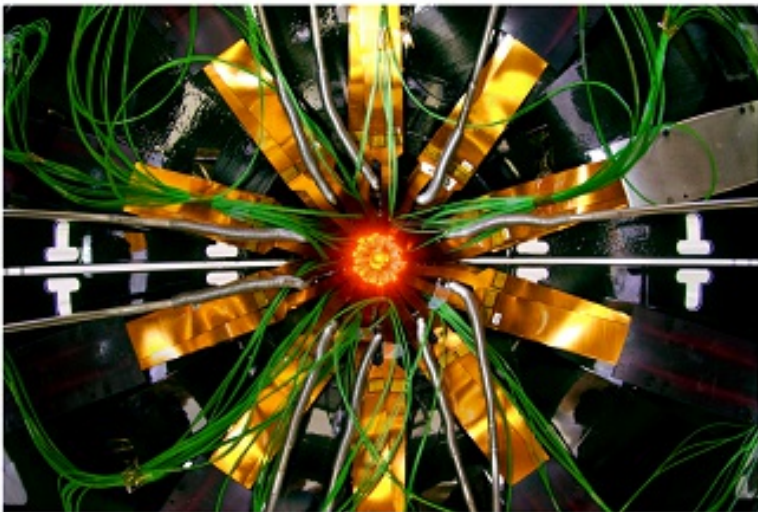
O detector CMS utiliza um enorme ímã tipo solenoide, na forma de uma bobina cilíndrica de cabos supercondutores que gera um campo de 4 Tesla, cerca de 100.000 vezes o campo magnético da Terra. Este campo magnético está confinado por uma liga metálica, que forma a maior parte do peso de 14.000 toneladas do detector. Localizado em uma caverna subterrânea, perto de Cessy, na França, o detector completo tem 21 metros de comprimento, 15 metros de largura e 15 metros de altura. O CMS é uma das maiores colaborações científicas internacionais na história, envolvendo 4.300 físicos de partículas, engenheiros, técnicos, estudantes e pessoal de apoio de 182 institutos em 42 países (dados de fevereiro de 2014).



O CMS e seus elementos de detecção.

Fonte: <https://cms-docdb.cern.ch/cgi-bin/PublicDocDB/ShowDocument?docid=4172>

ALICE (A Large Ion Collider Experiment) é um detector de íons pesados no LHC. Ele é projetado para estudar a física da matéria interagindo fortemente em densidades de energia extremas, em uma fase da matéria na formas de um plasma de quarks e glúons, um estado da matéria que se pensa ter existido logo após o *Big Bang*.



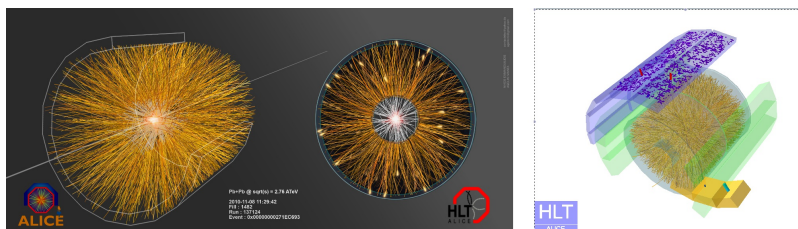
Vista frontal do *A Large Ion Collider Experiment (ALICE)*.

Fonte: <http://home.cern/about/experiments/alice>

A matéria comum no universo de hoje é essencialmente composta de

átomos. Cada átomo contém um núcleo composto de prótons e nêutrons (exceto hidrogênio, que não tem nêutrons), cercado por uma nuvem de elétrons. Prótons e nêutrons são, por sua vez, feitos de quarks unidos por outras partículas chamadas glúons. Os quarks, assim como os glúons, parecem estar ligados permanentemente e confinado dentro de partículas compostas, tais como prótons e nêutrons. Isto é conhecido como confinamento.

As colisões no LHC podem gerar temperaturas com valores de 100.000 vezes mais quentes que o centro do Sol. Durante um período do ano, o LHC fornece colisões entre íons de chumbo, recriando condições laboratoriais semelhantes aos primeiros instantes após o *Big Bang*. Sob estas condições extremas, prótons e nêutrons "derretem", liberando os quarks de seus vínculos com os glúons. Este é o plasma de quarks e glúons. A existência de tal fase e suas propriedades são questões fundamentais na teoria da cromodinâmica quântica (QCD), para a compreensão do fenômeno de confinamento e por um problema de física chamado de restauração da simetria quiral. A colaboração ALICE estuda como o plasma de quarks e glúons se expande e esfria, observando como progressivamente dá origem às partículas que constituem a matéria do nosso universo de hoje. Essas colisões produzem um número sem precedentes de partículas, atingindo o número de milhares por colisão. A figura abaixo e a esquerda representa um dos primeiros eventos registrados pelo experimento ALICE (colisões entre íons de chumbo), a uma energia de centro de massa de 2.76 TeV por par de nucleons. Estes eventos são reconstruídos computacionalmente e a figura mostra faixas do sistema de rastreamento interno e a projeção da câmara de uma parte do experimento. A imagem abaixo e a direita mostra, além dos rastros deixados pelas partículas, a deposição de energia nos calorímetros eletromagnéticos de ALICE.



Trajetórias de partículas geradas em colisões de íons de chumbo detectadas pelo experimento.

Fonte: <http://aliceinfo.cern.ch/Public/en/Chapter1/fstablebeams.html>.

O detector ALICE tem 10.000 toneladas, 26 m de comprimento, 16 m de

altura e 16 m de largura. Fica localizado em uma caverna 56 m abaixo do solo perto da vila de St Genis-Pouilly na França, recebendo feixes do LHC. A colaboração conta com mais de 1.000 cientistas de mais de 100 institutos de física de 30 países.

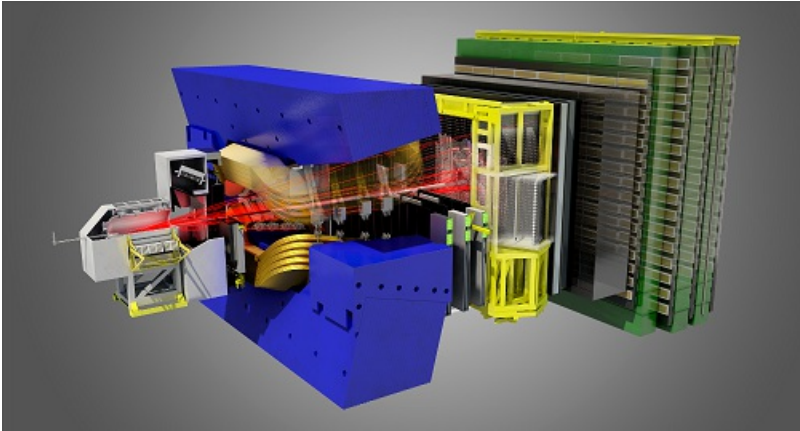


o *Large Hadron Collider beauty* (LHCb)

Fonte: <http://home.cern/about/experiments/lhcb>.

O experimento *Large Hadron Collider beauty* (LHCb) é especializado em investigar as pequenas diferenças entre matéria e antimatéria, estudando em detalhes o quark bottom (*b*), também chamado de *beauty*.

Ao invés de ser fechado em torno do ponto de colisão, como ATLAS e CMS, o experimento LHCb usa uma série de subdetetores para detetar partículas, principalmente, para a frente do ponto de colisão. O primeiro subdetetor está montado perto do ponto de colisão, com os outros seguindo um atrás do outro ao longo de um comprimento de 20 metros.



Representação de evento detetado pelo experimento CMS, referente ao boson de Higgs.

Fonte: http://www.sbfisica.org.br/v1/index.php?option=com_content&view=article&id=408.

Uma abundância de diferentes tipos de quarks são criados pelo LHC antes de decair rapidamente em outras formas. Para detetar os quarks b , o LHCb desenvolveu sofisticados detetores de traços móveis perto do caminho dos feixes que circulam no LHC. O detetor LHCb tem 5.600 toneladas, 21 metros de comprimento, 10 metros de altura e 13 metros de largura, e fica a 100 metros abaixo do solo perto da aldeia de Ferney-Voltaire, França. Cerca de 700 cientistas de 66 institutos e universidades diferentes compõem a colaboração LHCb (Outubro de 2013).

Física de partículas na escola: um jogo educacional

Material de apoio

BIBLIOGRAFIA

1. ALMEIDA, F. B. **Prefixos do Sistema Internacional de Unidades**. Disponível em: <http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/prefixos-sistema-internacional-unidades.htm>. Acesso em: 23/03/2016.
2. BLANCO, J. L. **La NO primera fotografia del átomo y sus electrones**. Ciencia Explicada (set. 2009). Disponível em: <http://www.ciencia-explicada.com/2009/09/la-no-primera-fotografia-del-atomo-y.html>. Acesso em: 23/03/2016.
3. BRAZ, D. **O LHC está de volta**. Blog Física na veia (jun 2015). Disponível em: <http://fisicanaveia.blogosfera.uol.com.br/2015/06/03/o-lhc-esta-de-volta/>. Acesso em: 23/03/2016.
4. **CERN Control Center (CCC)**. Disponível em: <http://www.lhc-facts.ch/index.php?page=kontrolle>. Acesso em: 23/03/2016.
5. CMS PUBLIC WEBSITE. Disponível em: <http://cms.web.cern.ch/>. Acesso em: 23/03/2016.
6. **Diários do Cern #1: um detetor tão pesado quanto a Torre Eiffel**. Disponível em: <http://zh.clicrbs.com.br/rs/noticias/planeta-ciencia/noticia/2013/09/diarios-do-cern-1-um-detector-tao-pesado-quanto-a-torre-eiffel-4255185.html#>. Acesso em: 23/03/2016.
7. **First collisions of lead ions on 08.11.2010**. Disponível em: <http://aliceinfo.cern.ch/Public/en/Chapter1/fstablebeams.html>. Acesso

em: 23/03/2016.

8. Interactive Slice of the CMS detector. Disponível em: <https://cms-docdb.cern.ch/cgi-bin/PublicDocDB/ShowDocument?docid=4172>. Acesso em: 23/03/2016.
9. NOGUEIRA, S. **LHC identifica provável bóson de Higgs**. Disponível em: http://www.sbfisica.org.br/v1/index.php?option=com_content&view=article&id=408. Acesso em: 23/03/2016.
10. O'LUANAIGH, C. **ALICE**: detects quark-gluon plasma, a state of matter thought to have formed just after the big bang. Disponível em: <http://home.cern/about/experiments/alice>. Acesso em: 23/03/2016.
11. O'LUANAIGH, C. **ATLAS**: From a cavern 100 metres below a small Swiss village, the 7000-tonne ATLAS detector is probing for fundamental particles. Disponível em: <http://home.cern/about/experiments/atlas>. Acesso em: 23/03/2016.
12. O'LUANAIGH, C. **CMS**: The CMS detector uses a huge solenoid magnet to bend the paths of particles from collisions in the LHC. Disponível em: <http://home.cern/about/experiments/cms>. Acesso em: 23/03/2016.
13. O'LUANAIGH, C. **LHCb**: The LHCb experiment will shed light on why we live in a universe that appears to be composed almost entirely of matter, but no antimatter. Disponível em: <http://home.cern/about/experiments/lhcb>. Acesso em: 23/03/2016.
14. O'LUANAIGH, C. **The Large Hadron Collider**. Disponível em: <http://home.cern/topics/large-hadron-collider>. Acesso em: 23/03/2016.
15. O'LUANAIGH, C. **The Proton Synchrotron**. Disponível em: <http://home.cern/about/accelerators/proton-synchrotron>. Acesso em: 23/03/2016.
16. ORGANIZAÇÃO EUROPÉIA PARA PESQUISA NUCLEAR - CERN. **LHC Frequently Asked Questions**. Geneva: CERN, 2015. Disponível em: <http://cds.cern.ch/record/1092437/files/CERN-Brochure-2008-001-Eng.pdf>. Acesso em: 27/11/2015.

17. WIKIPÉDIA. **Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear**, disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Organiza%C3%A7%C3%A3o_Europeia_para_a_Pesquisa_Nuclear, acesso em 23/03/2016.
18. OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. H. **Um Pôster para ensinar Física de Partículas na escola**. Física na Escola, v. 2, n. 1 (2001). Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol2/Num1/particulas.pdf>. Acesso em: 23/03/2016.
19. Sias, D. B., et al. **Introdução à Física de Partículas**. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/mpef/Hipermidias/Mutzenberg/arq/tr00.pdf>. Acesso em: 23/03/2016.
20. SCHOPPER, A. **The LHCb Upgrade**. Disponível em: <http://ph-news.web.cern.ch/content/lhcb-upgrade>. Acesso em: 23/03/2016.
21. STRICKLAND, J. **Como funciona o Grande Colisor de Hádrons**. Disponível em: <http://ciencia.hsw.uol.com.br/grande-colisor-de-hadrons.htm>. Acesso em: 23/03/2016.
22. TIPLER, P. A.; LLEWELLYN, R. A. **Física Moderna**. 5 ed. Rio de Janeiro. Editora: LTC Editora, 2001.

APÊNDICE B. Cartas-pergunta

1

A velocidade da luz no vácuo é

(a) igual à velocidade do som no vácuo

(b) infinita

(c) a maior velocidade possível

2

A expressão $E = mc^2$ significa que

(a) a força elétrica é igual à massa vezes a aceleração ao quadrado

(b) energia e massa são manifestações da mesma coisa

(c) massas andando à velocidade da luz transformam-se em energia

3

Prótons e nêutrons são

(a) partículas elementares

(b) as menores partículas conhecidas

(c) constituintes do núcleo atômico

4

Segundo o Modelo Padrão, para cada partícula elementar há uma antipartícula correspondente com mesma massa mas com sinais contrários de carga elétrica, do número de estranheza e do número bariônico. A antipartícula do elétron é o

(a) próton

(b) neutrino

(c) pósitron

5

Observe a tabela abaixo e escolha qual acelerador do CERN é capaz de proporcionar velocidades mais próximas da velocidade da luz.

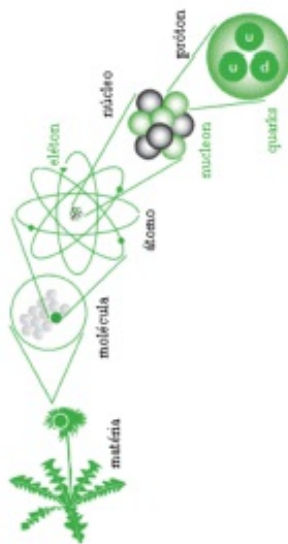
Velocidade(%c)	Acelerador
31,4	LINAC 2
91,6	PS Booster
99,93	PS
99,9998	SPS
99,9999991	LHC

(a) LINAC 2 (Linear Accelerator 2)

(b) SPS (Super Proton Synchrotron)

(c) LHC (Large Hadron Collider)

6



Os valores que melhor representam o tamanho de átomos, núcleos atômicos e quarks são, respectivamente:

(a) 10^{-10} m, 10^{-14} m e 10^{-19} m.(b) 10^1 m, 10^2 m e 10^8 m.

(c) 1 m, 2 m e 3 m.

7

Observe as seguintes tabelas de interações e de fontes de interações.

A) Forte	1) Massa
B) Eletromagnética	2) Carga fraca
C) Fraca	3) Carga de cor
D) Gravitacional	4) Carga elétrica

Qual alternativa abaixo associa corretamente as interações e suas respectivas fontes de interação das duas tabelas?

(a) A-1 B-3 C-2 D-4

(b) A-2 B-1 C-4 D-3

(c) A-3 B-4 C-2 D-1

8

As partículas que interagem através da interação forte são chamadas de hádrons (do grego hadros, que significa pesado, robusto). Sabendo que os nucleons (como são chamados genericamente os prótons e nêutrons) são hádrons, qual o tipo de interação que prevalece na formação destas partículas?

(a) gravitacional

(b) forte

(c) eletromagnética

9

De acordo com o modelo Padrão, todos os hádrons são compostos de partículas menores que podem ser realmente consideradas partículas elementares, estas partículas são

(a) quarks

(b) elétrons

(c) léptons

10

Segundo o modelo padrão, os léptons são o elétron, o múon, o táu e os três tipos diferentes de neutrinos associados a essas três partículas (o neutrino do elétron, o neutrino do tau e o neutrino do muon). Cada um desses seis léptons possui uma antipartícula. Desse modo, o número total das partículas elementares classificadas como léptons é

(a) 6

(b) 3

(c) 12

11

O quark up (u) tem carga elétrica $q_u = 2/3 e$ e o quark down (d) tem carga elétrica $q_d = -1/3 e$, onde e é a unidade de carga elementar ($e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$). Se um nêutron é composto de três quarks e tem carga elétrica $q_n = 0 e$, qual das alternativas representa corretamente sua composição?

(a) uud

(b) ddu

(c) ddd

12

O quark up (u) tem carga elétrica $q_u = 2/3 e$ e o quark down (d) tem carga elétrica $q_d = -1/3 e$, onde e é a unidade de carga elementar ($e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$). Se um próton é composto de três quarks e tem carga elétrica $q_p = 1 e$, qual das alternativas representa corretamente sua composição?

(a) uud

(b) ddu

(c) ddd

13

A tabela abaixo ilustra algumas das principais características das interações fundamentais.

interação	bóson mediador	fonte
forte	glúon	carga cor
eletromagnética	fóton	carga elétrica
fraca	$W^- / W^+ / Z^0$	carga fraca
gravitacional	gráviton	massa

As partículas mediadoras das interações são chamadas de:

(a) léptons

(b) quarks

(c) bósons

14

Em um acelerador, partículas circulam em um tubo de vácuo e são manipuladas utilizando dispositivos eletromagnéticos. O feixe de partículas é acelerado e mantido com energia constante por

(a) motores a combustão

(b) campos gravitacionais

(c) ressonadores eletromagnéticos

15

A tabela abaixo ilustra algumas das principais características das interações fundamentais.

interação	bóson mediador	fonte
forte	glúon	carga cor
eletromagnética	fóton	carga elétrica
fraca	$W^- / W^+ / Z^0$	carga fraca
gravitacional	gráviton	massa

A interação eletromagnética é mediada pelas partículas chamadas de:

(a) glúons

(b) fótons

(c) W^- , W^+ e Z^0

16

A tabela abaixo ilustra algumas das principais características das interações fundamentais.

interação	bóson mediador	fonte
forte	glúon	carga cor
eletromagnética	fóton	carga elétrica
fraca	$W^- / W^+ / Z^0$	carga fraca
gravitacional	gráviton	massa

A interação forte é mediada pelas partículas chamadas de:

(a) glúons

(b) fótons

(c) W^- , W^+ e Z^0

A tabela abaixo ilustra algumas das principais características das interações fundamentais.

interação	bóson mediador	fonte
forte	glúon	carga cor
eletromagnética	fóton	carga elétrica
fraca	$W^- / W^+ / Z^0$	carga fraca
gravitacional	gráviton	massa

A interação fraca é mediada pelas partículas chamadas de:

(a) glúons

(b) fótons

(c) W^- , W^+ e Z^0

A tabela abaixo ilustra algumas das principais características das interações fundamentais.

interação	fonte	alcance (m)
forte	carga cor	10^{-5}
eletromagnética	carga elétrica	∞
fraca	carga fraca	10^{-18}
gravitacional	massa	∞

Dessas interações, quais predominam nos núcleos atômicos?

(a) forte e fraca

(b) eletromagnética e gravitacional

(c) fraca e gravitacional

A tabela abaixo ilustra algumas das principais características das interações fundamentais.

interação	fonte	alcance (m)
forte	carga cor	10^{-5}
eletromagnética	carga elétrica	∞
fraca	carga fraca	10^{-18}
gravitacional	massa	∞

Dessas interações quasi possuem alcance infinito?

(a) forte e fraca

(b) eletromagnética e gravitacional

(c) fraca e gravitacional

(a) forte

(b) eletromagnética

(c) fraca

A tabela abaixo ilustra algumas das principais características das interações fundamentais.

interação	bóson mediador	constante de acoplamento
forte	glúon	~ 1
eletromagnética	fóton	$1/137$
fraca	$W^- / W^+ / Z^0$	10^{-5}
gravitacional	gráviton	10^{-38}

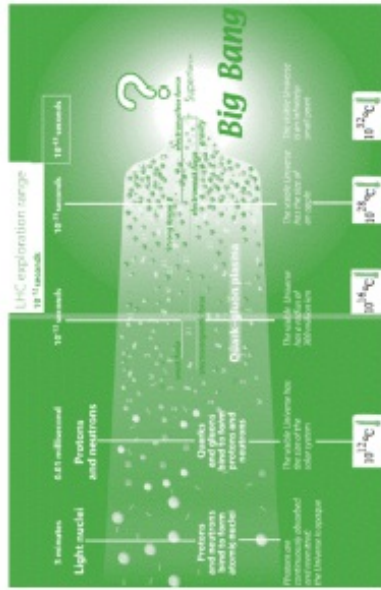
Quando os físicos mencionam as “forças” das interações, estão se referindo aos valores relativos das constantes de acoplamento. Sob este ponto de vista, em qual interação a força é relativamente mais intensa?

(a) forte

(b) eletromagnética

(c) fraca

21



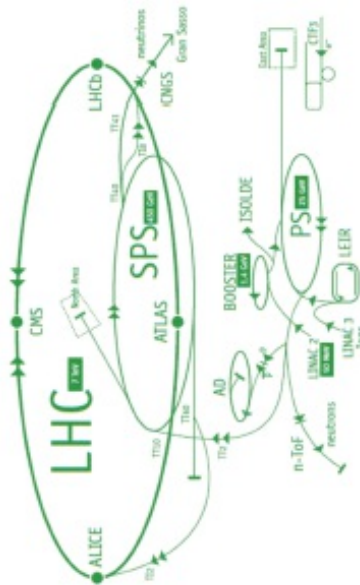
A imagem representa algumas características dos primeiros 3 minutos do Universo e a faixa de exploração do LHC (Large Hadron Collider).

(a) a temperatura do universo diminui com o tempo.

(b) a temperatura do universo aumenta com o tempo.

(c) a temperatura do universo permanece constante com o tempo.

22



O complexo de aceleradores da Organização Europeia para Pesquisa Nuclear, o CERN, é uma sucessão de máquinas capazes de fornecer cada vez mais energia ao feixe de partículas. O acelerador capaz de operar com maior energia é

(a) Linac 2 (Linear accelerator 2)

(b) SPS (The Super Proton Synchrotron)

(c) LHC (Large Hadron Collider)

23

O acrônimo LHC, em português, significa Grande Colisor de Hádrons. *Grande* devido ao seu tamanho (cerca de 27 km de circunferência), *hádrans* porque acelera prótons, que são hádrons, e *colisor* porque estas partículas formam dois feixes que viajam em sentidos opostos e colidem. São exemplos de hádrons:

(a) elétrons

(b) prótons

(c) bósons

24

Radiação synchrotron é o nome dado à radiação que ocorre

(a) durante as explosões em bombas atômicas

(b) devido à emissão de energia do Sol

(c) quando partículas carregadas são aceleradas num percurso curvo

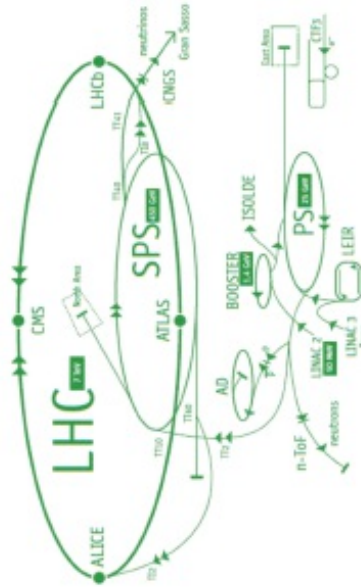
25



O acelerador de partículas LHC é uma máquina de circunferência de 27 km. Fica localizado a uma profundidade média de 100 m, sob a fronteira entre a França e a Suíça. Um bom motivo para optar-se por construir a máquina em um túnel e não na superfície é que

- (a) a crosta da Terra proporciona uma boa blindagem para a radiação emitida durante o funcionamento do LHC.
- (b) evita a espionagem científica.
- (c) evita a interferência da luminosidade solar.

26



No CERN, prótons são obtidos a partir de átomos de hidrogênio e são injetados no complexo de aceleradores circulares a partir do acelerador linear Linac 2 (Linear accelerator 2) com energia de até

- (a) 50 MeV
- (b) 25 GeV
- (c) 7 TeV

27



O acelerador de partículas LHC é uma máquina de circunferência de 27 km. Hádrons são acelerados podendo chegar a energias de até 7 TeV para colidirem com outros hádrons de mesma energia, porém deslocando-se em sentido contrário. A energia total das colisões pode chegar a

- (a) 100 MeV
 (b) 50 MeV
 (c) 14 TeV

28



O acelerador de partículas LHC é uma máquina de circunferência de 27 km. Fica localizado a uma profundidade média de 100 m, sob a fronteira entre a França e a Suíça. No LHC hádrons são acelerados a energias de até 7 TeV. Este valor de energia corresponde a

- (a) 7×10^{12} eV
 (b) 7×10^9 eV
 (c) 7×10^6 eV

Cada próton que é acelerado no LHC terá uma energia de 7 eV. Em termos absolutos, estas energias, se compararmos às energias que lidamos todos os dias, não são impressionantes – a energia de um mosquito voando é da ordem de 1 TeV. Sob este aspecto, o fato que faz tão especiais os experimentos do LHC, do ponto de vista da física, é que

- (a) a concentração de energia, que fica localizada em um espaço um milhão de milhões de vezes menor que o tamanho de um mosquito.
- (b) os experimentos realizados têm energia comparada à energia de um mosquito em pleno voo.
- (c) os experimentos realizados têm energia equivalente à energia de 7 mosquitos em pleno voo

Um dos principais objetivos do LHC é melhorar nossa compreensão do Universo. Para isso são realizados experimentos para investigar a teoria física (e seus limites) chamada de

- (a) Modelo Padrão
- (b) Gravidade Newtoniana
- (c) Mecânica Clássica

31

A notação genérica para antipartículas consiste em escrever o símbolo da partícula correspondente e acrescentar uma barra superior. Uma notação adequada para representar a antipartícula do elétron, o pósitron, é:

32

A notação genérica para antipartículas consiste em escrever o símbolo da partícula correspondente e acrescentar uma barra superior. Uma notação adequada para representar a antipartícula do próton, é:

33

Em 1979, Glashow, Salam e Weinberg receberam o prêmio Nobel de Física pela criação da teoria eletrofraca, que unificou as teorias da interação

(a) forte e gravitacional

(b) gravitacional e eletrostática

(c) eletrostática e fraca

34

Qual das alternativas mostra os prefixos corretamente ordenados em ordem crescente?

(a) nano-micro-mili-kilo-mega-giga-tera

(b) tera-micro-mili-kilo-mega-nano-giga

(c) mili-micro-tera-nano-kilo-mega-giga

35

Observe as seguintes tabelas de números expressos por extenso (esquerda) e como prefixos (direita):

A) 0.001	1) (nenhum)
B) 1	2) M (mega)
C) 1000	3) m (mili)
D) 1000000	4) k (kilo)

Qual alternativa abaixo associa corretamente os valores das duas tabelas?

(a) A-1 B-2 C-3 D-4

(b) A-3 B-1 C-4 D-2

(c) A-2 B-1 C-4 D-3

36

Observe a seguinte tabela de números expressos por extenso (esquerda) e como prefixos (direita):

A) 10^{-3}	1) (nenhum)
B) 1	2) M (mega)
C) 10^3	3) m (mili)
D) 10^6	4) k (kilo)

Qual alternativa abaixo associa corretamente os valores das duas tabelas?

(a) A-1 B-2 C-3 D-4

(b) A-3 B-1 C-4 D-2

(c) A-2 B-1 C-4 D-3

37

De acordo com a teoria do mecanismo de Higgs, todo o espaço é preenchido por um "campo de Higgs" e, ao interagirem com este campo, as partículas adquirem suas massas. Partículas que interagem intensamente com este campo são pesadas, enquanto aquelas com interação menor são leves. A partícula associada a este campo é o

(a) bóson de Higgs

(b) fóton

(c) píon

38

Em um acelerador, partículas circulam em um tubo de vácuo e são manipulados utilizando dispositivos

(a) mecânicos

(b) eletromagnéticos

(c) gravitacionais

39

Em um acelerador, partículas circulam em um tubo de vácuo e são manipulados utilizando dispositivos eletromagnéticos. As partículas são mantidas em suas órbitas por

(a) ímãs dipolares

(b) motores a combustão

(c) campo gravitacional

40

Em um acelerador, partículas circulam em um tubo de vácuo e são manipulados utilizando dispositivos eletromagnéticos. Os feixes de partículas são mantidos focalizados por

(a) motores a combustão

(b) ímãs quadrupolares

(c) campo gravitacional

41

No LHC, as partículas deslocam-se em dutos com vácuo extremo, a uma pressão de 10^{-13} atm. Este vácuo extremo é necessário para

(a) simular um comportamento equivalente ao da atmosfera

(b) evitar colisões com moléculas de gás

(c) empacotar as partículas

42

No LHC, ímãs de quadrupolo são ímãs especiais utilizados para focalizar os feixes de partículas para o menor tamanho possível pois

(a) assim há menor resistência do ar

(b) aumenta a quantidade de partículas

(c) maximiza a possibilidade de colisão frontal entre dois prótons

43

Ernest Rutherford, em 1911, analisando dados experimentais obtidos por Geiger e Marsden, sobre o espalhamento Coulombiano de partículas α (núcleos de hélio) por finas folhas de ouro, propôs pela primeira vez a existência do(a):

(a) núcleo atômico

(b) elétron

(c) bóson

44

Em 1932, James Chadwick fez uma importante contribuição para a ciência e por isso recebeu o prêmio Nobel de 1935. Esta importante contribuição foi a descoberta do(a):

(a) átomo

(b) nêutron

(c) eletricidade

45

Qual a interação (força) que consegue manter os prótons e os nêutrons confinados no núcleo?

(a) eletromagnética

(b) gravitacional

(c) nuclear forte

46

Em física de partículas, o termo nucleon designa genericamente:

(a) um próton ou nêutron

(b) um elétron ou próton

(c) um nêutron ou elétron

47

Apesar dos inegáveis avanços na compreensão dos fenômenos nucleares, há muitas dificuldades para se chegar a uma descrição teórica dos núcleos atômicos. Neste sentido, a comunidade científica elabora descrições aproximadas, que são modelos matemáticos dos fenômenos nucleares. Tais modelos matemáticos são apropriados na medida em que

- (a) o público geral consegue compreendê-los
- (b) conseguem reproduzir satisfatoriamente ou não os dados experimentais e/ou prever propriedades e fenômenos novos.
- (c) é possível representá-los através de desenhos

48

Grande número das propriedades e processos nucleares dependem da energia total ou da energia por partícula. A física nuclear tradicional lida com fenômenos nucleares em que a energia por partícula é relativamente baixa (até cerca de 20 MeV/nucleon). Nesta faixa de energia ela é conhecida por

- (a) física nuclear relativística
- (b) física nuclear a energias intermediárias
- (c) física nuclear a baixas energias

Grande número das propriedades e processos nucleares dependem da energia total ou da energia por partícula. Nos fenômenos com energia superior a 400 MeV/nucleon os efeitos relativísticos não podem ser desprezados e são objetos de pesquisa da

(a) física nuclear a altas energias ou física nuclear relativística

(b) física nuclear a energias intermediárias

(c) física nuclear a baixas energias

Em física nuclear e em várias áreas da física moderna, as unidades de energia mais convenientes são o elétron-volt (eV) e seus múltiplos. A tabela relaciona os múltiplos do elétron-volt escritos com o uso de prefixos, com múltiplos escritos com o uso de potências de 10.

A) keV	1) 10^{12} eV
B) MeV	2) 10^9 eV
C) GeV	3) 10^6 eV
D) TeV	4) 10^3 eV

Qual das alternativas abaixo associa corretamente as duas representações?

(a) A-1 B-3 C-2 D-4

(b) A-4 B-3 C-2 D-1

(c) A-3 B-4 C-2 D-1

51

Em física nuclear, a unidade de comprimento mais apropriada é o *fermi*, que corresponde a

(a) 10^{-3} m

(b) 10^3 m

(c) 10^{-15} m

52

Prótons e nêutrons são constituintes do núcleo atômico. A diferença de massa, a favor do nêutron, é apenas 1,2933 MeV, cerca de 0,1 % da massa de cada um deles. Outra diferenciação importante entre eles é o fato de que:

(a) prótons possuem carga elétrica negativa e nêutrons possuem carga elétrica positiva.

(b) prótons possuem carga elétrica positiva e nêutrons possuem carga elétrica negativa.

(c) prótons possuem carga elétrica positiva e nêutrons não possuem carga elétrica.

53

A Cromodinâmica Quântica (QCD) é uma teoria que descreve os hádrons (entre eles os nucleons). O ingrediente básico da teoria é o fato de que os hádrons apresentam uma subestrutura. Cada hádron é formado por um certo número de partículas elementares, os quarks. Foram atribuídos aos quarks dois números quânticos, batizados muito pitorescamente de:

(a) sabor e cor

(b) up e down

(c) right e left

54

São atribuídos aos quarks dois números quânticos: sabor e cor. Há quarks de seis sabores: u , c , t , d , s , b , e são três as cores: vermelho, verde e azul. Desse modo, existem três quarks de sabor u , três de sabor c e assim sucessivamente. Tem-se, portanto, uma família de:

(a) 18 quarks diferentes

(b) 12 quarks diferentes

(c) 6 quarks diferentes

55

A Terra é continuamente bombardeada por partículas vindas do espaço sideral. Tais partículas (hádrons, neutrinos, gamas etc.) chegam à atmosfera terrestre em geral com grande energia e podem colidir violentamente com núcleos da atmosfera. Tais partículas são denominadas:

(a) raios cósmicos

(b) raios catódicos

(c) raios supersônicos

56

O fenômeno das marés no oceano, devido à influência da Lua (e, em menor escala, do Sol) é bem conhecido. O solo também está sujeito à atração lunar porque as rochas que o compõem são elásticas. Na Lua nova e na Lua cheia, a crosta da Terra sobe cerca de 25 cm na região de Genebra, devido à maré terrestre. Este movimento provoca uma variação de 1 mm na circunferência do LHC, equivalente, levando a

(a) uma variação equivalente 50% do diâmetro do LHC

(b) mudanças na energia do feixe, que obrigam os físicos a levar em conta a posição da Lua em suas medições.

(c) danos irreparáveis ao acelerador de partículas.

57

Os ímãs de dipolo utilizados no LHC, são feitos de nióbio-titânio (NbTi) e se tornam supercondutores a temperaturas abaixo de 10 K ($-263,2\text{ }^{\circ}\text{C}$). É necessário utilizar supercondutores para formação dos ímãs de dipolo pois:

- (a) supercondutores superconduzem o magnetismo
- (b) supercondutores não oferecem resistência elétrica e assim pode-se utilizar corrente elétrica elevada nos ímãs de dipolo
- (c) supercondutores não são sensíveis a criptônia

58

O LHC opera a 1,9 K ($-271,3\text{ }^{\circ}\text{C}$), que é uma temperatura

- (a) equivalente à temperatura média da Terra
- (b) ainda mais baixa do que a temperatura do espaço sideral (2,7 K ou $-270,5\text{ }^{\circ}\text{C}$).
- (c) próxima à temperatura média do Sol.

59

O LHC é o maior sistema criogênico do mundo e um dos lugares mais frios da Terra, funcionando a $1,9\text{ K}$ ($-271,3\text{ °C}$). Uma temperatura tão baixa é necessária para

- (a) resfriar os motores do LHC
- (b) resfriar o almoço dos físicos que operam o LHC
- (c) operar os ímãs e manter em curso o feixe de prótons

60

No LHC, prótons percorrem o anel em grupos bem definidos. Sob condições nominais de operação, cada feixe de prótons tem 2808 grupos, com cada grupo contendo cerca de 10^{11} prótons. Cada grupo é comprimido tanto quanto possível em torno dos pontos de interação para aumentar a probabilidade de uma colisão, são espremidos para cerca de $16\text{ }\mu\text{m}$. Este tamanho é próximo ao

- (a) diâmetro de uma bola de futebol
- (b) diâmetro de um átomo
- (c) diâmetro de um fio de cabelo

61

No LHC, prótons só são acelerados quando o campo elétrico oscilante na faixa de radiofrequência está na orientação correta quando as partículas passam através de

(a) um buraco negro

(b) um rádio a pilhas

(c) uma cavidade de aceleração

62

No LHC, quando os feixes de partículas se cruzam, há um máximo de cerca de 20 colisões entre 200 mil milhões de partículas. Os feixes se cruzam cerca de 30 milhões de vezes por segundo. Assim o LHC gera

(a) até 600 milhões de colisões por segundo

(b) um número infinito de colisões de partículas

(c) no máximo 20 colisões de partículas por segundo

63



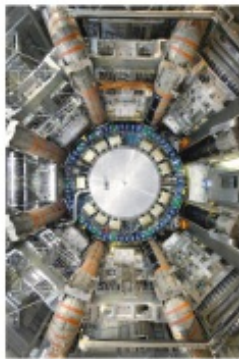
ALICE (*A Large Ion Collider Experiment*) é um detector especializado na análise de colisões entre íons de chumbo. Tem o objetivo de analisar as propriedades do plasma de quarks-glúons, um estado da matéria em que quarks e glúons, sob condições de altas temperaturas e densidades, já não estão confinados dentro de hádrons. Tal estado da matéria, provavelmente existia

(a) logo após o Big Bang, antes de partículas como prótons e nêutrons serem formadas

(b) na idade da pedra

(c) na idade média

64



ATLAS (*A Toroidal LHC Apparatus*) é um detector de uso geral, projetado para cobrir uma ampla gama da física no LHC. É o maior detector de colisões já construído, com a colaboração de 1900 membros de 164 institutos em 35 países (abril 2007). Os principais objetivos deste experimento são

(a) pesquisar o bóson de Higgs, a supersimetria e as dimensões extras do Universo

(b) pesquisar formas de vidas alienígenas

(c) pesquisar células tronco

65



CMS (*Compact Muon Solenoid*) é um detector de uso geral com os mesmos objetivos de física do detector ATLAS, mas de diferentes soluções técnicas e de design. É construído em torno de um enorme solenóide supercondutor, na forma de uma bobina cilíndrica de fios supercondutores, que irá gerar um campo magnético de 4 tesla, equivalente a cerca

(a) do dobro do campo magnético da Terra

(b) de 100.000 vezes o campo magnético da Terra

(c) da metade do campo magnético da Terra

66



O detector LHCb (*Large Hadron Collider beauty*) tem o objetivo de estudar a ligeira assimetria entre matéria e antimatéria presentes nas interações

(a) entre a Terra e a Lua

(b) partículas contendo o quark *b*

(c) entre corpos sem massa

67

No período que antecedeu as primeiras experiências no LHC, espalhou-se mundo afora a preocupação de que as colisões provocadas pelo acelerador de partículas teriam potencial para destruir a Terra. Depois de anos de funcionamento, observou-se que

(a) esta preocupação era justificada, devido aos danos ambientais causados pelas colisões ocorridas no LHC

(b) esta preocupação era injustificada, uma vez que as energias produzidas em suas colisões são ultrapassadas em muito por aquelas encontradas na natureza, como em alguns raios cósmicos

(c) de fato, o LHC provocou o surgimento de um buraco negro que engoliu a Terra

68

As colisões dos feixes de prótons são comumente associadas a um mini Big Bang pois

(a) criam novos universos

(b) é um nome bonito, por isso foi escolhido pelos cientistas

(c) a concentração de energia do feixe de prótons produz reproduz a densidade de energia que existia apenas alguns momentos após o Big Bang

69

Apesar dos feixes de prótons utilizados no LHC serem muito intensos, apenas 2 nanogramas de hidrogênio são acelerados a cada dia. Portanto, o LHC levaria cerca de

- (a) 1 dia para acelerar 1 grama de hidrogênio
- (b) 1 semana para acelerar 1 grama de hidrogênio
- (c) 1 milhão de anos para acelerar 1 grama de hidrogênio

70

Sobre o átomo, é correto afirmar que

- (a) é uma partícula indivisível
- (b) é a menor porção de matéria existente no Universo
- (c) é composto por prótons, nêutrons e elétrons

71

Embora os quarks individuais tenham cargas elétricas fracionárias, eles se combinam de tal maneira que os hádrons (como prótons e nêutrons) possuem cargas elétricas

(a) diferentes de zero

(b) fracionárias

(c) inteiras

72

equação: $\mu^- \rightarrow \nu_\mu + e^- + \bar{\nu}_e$

número de elétrons: 0 = 0 + 1 + -1

número de múons: 1 = 1 + 0 + 0

número de tau: 0 = 0 + 0 + 0

Fonte: <http://www.sprace.org.br/AventuraDasParticulas/index.html>

Um múon decai em um neutrino do múon, um elétron e um antineutrino do elétron. Observando a ilustração é possível perceber que os números de elétron, múon e tau são

(a) iguais

(b) se conservam, ou seja, são os mesmos antes e após o decaimento

(c) nulos

73

Neutrinos são um tipo de lépton. Como eles não têm carga forte nem carga elétrica, quase nunca interagem com outras partículas. A maioria dos neutrinos passa direto através da Terra sem interagir com um único átomo dela. Por isso, neutrinos

(a) são de difícil detecção

(b) nunca foram detectados

(c) foram as primeiras partículas elementares a serem detectadas

74

Quarks		u up	c charm	t top
		d down	s strange	b bottom
Leptons		ν_e e-Neutrino	ν_μ μ -Neutrino	ν_τ τ -Neutrino
		e elétron	μ muón	τ tau
		I II III		

A Geração da Matéria
Fonte: <http://www.aprince.org.br/AmericanaDASP/medicinal/>

Toda matéria visível no universo é feita da primeira geração de partículas de matéria. Prótons e nêutrons são constituídos de quarks da geração

(a) 3

(b) 2

(c) 1

75

Sabendo que A representa o número de nucleons de um sistema ligado (núcleo atômico), Z representa o número de prótons e N o número de nêutrons, é correto afirmar que:

(a) $A = Z - N$

(b) $A = Z + N$

(c) $A + Z + N = 0$

76

Denomina-se elemento químico um conjunto de átomos que têm o mesmo número de

(a) prótons em seu núcleo

(b) nêutrons em seu núcleo

(c) elétrons na eletrosfera

77

Uma espécie química eletricamente carregada resultante de um átomo ou molécula que perdeu ou ganhou elétrons é denominada de

(a) ímã

(b) quark

(c) íon

78

Um íon é uma espécie química eletricamente carregada que resulta de um átomo ou molécula que perdeu ou ganhou elétrons. Íons carregados negativamente são conhecidos como

(a) íons

(b) ânions

(c) cátions

Um íon é uma espécie química eletricamente carregada que resulta de um átomo ou molécula que perdeu ou ganhou elétrons. Íons carregados positivamente são conhecidos como

(a) cátions

(b) ânions

(c) íons

A força gravitacional se entre massas, tendo alcance infinito.

(a) Isso quer dizer que todas as partículas com massa estão sujeitas à força gravitacional

(b) Isso quer dizer que esta força pode ser atrativa se as partículas estiverem carregadas com cargas de mesmo sinal

(c) Isso quer dizer que esta força pode ser repulsiva se as partículas estiverem carregadas com cargas de sinais opostos

81

A força eletromagnética é a que aparece entre partículas carregadas, e portanto

- (a) todas as partículas estão sujeitas à força eletromagnética
- (b) pode ser atrativa se as cargas forem opostas, e repulsiva se as cargas forem de mesmo sinal
- (c) pode ser repulsiva se as cargas forem opostas, e atrativa se as cargas forem de mesmo sinal

82

A força nuclear forte é a força responsável pela aglutinação dos prótons e nêutrons. O seu alcance é pequeno, da ordem do tamanho do núcleo, isto é,

- (a) 10^{-3} m
- (b) 10^{-9} m
- (c) 10^{-15} m

83

A força nuclear fraca possui um alcance curtíssimo e ela atua sobre

(a) hádrons e léptons

(b) planetas e galaxias

(c) todas as partículas que existem

84

Isótopos são elementos com a mesma carga nuclear, ou seja, o mesmo número de

(a) prótons

(b) moléculas

(c) elétrons

85

Isóbaros são elementos com o mesmo número de

(a) massa

(b) elétrons

(c) moléculas

86

Isótonos são elementos com o mesmo número de

(a) nêutrons

(b) elétrons

(c) moléculas

87

Fora do campo científico, o CERN (Organização Europeia para Pesquisa Nuclear), teve uma grande contribuição para a comunicação, que foi a invenção

(a) do telégrafo

(b) do telefone

(c) da World Wide Web (WWW)

88

Devido ao grande número de dados e informações produzidas no CERN (Organização Europeia para Pesquisa Nuclear) e de colaboradores espalhados pelo mundo, no final da década de 1980 e início da década de 1990, foi inventada a

(a) WWW (World Wide Web)

(b) comunicação via rádio

(c) telefonia celular

Por não possuir uma estrutura interna, o elétron é considerado uma partícula elementar. Devido ao seu spin semi-inteiro, obedece a estatística de Fermi-Dirac e por isso é chamado de férmion. O elétron

(a) não possui massa

(b) possui carga elétrica negativa

(c) é repellido por prótons

Por não possuir uma estrutura interna, o elétron é considerado uma partícula elementar. Devido ao seu spin semi-inteiro, obedece a estatística de Fermi-Dirac e por isso é chamado de férmion. Quando presente em um átomo

(a) sofre interação eletromagnética, sendo atraído pelos prótons do núcleo

(b) a principal interação é a atração gravitacional, devido à enorme massa do núcleo atômico

(c) não interage com outras partículas constituintes do átomo

Na interação entre prótons e elétrons em um átomo, prevalece a interação eletromagnética em relação à interação gravitacional pois

- (a) essas partículas possuem massa muito pequena, sendo a força eletromagnética cerca de 10^{40} vezes maior que força gravitacional
- (b) a força gravitacional só age em planetas e galaxias
- (c) essas partículas não possuem massa e portanto não há força gravitacional agindo sobre elas

Peter W. Higgs e François Englert propuseram, de forma independente, em 1964, a teoria que explica como todas as outras partículas do chamado Modelo Padrão adquirem massa. Segundo a teoria, a massa seria gerada por um campo associado a uma partícula até então desconhecida, um bóson. Esta predição só foi confirmada em 2013 e o bóson descoberto leva o nome de

- (a) bóson de Englert
- (b) bóson de Newton
- (c) bóson de Higgs

93

Em 2013, foi detectado nos experimentos CMS e ATLAS do LHC, o bóson de Higgs, previsto por Peter W. Higgs e François Englert na década de 1960. Em virtude da detecção desta partícula, os dois cientistas foram homenageados com

(a) a Bola de Ouro de 2013

(b) o Oscar de melhor cientista de 2013

(c) o Premio Nobel de Física de 2013

94

A antipartícula de uma partícula possui características opostas dessa partícula, como a carga elétrica, o número leptónico e o número bariónico. Porém, duas características permanecem iguais, que são

(a) a massa e volume

(b) a massa e o spin

(c) a massa e a temperatura

95

A Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear (em francês: *Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire*), conhecida como CERN (*antigo acrônimo para Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire*) é o maior laboratório de

(a) biologia molecular do mundo

(b) física de partículas do mundo

(c) astronomia do mundo

96

A força eletromagnética é a que aparece entre partículas carregadas, e portanto

(a) atinge todas as partículas que tem massa

(b) ocorre entre partículas no núcleo atômico

(c) ocorre entre partículas com carga elétrica não nula

97

O acelerador de partículas LHC está localizado sobre a fronteira entre

(a) a França e a Suíça

(b) a França e a Inglaterra

(c) a Alemanha e a Inglaterra

98

Em 1905 o físico alemão Albert Einstein explicou o efeito fotoelétrico usando a hipótese de que a luz é formada por pacotes de energia que mais tarde receberam o nome de

(a) elétrons

(b) prótons

(c) fótons

O fóton também é conhecido como

(a) quantum de gravidade

(b) quantum de aceleração

(c) quantum de luz

Além das quatro leis de conservação clássicas (massa-energia, carga elétrica, momento linear e momento angular), outras leis de conservação permitiram dar sentido ao que acontece no mundo das partículas elementares. Um exemplo é a conservação da

(a) velocidade

(b) volume

(c) estranheza

APÊNDICE C. Respostas às cartas-pergunta

1	c	26	a	51	c	76	a
2	b	27	c	52	c	77	c
3	c	28	a	53	a	78	b
4	c	29	a	54	a	79	a
5	c	30	a	55	a	80	a
6	a	31	a	56	b	81	b
7	c	32	b	57	b	82	c
8	b	33	c	58	b	83	a
9	a	34	a	59	c	84	a
10	c	35	b	60	c	85	a
11	b	36	b	61	c	86	a
12	a	37	a	62	a	87	c
13	c	38	b	63	a	88	a
14	c	39	a	64	a	89	b
15	b	40	b	65	b	90	a
16	a	41	b	66	b	91	a
17	c	42	c	67	b	92	c
18	a	43	a	68	c	93	c
19	b	44	b	69	c	94	b
20	a	45	c	70	c	95	b
21	a	46	a	71	c	96	c
22	c	47	b	72	b	97	a
23	b	48	c	73	a	98	c
24	c	49	a	74	c	99	c
25	a	50	b	75	b	100	c

APÊNDICE D. Decupagem das gravações em vídeo

VÍDEO 1. Arquivo: GOPRP00001. Início: 14:00:00. Duração: 00:11:36.

14:00:35. Cinco alunos estavam presentes; perguntei se haviam lido o material de apoio ao aluno e apenas uma aluna mencionou que havia lido, disse "eu achei legal e muito bem explicado, eu tenho tipo assim, pra eu entender um texto é muito difícil e esse foi bem fácil".

14:00:40. Dos outros quatro alunos presentes no momento, dois fizeram menção de ter "folheado" o material e um destes manifestou achar legal as figuras.

14:01:42. Agora com 6 alunos, perguntados se tinham acessado o *blog*, foi possível perceber que dois alunos manifestaram que sim, um deles disse que havia entrado "naquele lá que vai entrando nas coisas" (*Nanoreisen*), perguntei se sempre chega no mesmo lugar e em que lugar que chega, respondeu, no átomo.

14:04:00. Todos os 9 participantes estão presentes, as equipes estão divididas e inicia, através de um sorteio de dados, a escolha da sequencia em que serão feitas as jogadas e a escolha das cores dos peões, respectivamente: equipe LHCB, peão amarelo; equipe ALICE, peão cor-de-rosa; equipe ATLAS, peão azul; equipe CMS, peão vermelho. São dadas orientações e discutidas as regras e procedimentos do jogo.

14:06:00. Início do jogo.

14:06:30. Equipe LHCB pesca carta nro. 64; leva 57 s para apresentar resposta; escolhe a alternativa A, a correta é a A; apresenta dúvida entre a alternativa A e a alternativa C; falhou a figura da carta-pergunta, que não apareceu na impressão.

14:08:15. Equipe LHCB pesca carta-pergunta nro. 96; leva 50 s para apresentar resposta; a alternativa escolhida é a C, a correta é a C.

14:10:47. Equipe ALICE pesca carta nro. 06; leva 53 s para apresentar resposta; a alternativa escolhida é a A, a correta é a A; um colega de outro grupo, no momento que a colega leu a pergunta, manifestou "ahh, essa ai eu sei!"; falhou a figura da carta-pergunta, problemas na impressão.

14:11:36. Fim da gravação do vídeo 1.

VÍDEO 2. Arquivo: GP010001. Início: 14:11:36. Duração: 00:11:37.

14:12:02. equipe ALICE pesca carta-pergunta nro. 44; tempo necessário para apresentar resposta é de 32 s; escolha da equipe é a alternativa C; a correta é a alternativa B; combinado que a partir deste momento a equipe que pescar a carta, deve lê-la em voz alta.

14:13:49. Equipe ATLAS pesca carta-pergunta nro. 27; a escolha da equipe é a alternativa A; a correta é a C; tempo necessário para resposta é de 57 s.

14:15:06. equipe ATLAS pesca carta-pergunta nro. 24; a escolha da equipe é a alternativa C, a correta é a C; tempo necessário para resposta 44 s.

14:16:21. equipe CMS pesca carta-pergunta nro. 23; a escolha da equipe é a alternativa A, a correta é a B; tempo necessário para resposta 32 s.

14:17:25. equipe CMS pesca carta-pergunta nro. 90; a escolha da equipe é a alternativa B, correta C; tempo necessário para resposta 50 s; ao final da leitura a aluna que leu diz: "não sei"; fim da primeira rodada.

14:19:19. Equipe LHCB pesca carta-pergunta nro. 42; a escolha da equipe é a alternativa B, a correta é a C; tempo necessário para leitura e resposta 1 min; pega a carta e reclama que tem que ler em voz alta (... "acho melhor ler só pra nós"...), como é o início de uma nova rodada, sugiro uma nova regra: que leiam em voz alta e depois tem 30 s para responderem.

14:20:45. Equipe LHCB pesca carta-pergunta nro. 43; a escolha da equipe é a alternativa A, a correta é a A; tempo necessário para leitura e resposta 1 min 22 s; apresentam dificuldade em pronunciar o termos em lingua estrangeira.

14:23:02. Equipe ALICE pesca carta-pergunta nro. 44; equipe pesca a carta e inicia a leitura e prossegue até o final da gravação (14:23:14), continuando no vídeo 3.

VÍDEO 3. Arquivo: GP010001. Início: 14:25:00. Duração de 00:11:37.

14:23:14. O vídeo inicia com uma equipe ALICE lendo a carta-pergunta nro. 44; a alternativa escolhida é a C; a correta é a B; tempo utilizado na leitura e resposta 40 s.

14:24:04. Equipe ALICE pesca carta-pergunta nro. 82; tempo para ler a pergunta e apresentar a resposta 35 s; carta escolhida A, correta C; pesquisador intervém fazendo um comentário referente à resposta.

14:25:46. Equipe ATLAS pesca carta-pergunta nro. 89; tempo para ler a pergunta e apresentar a resposta 39 s; carta escolhida B; correta C; o peão da equipe para na casa limpeza do feixe e por isso a equipe não recebe ficha de "evento" pelo acerto.

14:27:00. Equipe ATLAS pesca carta-pergunta nro. 91; tempo para leitura da pergunta e apresentação da resposta 47 s; resposta escolhida C; correta A.

14:28:21. Equipe CMS pesca carta-pergunta nro. 39; tempo para leitura da pergunta e apresentação da resposta 41 s; resposta escolhida C; correta A; interferência do pesquisador: "tem um motor será?"; comentário da aluna: "não, se é no vácuo não tem motor."; comentário da aluna (após perceber ter errado a resposta: "Putá merda!" ... "Ahh pra mim chega, não gostei!"

14:29:55. Equipe CMS pesca carta-pergunta nro. 62; tempo para leitura da pergunta e apresentação da resposta 1 min; resposta escolhida A; correta A; comentários: ... "não faço a mínima ideia" ... (enquanto pensava na resposta) e ... "uhh, finalmente cara!" ... (comemorando o acerto);

14:31:14. Pesquisador coloca nova regra para leitura: ..."Só leia as perguntas em voz alta, as alternativas não é preciso."; aluna comenta o comentário anterior: "não, é bom ler as alternativas pois é mais fácil pra decorar..."; os alunos continuam o jogo lendo as respostas também; fim da segunda rodada.

14:31:20. Equipe LHCb pesca carta-pergunta nro. 98; tempo necessário para leitura da pergunta e apresentação da resposta 38 s; resposta escolhida A; correta C; a aluna lê as respostas também.

14:32:05. risadas e comentários: "...eu não sabia o que era fótons, eu achava que era elétrons...", "... tu não sabia o que era fótons ..."

14:32:32. Equipe LHCb pesca carta-pergunta nro. 38; tempo necessário para leitura da pergunta e apresentação da resposta 54 s; resposta escolhida B; correta B; comentário de um aluno de outra equipe durante o tempo de resposta: "ahh, essa aí eu sei" ... "claro, essa daí ele passou no videozinho, pô!" ... "e a outra pergunta que vocês fizeram respondia também" ... "né professor" ... e mostra uma carta para a colega de grupo com suposto palpite.

14:33:46. A equipe ALICE pesca a carta-pergunta nro. 56 e inicia a leitura. Acaba o vídeo 3.

VÍDEO 4 - Arquivo: GP030001. Início: 14:33:46. Duração: 00:04:09.

14:33:46. Carta-pergunta nro. 56; tempo necessário aproximado para leitura da pergunta e apresentação da resposta 47 s; resposta escolhida B; correta B;

14:35:02. Equipe ALICE pesca carta-pergunta nro. 66; tempo necessário para leitura da pergunta e apresentação da resposta 1 min 03 s; resposta escolhida C; correta B; falhou a imagem da carta-pergunta; nesta rodada, o peão do grupo caiu na casa com cor verde, igual à casa simétrica onde está informado saída do feixe. Um aluno reclama o fato, porém o pesquisador desconsidera por não estar escrito a informação saída do feixe (ver tabuleiro).

14:35:36. Um integrante da equipe LHCb sugere que se outra equipe cair na casa do LHCb, se errar a resposta, a ficha azul vem pra equipe que a casa representa.

14:33:05. Equipe ATLAS pesca carta-pergunta nro. 65; tempo necessário para resposta 1 min 02 s; resposta escolhida C; correta B; durante a leitura da pergunta, uma integrante da equipe se refere ao detector ATLAS e seu colega de equipe menciona: "É o nosso!"; alunos se abanam devido ao calor.

14:37:46. O aluno da equipe ATLAS faz questão de também jogar o dado, alternando a vez dos integrantes da equipe para jogar os dados durante a partida.

14:37:55. Fim da gravação.

VÍDEO 5. Arquivo: GOPR0002. Início: 14:40:00. Duração: 00:07:54.

Há uma interrupção na sequência de gravação, perde-se a sequência das jogadas; o momento do início da gravação foi estimado em função do horário

registrado pela câmera utilizada.

14:40:00. A equipe LHCb já havia pescado a carta e não foi possível marcar o tempo utilizado na resposta; carta-pergunta nro. 51; apresentam dúvida entre A e C; optam por C e está correta.

14:40:35. Equipe LHCb pesca carta-pergunta nro. 52; tempo necessário para resposta 53 s; resposta escolhida C, correta C; aluno que lê a carta apresenta dúvida: ... "ai tem esse MeV professor?".

14:42:11. Equipe ALICE pesca a carta 93; tempo necessário para resposta 53 s; resposta escolhida C; correta A; aluna apresenta dificuldade em ler nome em língua estrangeira: "... bóson de sei lá o que ..." (ao se referir ao bóson de Higgs).

14:43:30. Carta 84; equipe ALICE cai na casa que corresponde ao detector CMS; tempo para apresentar a resposta 38 s; resposta apresentada B; correta A.

14:44:55. Equipe ATLAS pesca carta nro. 8; tempo para apresentar uma resposta 45 s; resposta escolhida B, correta A; aluno exclui uma das possibilidades de resposta: "... força gravitacional não tem nada a ver ...".

14:46:10. Equipe ATLAS pesca carta nro. 29; tempo para resposta 1 min 28 s; resposta escolhida C; correta A.

Observações adicionais:

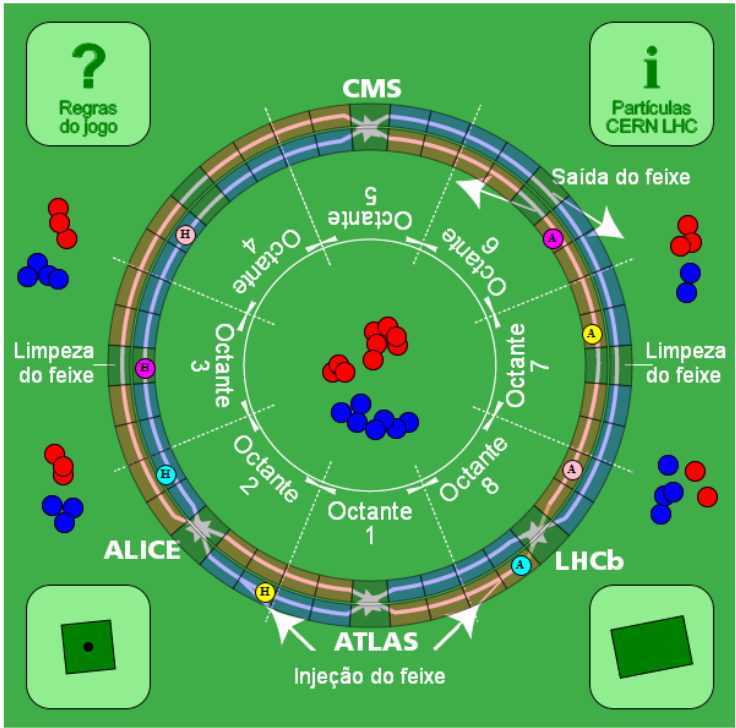
1. Alunos demonstram desconforto em relação ao tempo das perguntas.
2. As perguntas não foram lidas em voz alta. Na próxima edição em sugerir que leiam em voz alta para que os outros colegas possam responder, caso a equipe falhe.
3. Atribuir cores aos dados (azul e vermelha) correspondente a cada raia. Será necessário?
4. Os alunos em nenhum momento consultaram o texto de apoio ao aluno. Proposta: estimular o uso do texto.
5. Alguns alunos demonstraram total desconhecimento dos assuntos sobre

os quais o jogo tratava. Proposta: exibir um vídeo sobre o LHC antes de realizar a partida.

6. Ocorreram erros na impressão das cartas-pergunta. Corrigir para a próxima edição.
7. Pouca interação dos grupos que não estão respondendo as questões. Proposta: na próxima edição imprimir as cartas perguntas no tamanho A5 e permitir que as outras equipes respondam a pergunta caso a equipe falhe.
8. Em diversos momentos mostra-se importante a mediação do pesquisador: formação dos grupos, escolha de quem inicia, organização de uma forma geral. Seria possível os alunos jogarem sem a intervenção de um mediador?
9. Erros de cronometragem do tempo de resposta: utilizar o cronômetro do celular é inviável.
10. Excesso de ruído. Proposta: se cair na casa de outro detector, se acertar, o evento vai pro dono da casa e se errar, fica com o ruído.
11. Os alunos apresentaram dificuldades de entendimento das unidades de energia e prefixos das unidades.
12. Não utilizaram o material impresso. Propostas: aumentar tabela de prefixos para facilitar a pesquisa; melhorar capa; incluir nome da equipe para estimular a pesquisa durante o jogo.
13. Excesso de ruído externo (outros alunos) atrapalhou o desenvolvimento da atividade.
14. Calor excessivo atrapalhou a atividade.
15. Resultado Final: CMS: 6 ruídos e 2 eventos; LHCb: 4 ruídos e 8 eventos; ALICE: 6 ruídos e 8 eventos; ATLAS: 7 ruídos e 4 eventos.

APÊNDICE E. Regras do jogo (1a. partida)

Estudantes, divididos em equipes, respondem a perguntas com o objetivo de percorrer, utilizando peões, um tabuleiro com a temática do LHC (*Large Hadron Collider*).



O Jogo do LHC consiste em:

- a. um tabuleiro
- b. três dados de quarks
- c. um dado de léptons

- d. 8 peões
- e. 100 cartas-perguntas com questões numeradas
- f. 12 cartas-resposta, marcadas com "a", "b" e "c" para os jogadores fazerem suas escolhas
- g. um manual com comentários sobre os textos do jogo
- h. grande quantidade de fichas azuis e vermelhas que representam eventos e ruídos

O jogo deve ser jogado por quatro equipes, denominadas "ATLAS", "ALICE", "LHCb" e "CMS".

Cada equipe é representada por dois "peões", um que circula no sentido horário e outro que circula no sentido anti-horário.

A ordem em que as equipes farão os movimentos não importa, mas pode ser decidida por sorteio no início do jogo, por exemplo, jogando-se os dados dos quarks e adotando a ordem crescente das massas como a ordem do jogo.

Um movimento consiste em uma equipe jogar dois dados, um colorido de azul, que vai lhe indicar quanto deve andar na trilha azul (horário), e outro colorido de vermelho, que vai lhe indicar quanto deve andar na trilha vermelha (anti-horário).

Os pontos de saída dos peões são os pontos de injeção do feixe, ao lado da primeira casa do Octante 2 no sentido horário e da primeira casa do Octante 8 no sentido anti-horário.

A cada jogada um membro da equipe deve retirar uma carta-pergunta e ler a pergunta e as alternativas em voz alta. Em até 30 segundos cada equipe deve depositar uma carta-resposta, virada para baixo, na sua respectiva posição no centro do tabuleiro.

Feitas as escolhas, um membro da equipe da vez (que fez a jogada) abre o livro de respostas na página correspondente à pergunta e informa os demais sobre a alternativa correta e eventuais comentários. As equipes abrem as cartas depositadas e, em caso de acerto, acumulam "eventos" (fichas verdes) e, em caso de erros, acumulam "ruídos" (fichas vermelhas). Caso a equipe já disponha de eventos e ruídos, em caso de acerto ela pode devolver à mesa um ruído e em caso de erro devolver um evento.

Ganha o jogo a equipe que obtiver a melhor relação evento/ruído (isto é, a

divisão entre o número de fichas verdes pelo número de fichas vermelhas). Em caso de empate, ganha a equipe que tiver mais eventos.

Se algum dos peões da equipe parar nas casas identificadas como "limpeza do feixe", a equipe não ganhará 'recompensa' (evento) pela resposta correta, mas receberá a 'punição' (ruído) pela resposta incorreta à carta-pergunta.

Se algum dos peões da equipe parar nas casas identificadas como "saída do feixe", o peão deve retornar à posição inicial, ao lado da primeira casa do seu respectivo anel. Além disso, a equipe fica uma rodada sem jogar para recuperar-se do infortúnio.

Se um peão parar na casa do detector da sua própria equipe (por exemplo, se um peão da equipe "ALICE" parar na casa do detector "ALICE"), será premiado em dobro por um acerto e perdoado por um erro.

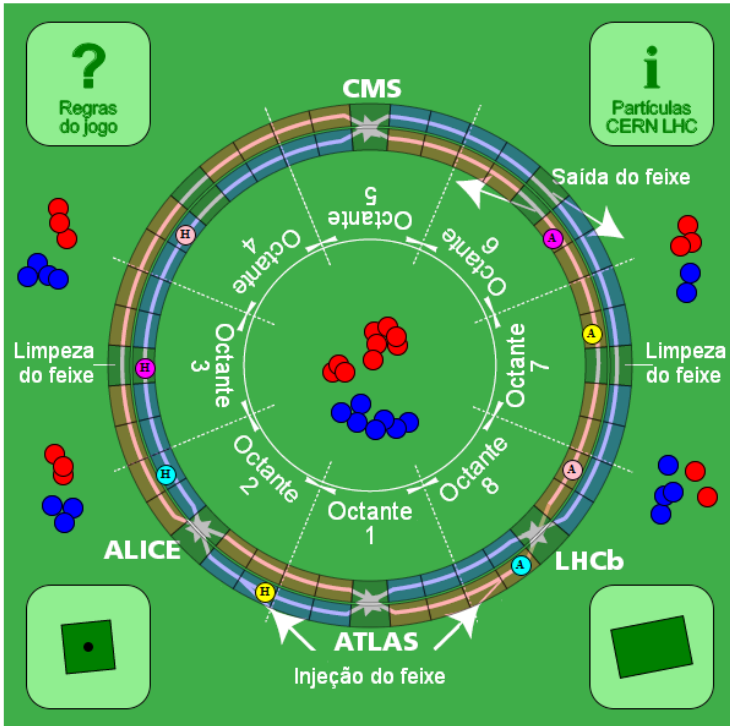
Se um peão parar na casa do detector de outra equipe (por exemplo, se um peão da equipe "ALICE" parar na casa do detector "ATLAS"), não receberá nada por um acerto e pagará em dobro por um erro.

Se dois peões encontrarem-se na casa de um detector nenhuma carta-pergunta é retirada e a equipe do respectivo detector ganha automaticamente 4 eventos.

A duração do jogo é definida estabelecendo-se um número definido de rodadas, dependendo do tempo disponível.

APÊNDICE F. Regras do jogo (2a. partida)

Estudantes, divididos em equipes, respondem a perguntas com o objetivo de percorrer, utilizando peões, um tabuleiro com a temática do LHC (*Large Hadron Collider*).



O Jogo do LHC consiste em:

- a. um tabuleiro
- b. três dados de quarks
- c. um dado de léptons

- d. 8 peões
- e. 100 cartas-perguntas com questões numeradas
- f. 12 cartas-resposta, marcadas com "a", "b" e "c" para os jogadores fazerem suas escolhas
- g. um manual com comentários sobre os textos do jogo
- h. grande quantidade de fichas azuis e vermelhas que representam eventos e ruídos

O jogo deve ser jogado por quatro equipes, denominadas "ATLAS", "ALICE", "LHCb" e "CMS".

Cada equipe é representada por dois "peões", um que circula no sentido horário e outro que circula no sentido anti-horário.

A ordem em que as equipes farão os movimentos não importa, mas pode ser decidida por sorteio no início do jogo, por exemplo, jogando-se os dados dos quarks e adotando a ordem crescente das massas como a ordem do jogo.

Um movimento consiste em uma equipe jogar dois dados, um colorido de azul, que vai lhe indicar quanto deve andar na trilha azul (horário), e outro colorido de vermelho, que vai lhe indicar quanto deve andar na trilha vermelha (anti-horário).

Os pontos de saída dos peões são os pontos de injeção do feixe, ao lado da primeira casa do Octante 2 no sentido horário e da primeira casa do Octante 8 no sentido anti-horário.

A cada jogada um membro da equipe deve retirar uma carta-pergunta e ler a pergunta e as alternativas em voz alta. Em até 1 minuto cada equipe deve apresentar uma carta-resposta. As equipes que não estão realizando a jogada podem apresentar uma carta resposta, deixando-a virada para baixo, esta carta será apresentada caso a equipe que esta realizando a jogada não acerte a resposta.

Feitas as escolhas, a resposta escolhida pela equipe que esta na jogada é conferida na tabela de respostas. Em caso de acerto, acumulam "eventos" (fichas azuis) e, em caso de erros, acumulam "ruídos" (fichas vermelhas) e as outras equipes devem desvirar suas cartas, apresentando suas respostas. Neste caso são utilizados os mesmos critérios para acumular "eventos" ou "ruídos".

Ganha o jogo a equipe que obtiver a melhor relação evento/ruído (isto é, a

divisão entre o número de fichas azuis pelo número de fichas vermelhas). Em caso de empate, ganha a equipe que tiver mais eventos.

Se algum dos peões da equipe parar nas casas identificadas como "limpeza do feixe", a equipe não receberá "evento" pela resposta correta, mas receberá um "ruído" pela resposta incorreta à carta-pergunta. Nesta situação as outras equipes não podem apresentar resposta.

Se algum dos peões da equipe parar nas casas identificadas como "saída do feixe", o peão deve retornar à posição inicial, ao lado da primeira casa do seu respectivo anel. Além disso, a equipe fica uma rodada sem jogar para recuperar-se do infortúnio. Nesta situação as outras equipes não podem apresentar resposta.

Se um peão parar na casa do detector da sua própria equipe (por exemplo, se um peão da equipe "ALICE" parar na casa do detector "ALICE"), será premiado em dobro por um acerto e perdoado por um erro. Nesta situação as outras equipes não podem apresentar resposta.

Se um peão parar na casa do detector de outra equipe (por exemplo, se um peão da equipe "ALICE" parar na casa do detector "ATLAS"), não receberá nada por um acerto e irá para a equipe "dona" da casa, e pagará em dobro por um erro. Nesta situação as outras equipes não podem apresentar resposta.

Se dois peões encontrarem-se na casa de um detector nenhuma carta-pergunta é retirada e a equipe do respectivo detector ganha automaticamente 4 eventos.

Se os dois peões caírem em casas diferenciadas (limpeza do feixe, saída do feixe, ATLAS, CMS, ALICE ou LHCb) a equipe escolhe entre uma das possibilidades para continuar a jogada.

A duração do jogo é definida estabelecendo-se um número definido de rodadas, dependendo do tempo disponível.

APÊNDICE G. TCLE

(alunos maiores de 18 anos)

Termo de consentimento livre e esclarecido (elaborado de acordo com a resolução 466/12 CNS)

Você está sendo convidado a participar de uma pesquisa intitulada **Física de partículas na escola: um jogo educacional**. A pesquisa está sendo realizada por Ricardo Luís de Ré, professor efetivo de Ensino Médio na rede pública do Estado de Santa Catarina, orientado por Nelson Canzian da Silva, professor efetivo no Departamento de Física da Universidade Federal de Santa Catarina, dentro do programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, coordenado pela Sociedade Brasileira de Física.

A pesquisa tem como objetivo testar a adequação das regras e conteúdos propostos para um jogo educacional sobre física de partículas para ser utilizado na escola por alunos no último ano do Ensino Fundamental e em qualquer ano do Ensino Médio.

Pesquisas nacionais e internacionais têm mostrado que jogos dos mais diversos tipos têm sido utilizados com aparente sucesso para motivar os alunos a engajarem-se no processo educacional. Nesta pesquisa, propomos um jogo de tabuleiro em que as peças representando os jogadores têm que percorrer um circuito inspirado no LHC (*Large Hadron Collider*), o maior e mais potente acelerador de partículas do mundo, onde em 2013 foi descoberto o bóson de Higgs, ao qual está associado o Prêmio Nobel de Física de 2014.

Caso aceite participar da pesquisa, você fará parte de uma das equipes que jogarão o jogo, cujo desafio consiste em acumular o maior número de acertos e menor número de erros em respostas a perguntas sorteadas ao acaso, enquanto a peça que representa a sua equipe percorre o circuito. O conteúdo abordado pelas perguntas (física de partículas e o LHC), já terá sido apresentado em sala de aula ou em vídeos e leituras previamente sugeridas pelo professor.

Enquanto você e seus colegas de classe estiverem jogando, o professor fará observações, tomando notas e gravando as falas em áudio e vídeo. As

pessoas não serão identificadas, pois não interessa para o pesquisador saber quem disse o quê, mas apenas o comportamento geral do grupo e eventuais comentários, reclamações ou sugestões sobre o andamento do jogo. O que se quer é avaliar o jogo e suas regras, e não você ou seus colegas.

Ao participar da pesquisa você não correrá riscos além dos que correria em outras atividades educacionais coletivas. Você poderá ficar cansado ou aborrecido durante o jogo; ao dar uma resposta errada, você poderá ficar constrangido e até ser vaiado pelos seus colegas; ao dar uma resposta correta, poderá ficar feliz e até ser festejado pelos seus colegas. Mesmo participando da pesquisa, você também pode optar por permanecer calado quando quiser.

Outro risco é o de quebra de sigilo, ainda que involuntário e não intencional (por exemplo, por um hacker maldoso ou devido a um pendrive ou computador extraviado). Por isso o pesquisador e seu orientador comprometem-se a tomar todas as precauções, desde o início, para evitar a sua identificação e o eventual vazamento dos dados.

Se optar por não participar da pesquisa, sua presença não será obrigatória caso o jogo seja realizado fora do horário regular das aulas. Caso o jogo seja realizado no horário regular das aulas, você poderá ficar como simples observador, sem emitir opiniões, ou o professor poderá lhe atribuir alguma outra tarefa em substituição à sua participação. De todo modo, a sua participação ou não na pesquisa não terá qualquer influência positiva ou negativa na avaliação de seu desempenho escolar.

Você poderá beneficiar-se da participação na pesquisa ao integrar-se a outros grupos e ser estimulado a manifestar-se sobre conteúdos recentemente estudados, o que pode facilitar o seu aprendizado. Além disso, você estará contribuindo para a avaliação e aperfeiçoamento de um recurso educacional que pode ajudar muitos outros a aprender algo sobre o assunto.

Como esta pesquisa será realizada dentro do ambiente escolar, caso você sofra algum acidente ou mal estar durante sua realização, você será encaminhado aos setores ou órgãos de assistência aos quais seria encaminhado em caso de acidente ou mal-estar em qualquer outra atividade escolar.

Caso você tenha alguma despesa adicional ou sinta-se lesado física ou moralmente por algo comprovadamente relacionado à sua participação na pesquisa, poderá, nos termos e procedimentos da lei, solicitar o ressarcimento

dos valores gastos e indenização pelos danos sofridos.

A participação nesta pesquisa é totalmente voluntária e você não receberá qualquer forma de remuneração, monetária ou outra, por participar dela. Mesmo consentindo em participar, você pode, a qualquer momento, deixar de participar sem dar qualquer explicação e sem sofrer qualquer consequência. Caso queira desistir ou manifestar-se de qualquer outra maneira, você pode entrar em contato com o pesquisador (prof. Ricardo) no e-mail ricardo.luis@posgrad.ufsc.br ou com o seu orientador (prof. Nelson) pelo telefone 48-3721- 3736, email nelson.canzian@ufsc.br ou pessoalmente no Departamento de Física da UFSC, Campus Universitário Trindade, Florianópolis, SC.

Os aspectos éticos desta pesquisa são regulamentados pela resolução 466/12 do Conselho Nacional de Saúde e leis complementares, das quais o pesquisador e seu orientador estão cientes e comprometem-se a seguir rigorosamente. O projeto de pesquisa, seus objetivos e metodologia, bem como este termo de consentimento livre e esclarecido, foram avaliados e aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Federal de Santa Catarina (CEPSH-UFSC), que pode ser contatado pessoalmente na rua Desembargador Vitor Lima 222, Prédio Reitoria II, 4o. andar, sala 401, Florianópolis, SC, pelo telefone 48- 3721-6094 e pelo e-mail cep.propesq@contato.ufsc.br.

Consentimento do participante

Tendo lido esse documento e sido esclarecido pelo pesquisador sobre eventuais dúvidas, declaro-me suficientemente informado sobre os objetivos, métodos, riscos e benefícios da pesquisa, bem como sobre meus direitos, e opto por participar dela de livre e espontânea vontade. Declaro também ter recebido uma via original desse documento, rubricada em todas as páginas e assinada.

Florianópolis, ___ de _____ de _____.

Assinatura do participante

Nome legível:

RG:

Assinatura do pesquisador

Nome legível:

RG:

APÊNDICE H. TCLE (responsáveis por menores de 18 anos)

Termo de consentimento livre e esclarecido (elaborado de acordo com a resolução 466/12 CNS)

O estudante _____, pelo qual você é o responsável legal, está sendo convidado a participar de uma pesquisa intitulada **Física de partículas na escola: um jogo educacional**. A pesquisa está sendo realizada por Ricardo Luís De Ré, professor efetivo de Ensino Médio na rede pública do Estado de Santa Catarina, orientado por Nelson Canzian da Silva, professor efetivo no Departamento de Física da Universidade Federal de Santa Catarina, dentro do programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, coordenado pela Sociedade Brasileira de Física.

A pesquisa tem como objetivo testar a adequação das regras e conteúdos propostos para um jogo educacional sobre física de partículas para ser utilizado na escola por alunos no último ano do Ensino Fundamental e em qualquer ano do Ensino Médio.

Pesquisas nacionais e internacionais têm mostrado que jogos dos mais diversos tipos têm sido utilizados com aparente sucesso para motivar os alunos a engajarem-se no processo educacional. Nesta pesquisa, propomos um jogo de tabuleiro em que as peças representando os jogadores têm que percorrer um circuito inspirado no LHC (*Large Hadron Collider*), o maior e mais potente acelerador de partículas do mundo, onde em 2013 foi descoberto o bóson de Higgs, ao qual está associado o Prêmio Nobel de Física de 2014.

Caso aceitem participar da pesquisa, o estudante fará parte de uma das equipes que jogarão o jogo, cujo desafio consiste em acumular o maior número de acertos e menor número de erros em respostas a perguntas sorteadas ao acaso, enquanto a peça que representa a sua equipe percorre o circuito. O conteúdo abordado pelas perguntas (física de partículas e o LHC), já terá sido apresentado em sala de aula ou em vídeos e leituras previamente sugeridas pelo professor.

Enquanto o estudante e seus colegas de classe estiverem jogando, o professor fará observações, tomando notas e gravando as falas em áudio e vídeo. As pessoas não serão identificadas, pois não interessa para o pesquisador saber quem disse o quê, mas apenas o comportamento geral do grupo e eventuais comentários, reclamações ou sugestões sobre o andamento do jogo. O que se quer é avaliar o jogo e suas regras, e não o estudante ou seus colegas.

Ao participar da pesquisa o estudante não correrá riscos além dos que correria em outras atividades educacionais coletivas: poderá ficar cansado ou aborrecido durante o jogo; ao dar uma resposta errada, poderá ficar constrangido e até ser vaiado pelos seus colegas; ao dar uma resposta correta, poderá ficar feliz e até ser festejado pelos seus colegas. Mesmo participando da pesquisa, o estudante também pode optar por permanecer calado quando quiser.

Outro risco é o de quebra de sigilo, ainda que involuntário e não intencional (por exemplo, por um hacker maldoso ou devido a um pendrive ou computador extraviado). Por isso o pesquisador e seu orientador comprometem-se a tomar todas as precauções, desde o início, para evitar a sua identificação e o eventual vazamento dos dados.

Se optar por não participar da pesquisa, a presença do estudante não será obrigatória caso o jogo seja realizado fora do horário regular das aulas. Caso o jogo seja realizado no horário regular das aulas, o estudante poderá ficar como simples observador, sem emitir opiniões, ou o professor poderá lhe atribuir alguma outra tarefa em substituição à sua participação. De todo modo, a participação ou não na pesquisa não terá qualquer influência positiva ou negativa na avaliação do desempenho escolar do estudante.

O estudante poderá beneficiar-se da participação na pesquisa ao integrar-se a outros grupos e ser estimulado a manifestar-se sobre conteúdos recentemente estudados, o que pode facilitar o seu aprendizado. Além disso, estará contribuindo para a avaliação e aperfeiçoamento de um recurso educacional que pode ajudar muitos outros a aprender algo sobre o assunto.

Como esta pesquisa será realizada dentro do ambiente escolar, caso o estudante sofra algum acidente ou mal estar durante sua realização, será encaminhado aos setores ou órgãos de assistência aos quais seria encaminhado em caso de acidente ou mal-estar em qualquer outra atividade escolar.

Caso o estudante tenha alguma despesa adicional ou sinta-se lesado física ou moralmente por algo comprovadamente relacionado à sua participação na pesquisa, poderá, nos termos e procedimentos da lei, solicitar o ressarcimento dos valores gastos e indenização pelos danos sofridos.

A participação nesta pesquisa é totalmente voluntária e o estudante não receberá qualquer forma de remuneração, monetária ou outra, por participar dela. Mesmo consentindo em participar, você pode, a qualquer momento, solicitar que o estudante deixe de participar da pesquisa, sem dar qualquer explicação e sem sofrer qualquer consequência. O estudante também pode, a qualquer momento, deixar de participar da pesquisa, sem dar qualquer explicação e sem sofrer qualquer consequência. Caso queira que o estudante desista da pesquisa ou manifestar-se de qualquer outra maneira, você pode entrar em contato com o pesquisador (prof. Ricardo) pelo email ricardo.luis@posgrad.ufsc.br ou com o seu orientador (prof. Nelson) pelo telefone 48-3721-3736, e-mail nelson.canzian@ufsc.br ou pessoalmente no Departamento de Física da UFSC, Campus Universitário Trindade, Florianópolis, SC.

Os aspectos éticos desta pesquisa são regulamentados pela resolução 466/12 do Conselho Nacional de Saúde e leis complementares, das quais o pesquisador e seu orientador estão cientes e comprometem-se a seguir rigorosamente. O projeto de pesquisa, seus objetivos e metodologia, bem como este termo de consentimento livre e esclarecido, foram avaliados e aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Federal de Santa Catarina (CEPSH-UFSC), que pode ser contatado pessoalmente na rua Desembargador Vitor Lima 222, Prédio Reitoria II, 4o. andar, sala 401, Florianópolis, SC, pelo telefone 48-3721- 6094 e pelo e-mail cep.propesq@contato.ufsc.br.

Consentimento do responsável legal pelo estudante participante

Florianópolis, ____ de _____ de _____.

Assinatura do responsável
Nome legível:
RG:

Assinatura do pesquisador
Nome legível:
RG:

APÊNDICE I. TA

(alunos menores de 18 anos)

Termo de assentimento

(elaborado de acordo com a resolução 466/12 CNS)

Você está sendo convidado a participar de uma pesquisa intitulada **Física de partículas na escola: um jogo educacional**. A pesquisa está sendo realizada por Ricardo Luís de Ré, professor efetivo de Ensino Médio na rede pública do Estado de Santa Catarina, orientado por Nelson Canzian da Silva, professor efetivo no Departamento de Física da Universidade Federal de Santa Catarina, dentro do programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, coordenado pela Sociedade Brasileira de Física.

A pesquisa tem como objetivo testar a adequação das regras e conteúdos propostos para um jogo educacional sobre física de partículas para ser utilizado na escola por alunos no último ano do Ensino Fundamental e em qualquer ano do Ensino Médio.

Pesquisas nacionais e internacionais têm mostrado que jogos dos mais diversos tipos têm sido utilizados com aparente sucesso para motivar os alunos a engajarem-se no processo educacional. Nesta pesquisa, propomos um jogo de tabuleiro em que as peças representando os jogadores têm que percorrer um circuito inspirado no LHC (*Large Hadron Collider*), o maior e mais potente acelerador de partículas do mundo, onde em 2013 foi descoberto o bóson de Higgs, ao qual está associado o Prêmio Nobel de Física de 2014.

Caso aceite participar da pesquisa e com a autorização de seu responsável legal, você fará parte de uma das equipes que jogarão o jogo, cujo desafio consiste em acumular o maior número de acertos e menor número de erros em respostas a perguntas sorteadas ao acaso, enquanto a peça que representa a sua equipe percorre o circuito. O conteúdo abordado pelas perguntas (física de partículas e o LHC), já terá sido apresentado em sala de aula ou em vídeos e leituras previamente sugeridas pelo professor.

Enquanto você e seus colegas de classe estiverem jogando, o professor fará observações, tomando notas e gravando as falas em áudio e vídeo. As

pessoas não serão identificadas, pois não interessa para o pesquisador saber quem disse o quê, mas apenas o comportamento geral do grupo e eventuais comentários, reclamações ou sugestões sobre o andamento do jogo. O que se quer é avaliar o jogo e suas regras, e não você ou seus colegas.

Ao participar da pesquisa você não correrá riscos além dos que correria em outras atividades educacionais coletivas. Você poderá ficar cansado ou aborrecido durante o jogo; ao dar uma resposta errada, você poderá ficar constrangido e até ser vaiado pelos seus colegas; ao dar uma resposta correta, poderá ficar feliz e até ser festejado pelos seus colegas. Mesmo participando da pesquisa, você também pode optar por permanecer calado quando quiser.

Outro risco é o de quebra de sigilo, ainda que involuntário e não intencional (por exemplo, por um hacker maldoso ou devido a um pendrive ou computador extraviado). Por isso o pesquisador e seu orientador comprometem-se a tomar todas as precauções, desde o início, para evitar a sua identificação e o eventual vazamento dos dados.

Se optar por não participar da pesquisa, sua presença não será obrigatória caso o jogo seja realizado fora do horário regular das aulas. Caso o jogo seja realizado no horário regular das aulas, você poderá ficar como simples observador, sem emitir opiniões, ou o professor poderá lhe atribuir alguma outra tarefa em substituição à sua participação. De todo modo, a sua participação ou não na pesquisa não terá qualquer influência positiva ou negativa na avaliação de seu desempenho escolar.

Você poderá beneficiar-se da participação na pesquisa ao integrar-se a outros grupos e ser estimulado a manifestar-se sobre conteúdos recentemente estudados, o que pode facilitar o seu aprendizado. Além disso, você estará contribuindo para a avaliação e aperfeiçoamento de um recurso educacional que pode ajudar muitos outros a aprender algo sobre o assunto.

Como esta pesquisa será realizada dentro do ambiente escolar, caso você sofra algum acidente ou mal estar durante sua realização, você será encaminhado aos setores ou órgãos de assistência aos quais seria encaminhado em caso de acidente ou mal-estar em qualquer outra atividade escolar.

Caso você tenha alguma despesa adicional ou sinta-se lesado física ou moralmente por algo comprovadamente relacionado à sua participação na pesquisa, poderá, nos termos e procedimentos da lei, solicitar o ressarcimento

dos valores gastos e indenização pelos danos sofridos. A participação nesta pesquisa é totalmente voluntária e você não receberá qualquer forma de remuneração, monetária ou outra, por participar dela. Mesmo consentindo em participar, você pode, a qualquer momento, deixar de participar sem dar qualquer explicação e sem sofrer qualquer consequência. Caso queira desistir ou manifestar-se de qualquer outra maneira, você, sob orientação de seu responsável legal, pode entrar em contato com o pesquisador (prof. Ricardo) e-mail ricardo.luis@posgrad.ufsc.br ou com o seu orientador (prof. Nelson) pelo telefone 48- 3721-3736, e-mail nelson.canzian@ufsc.br ou pessoalmente no Departamento de Física da UFSC, Campus Universitário Trindade, Florianópolis, SC.

Os aspectos éticos desta pesquisa são regulamentados pela resolução 466/12 do Conselho Nacional de Saúde e leis complementares, das quais o pesquisador e seu orientador estão cientes e comprometem-se a seguir rigorosamente. O projeto de pesquisa, seus objetivos e metodologia, bem como este termo de consentimento livre e esclarecido, foram avaliados e aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Federal de Santa Catarina (CEPSH-UFSC), que pode ser contatado pessoalmente na rua Desembargador Vitor Lima 222, Prédio Reitoria II, 4o. andar, sala 401, Florianópolis, SC, pelo telefone 48-3721-6094 e pelo e-mail cep.propesq@contato.ufsc.br.

Tendo lido esse documento e sido esclarecido pelo pesquisador sobre eventuais dúvidas, declaro-me suficientemente informado sobre os objetivos, métodos, riscos e benefícios da pesquisa, bem como sobre meus direitos, e opto por participar dela de livre e espontânea vontade. Declaro também ter recebido uma via original desse documento, rubricada em todas as páginas e assinada.

Florianópolis, ____ de _____ de _____.

Assinatura do participante
Nome legível:
RG:

Assinatura do pesquisador
Nome legível:
RG:

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
SANTA CATARINA - UFSC



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Física de partículas na escola: um jogo educacional

Pesquisador: Nelson Canzian da Silva

Área Temática:

Versão: 1

CAAE:

Instituição Proponente: Universidade Federal de Santa Catarina

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 1.410.364

Apresentação do Projeto:

O projeto de pesquisa intitulado "Física de partículas na escola: um jogo educacional" vinculado ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, orientado por Nelson Canzian da Silva.

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo Primário:

Elaboração, utilização e avaliação de jogo educacional com a temática do LHC para propiciar aprendizagem sobre física de partículas.

Objetivo Secundário:

Elaboração de jogo educacional com a temática do LHC para os estudantes da última série do Ensino Fundamental e alunos do Ensino Médio.

Análise da aplicabilidade e aceitação do jogo educacional em escolas utilizando registro audiovisual e as sugestões dos participantes.

Investigar, através da análise do registro audiovisual, as aprendizagens ocorridas durante a realização da atividade.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Riscos:

Por tratar-se de um jogo, a competição é implícita e inevitável, portanto o instrutor da atividade deve ter o cuidado de minimizar a competição e maximizar a cooperação entre os participantes,

Endereço: Universidade Federal de Santa Catarina, Prédio Reitoria II, R: Desembargador Vitor Lima, nº 222, sala 401
Bairro: Trindade **CEP:** 88.040-400
UF: SC **Município:** FLORIANOPOLIS
Telefone: (48)3721-6094 **E-mail:** cep.propesq@contato.ufsc.br

Continuação do Parecer: 1.410.364

diminuindo os riscos de haver situações que podem ocorrer em virtude da competição, como por exemplo, algum participante não aceitar que sua equipe tenha êxito inferior ao de outra equipe.

No jogo, integrantes das equipes devem chegar a um consenso e escolher a "resposta correta" e esta negociação pode gerar alguns desentendimentos. O instrutor deve instruí-los de forma a evitar que estes desentendimentos naturais do trabalho em equipe tomem proporções desagradáveis aos participantes, para isso é necessária atenção às falas e atitudes das equipes e intervir quando necessário.

Há também a possibilidade de que alguma equipe não obtenha sucesso em suas respostas, escolhendo a alternativa incorreta na maioria das tentativas. Cabe ao instrutor intervir de forma a alertá-los que o conhecimento que trata o jogo é um acúmulo de conhecimentos de toda a história da humanidade e que o objetivo é uma primeira abordagem a estes conceitos e símbolos utilizados em física de partículas, portanto, não há problema

em "errar". A investigação da aprendizagem será realizada através da análise de material audiovisual, e de acordo com a resolução 466/12 do CNS é de responsabilidade do pesquisador manter os dados da pesquisa em arquivo por um período de 5 anos. Apesar de todo cuidado é possível que ocorra eventual quebra de sigilo ("vazamento") das informações em virtude de algum sinistro, como um furto, por exemplo. Além disso, os participantes não correrão riscos além dos que correriam em outras atividades educacionais coletivas.

Benefícios:

Além do benefício direto ao participante, que é ter a oportunidade de ler, discutir e aprender conceitos sobre física de partículas e o LHC, bem como adquirir habilidades sociais ao participar de uma atividade coletiva, o projeto espera ter como benefício um produto que possa auxiliar outros professores e estudantes a explorarem o tema.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

A pesquisa aborda um tema muito relevante. Este projeto trata do desenvolvimento de um jogo educacional sobre física de partículas com a temática do acelerador de partículas LHC (Large Hadron Collider), da aplicação deste como recurso didático para estudantes da 9ª Série do Ensino Fundamental e dos três anos do Ensino Médio e da avaliação em termos da jogabilidade e das aprendizagens manifestadas pelos estudantes. Participarão 20 alunos convidados e voluntários das turmas do 9º ano do Ensino Fundamental e alunos do Ensino Médio da E. E. B. Dom Jaime de Barros Câmara, em evento a ser realizado fora do horário normal das aulas. Será feito registro audiovisual e disponibilizado espaço para participantes manifestarem opiniões referentes à

Endereço: Universidade Federal de Santa Catarina, Prédio Reitoria II, R: Desembargador Vítor Lima, nº 222, sala 401
Bairro: Trindade CEP: 88.040-400
UF: SC Município: FLORIANÓPOLIS
Telefone: (48)3721-6094 E-mail: cep.propesq@contata.ufsc.br

Continuação do Parecer: 1.410.364

realização da atividade. As filmagens acontecerão com a câmera posicionada no fundo da sala, onde captará áudio e imagens panorâmicas, sem o objetivo de destacar qualquer indivíduo.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória;

Os autores apresentaram a documentação obrigatória e adequada a tramitação no Comitê de ética.

- (1) Folha de rosto assinada por Nelson Canzian da Silva conjuntamente com o coordenador do Mestrado profissional em Ensino de Física, Celso de Camargo Barros Jr);
- (2) Formulário Projeto da Pesquisa (incluindo: Cronograma de Execução e Orçamento);
- (3) Projeto de pesquisa
- (4) Declaração da instituição da coleta de dados assinada por Soraya Antoni, Diretora Geral EEB Dom Jaime Barros Câmara.
- (5) TCLE responsável, TCLE participante
- (6) termo de Assentimento

Recomendações:

-

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Considerando que a proposta apresentada se encontra adequadamente fundamentada, contendo documentação e demais informações pertinentes à questão ética em conformidade com os termos da legislação que trata da participação de seres humanos em pesquisa, encaminho voto favorável à Aprovação do Projeto.

Considerações Finais a critério do CEP:

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_P ROJETO_636773.pdf	16/12/2015 10:39:25		Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	termo_assentimento.pdf	16/12/2015 10:36:01	Nelson Canzian da Silva	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	tcle_responsavel.pdf	16/12/2015 10:35:33	Nelson Canzian da Silva	Aceito

Endereço: Universidade Federal de Santa Catarina, Prédio Reitoria II, R: Desembargador Vitor Lima, nº 222, sala 401
 Bairro: Trindade CEP: 88.040-400
 UF: SC Município: FLORIANÓPOLIS
 Telefone: (48)3721-6094 E-mail: cep.propesq@contato.ufsc.br

Continuação do Parecer: 1.410.364

TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	tcle_participante.pdf	16/12/2015 10:34:08	Nelson Canzian da Silva	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	projeto_final_cepsh.pdf	16/12/2015 10:32:47	Nelson Canzian da Silva	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	declaracao_escola.pdf	16/12/2015 10:32:00	Nelson Canzian da Silva	Aceito
Folha de Rosto	folha_de_rosto_assinada.pdf	16/12/2015 10:30:29	Nelson Canzian da Silva	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

FLORIANOPOLIS, 16 de Fevereiro de 2016

Assinado por:
Washington Portela de Souza
(Coordenador)

Endereço: Universidade Federal de Santa Catarina, Prédio Reitoria II, R. Desembargador Vitor Lima, nº 222, sala 401
Bairro: Trindade **CEP:** 88.040-400
UF: SC **Município:** FLORIANOPOLIS
Telefone: (48)3721-6094 **E-mail:** cep.propesq@contato.ufsc.br

APÊNDICE K - Autorização da GERED



ESTADO DE SANTA CATARINA
SECRETARIA ESTADUAL DE EDUCAÇÃO
COORDENADORIA REGIONAL DA GRANDE FLORIANÓPOLIS
SUPERVISÃO DE POLÍTICAS E PLANEJAMENTO EDUCACIONAL
Rua das Camélias, 342 - Kobrasol – São José - FONE: 3665-6610.

Ofício nº44

São José, 15 de março de 2016

Sr (a) Gestor (a),

Cumprimentando-o (a) cordialmente, vimos por meio deste, **autorizar** a realização do projeto de pesquisa intitulado “Física de partículas na escola: um jogo educacional na Unidade Escolar: EEB. Laura Lima e na EEB. Simão José Hess, localizada no município de Florianópolis. O projeto será executado pelo Mestrando Ricardo Luis de Ré, coordenado pelo **Professor Nelson Canzian da Silva**- Departamento de Física da UFSC, dentro do programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, coordenado pela Sociedade Brasileira de Física.

Atenciosamente,

Selma David Lemos
Supervisora de Políticas e Planejamento Educacional

Dagmar Diana Fava Pachter
Coordenadora Regional da grande Florianópolis

APÊNDICE L. Autorizações das escolas



ESTADO DE SANTA CATARINA

SECRETARIA DE ESTADO DA EDUCAÇÃO - 18ª GERÊNCIA DA EDUCAÇÃO – GRANDE FLORIANÓPOLIS

EEB DOM JAIME DE BARROS CÂMARA – 7790000014060
Rodovia Baldicero Filomeno, 7821, Ribeirão da Ilha – Florianópolis
Fones: 3665-5703 – 3665-5704 domjaime@sed.sc.gov.br

DECLARAÇÃO

Eu, Soraya Antoni, na qualidade de responsável pela E. E. B. Dom Jaime de Barros Câmara, autorizo a realização de pesquisa intitulada “Física de partículas na escola; um jogo educacional” a ser conduzida sob a responsabilidade do pesquisador Ricardo Luis De Ré, sob orientação do prof. Nelson Canzian da Silva, do Departamento de Física da UFSC, dentro do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, nos termos do que preconiza a Resolução 466/12 do Conselho Nacional de Saúde, sobre ética em pesquisa, e declaro que esta instituição apresenta infraestrutura necessária à realização da referida pesquisa. Esta declaração é válida apenas no caso de haver parecer favorável do Comitê em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Federal de Santa Catarina para a referida pesquisa.

Soraya Antoni
Diretora Geral
Mat. 335851-8-03
EEB. Dom Jaime Barros Câmara

Florianópolis, 23 de novembro de 2015.



ESTADO DE SANTA CATARINA
SECRETARIA DE ESTADO DA EDUCAÇÃO
COORDENADORIA REGIONAL DA GRANDE FLORIANÓPOLIS
EEB SIMÃO JOSÉ HESS
Avenida Madre Benvenuta, nº463, Bairro Trindade
Florianópolis - SC
TEL: (48) – 3665-5615 / 3665-5616

Declaração

Eu, Nazareno José Manoel Martins, na qualidade de responsável pela E. E. B. Simão José Hess, autorizo a realização da pesquisa "Física de Partículas na Escola: um jogo educacional" a ser conduzida sob a responsabilidade do pesquisador Ricardo Luis De Rê, sob orientação do prof. Nelson Canzian da Silva, do Departamento de Física da UFSC, dentro do Mestrado Profissional em Ensino de Física, nos termos que preconiza a Resolução 466/12 do Conselho Nacional de Saúde, sobre ética em pesquisa, e declaro que esta instituição infraestrutura necessária à realização da referida pesquisa.



Nazareno José Manoel Martins
Diretor Gestor
Matrícula: 300775-8-03

Florianópolis, 16 de maio de 2016.



ESTADO DE SANTA CATARINA
SECRETARIA DE ESTADO DA EDUCAÇÃO
EEB PROFESSORA LAURA LIMA
Rua do Louro 143 – Monte Verde
Florianópolis-SC Fone / fax– 48 32386212

Secretaria do Estado da Educação
E. E. B. Profª Laura Lima
Cód. 7790000011200
Parecer nº 155/86 de 04/03/86
Rua do Louro, nº 143 - Monte Verde
CEP: 88032-530 - Florianópolis/SC
Fone: (48)3665-6359 / 3665-6358
e-mail: lauralima@sed.sc.gov.br

DECLARAÇÃO

Eu, Tamara Veriguine, na qualidade de responsável pela E. E. B. Professora Laura Lima, autorizo a realização da pesquisa "Física de partículas na escola: um jogo educacional" a ser conduzida sob a responsabilidade do pesquisador Ricardo Luis De Ré, sob orientação do prof. Nelson Canzian da Silva, do Departamento de Física da UFSC, dentro do Mestrado Profissional em Ensino de Física, nos termos que preconiza a Resolução 466/12 do Conselho Nacional de Saúde, sobre ética em pesquisa, e declaro que esta instituição infraestrutura necessária à realização da referida pesquisa.

Secretaria do Estado da Educação
E. E. B. Profª Laura Lima
Cód. 7790000011200
Parecer nº 155/86 de 04/03/86
Rua do Louro, nº 143 - Monte Verde
CEP: 88032-530 - Florianópolis/SC
Fone: (48)3665-6359 / 3665-6358
e-mail: lauralima@sed.sc.gov.br

Tamara Veriguine
Tamara Veriguine
Diretora de Escola
190-163-3-01

Florianópolis, 04 de abril de 2016.