



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JULIO DE MESQUITA FILHO"
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS
EXATAS**



Trabalho de Conclusão de Curso

Curso de Graduação em Física

**FÍSICA E MÚSICA: O USO DE CANÇÕES COMO FERRAMENTA AUXILIAR NO
ENSINO DE FÍSICA**

Márcio Augusto Hansted Pocay

Prof. Dr. Eugenio Maria de França Ramos

(orientador)

Rio Claro (SP)

2014

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

MÁRCIO AUGUSTO HANSTED POCAI

FÍSICA E MÚSICA:
O USO DE CANÇÕES COMO
FERRAMENTA AUXILIAR NO ENSINO DE FÍSICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas -
Campus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para
obtenção do grau de Licenciado em Física.

Rio Claro - SP

2014

530.07 Pocay, Márcio Augusto Hansted
P739f Física e música: o uso de canções como ferramenta
auxiliar no ensino de física / Márcio Augusto Hansted Pocay.
- Rio Claro, 2015
68 f. : il., figs.

Trabalho de conclusão de curso (licenciatura - Física) -
Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e
Ciências
Orientador: Eugenio Maria de França Ramos

1. Física - Estudo e ensino. 2. Ensino médio. 3. Letras de
canções. 4. Física nuclear. I. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente meus pais, Roberto e Maria Conceição, pelo apoio incondicional durante todas as etapas da minha vida e por acreditarem mais em mim do que eu mesmo.

Aos meus dois irmãos, Wagner e Waldemar, por sempre acreditarem na minha capacidade e por compartilharmos momentos tão importantes juntos.

Ao meu orientador Prof. Dr. Eugenio, pelo constante bom humor e pela incrível paciência e confiança depositada durante a execução de todo projeto.

Aos meus grandes amigos de Ourinhos, Lucas (Mulletaum), André (Xuxa), Felipe (Lipão), Danilo (Danilão), Rodrigo (Mazza), Guilherme (Japa) e Pedro (Pedrão), por compartilharem dessa caminhada da maneira como só os amigos sabem fazer.

Aos meus companheiros de república no ano de 2014, Matheus (Carona) e Gabriel (Ludd), por toda a força nos momentos difíceis, pelas risadas e palhaçadas a altas horas da noite.

Aos eternos companheiros moradores ou ex-moradores da república Toka do Shrek, André, Leonardo (Pé di Pano), João, Mirian, Pedro (Pedrão), Francisco (Gaúcho) e aos agregados que pela sincera amizade ajudaram cada um a sua maneira a tornar essa caminhada menos árdua.

Aos companheiros de Prática de Ensino 2013/2014/2015 (sim, nós conseguimos!), Ana Laura (Mudinha), Danilo (Mudinho), Raphael (Araça/Bagunçero), João (o mesmo João), Wander, Diego (Pastel), Ana Cláudia, Lucas e Jacqueline, por compartilharem os momentos desta disciplina tão especial em nossa formação.

Por fim, gostaria de oferecer um agradecimento muito especial à minha cunhada Fernanda, por todo o apoio, compreensão e paciência, fundamentais para que eu concluísse a etapa final de confecção do texto deste trabalho.

RESUMO

Neste trabalho apresentamos uma proposta didática de utilização de letras de canções para o Ensino de Física voltada para o nível Médio da Educação Básica. Partindo do pressuposto por Zanetic (1990) de que a Física também é Cultura, entendemos que sua influência se estende além dos limites científicos, alcançando esferas do conhecimento onde sua presença é menos óbvia, como as artes, em especial a Música. Baseando-se em propostas de Ramos e Gomes (2013), foram desenvolvidas atividades em duas turmas de segundo ano colegial de uma escola de ensino médio do município de Rio Claro, cada qual com uma abordagem. Em uma das turmas os alunos receberam como material as letras das canções impressas e na outra os alunos receberam uma tabela juntamente com as letras. Nesses materiais os alunos identificaram conceitos físicos presentes nas canções “Abrigo Nuclear” da banda paulistana Premeditando o Breque e “Manhattan Project” da banda canadense Rush. Observamos durante as atividades uma melhoria na participação dos alunos nas discussões teórica, devido provavelmente a um contexto mais favorável para que os alunos se expressem atribuído por nós às atividades com canções. Após a realização das atividades demonstramos que é possível inserir a Música na sala de aula não apenas como entretenimento, mas como elemento auxiliar na investigação e compreensão de conceitos físicos.

Palavras-chave: Ensino de Física. Física e Música. Letras de Canções; Física Nuclear.

ABSTRACT

In this work we present a didactic proposal to use song lyrics for Physics Teaching aimed to High School level. Based on the work proposed by Zanetic (1990) that Physics is also Culture, we understand that its influence extends beyond the scientific boundaries, reaching spheres of knowledge where its presence is less obvious, such as the arts, especially Music. Based on proposals for Ramos and Gomes (2013), activities were conducted in two groups of second year of high school in the city of Rio Claro, each with an approach. In one of the classes the students received as material the lyrics of the songs printed and the other students were given a table along with the lyrics. In these materials the students identified physical concepts present in the songs "Nuclear Shelter" of the São Paulo band Premeditando the Breque and "Manhattan Project" of the Canadian band Rush. We observed during activities an improvement in the participation of students in theoretical discussions, probably due to a more favorable context for students to express themselves assigned by us to the activities with the songs. After performing the activities we demonstrated that you can enter the Music in the classroom not only as entertainment but as an aid in research and understanding of physical concepts.

Keywords: Physics Teaching. Physics and Music. Song Lyrics. Nuclear Physics.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	4
RESUMO	5
ABSTRACT	6
APRESENTAÇÃO	8
CAPÍTULO 1 ESCOLA E A MÚSICA	10
CAPÍTULO 2 CIÊNCIA E ARTE	14
CAPÍTULO 3 A FÍSICA NAS MÚSICAS	19
Abrigo Nuclear e Manhattan Project	20
Física, átomo e energia nuclear	23
Decaimento nuclear e fissão nuclear	32
Reação em cadeia e Bombas Nucleares	33
Fusão Nuclear	36
Aprofundando aspectos do decaimento.....	38
Músicas, Energia Nuclear e Física	41
CAPÍTULO 4 A MÚSICA NA SALA DE AULA: UMA PROPOSTA DIDÁTICA	42
CAPÍTULO 5 ENSINO DE FÍSICA E MÚSICA: OLHANDO CRITICAMENTE	52
CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
ANEXO 1.....	67

APRESENTAÇÃO

O ano era 2013 e com o (aparente?) fracasso da previsão Maia para o fim do mundo me inscrevi no curso de licenciatura em física da UNESP em Rio Claro (SP), depois de me formar como bacharel pelo mesmo campus. Embora possuidor de um significativo e incompleto conhecimento em física, não possuía até então vivência alguma na área da educação e da realidade de nossas escolas públicas.

Na minha família não são raros os casos de membros que decidiram fazer da arte de lecionar sua profissão, embora haja de se reconhecer que grande parte deles pertença aos tempos áureos do professor em nosso país, onde o salário, as condições de trabalho e, principalmente, o prestígio auferido estavam a altura daquela que muitos consideram a mais nobre das profissões.

Outro traço fortemente presente em minha família é a arte, em especial, a música. Waldemar, meu avô materno, embora infelizmente eu não tenha presenciado (ou simplesmente minha memória não tenha registrado), era funcionário público de excelente gosto musical, tocador de piano e ao que dizem – e não ousou duvidar – um exímio violonista. Seu filho, Rodolfo, irmão mais velho de minha mãe, seguiu os passos artísticos do pai desde muito pequeno e, pelo seu talento musical, assumiu ainda na adolescência, os teclados do grupo musical *Mac Rybell*.

Na minha casa, meus pais e meus irmãos me direcionaram musicalmente para um gosto musical diferente daquele que tocava nas rádios. Dos consagrados sambas enredos ao swing e funk de Tim Maia e Jorge Ben Jor e Wilson Simonal, a música começava a chamar minha atenção. No entanto foi com a audição dos CDs *Ozzmosis* e *No More Tears*, ambos do músico e compositor Ozzy Osbourne, que o *Heavy Metal* entrava na minha vida como meu estilo musical preferido e predominante.

No segundo semestre de 2002 eu abandonaria a posição de mero ouvinte me inscrevendo como aluno em uma escola de música de Ourinhos (SP), minha cidade natal. Lá eu descobri o Blues, o Jazz, a música instrumental e a improvisação nos cursos de piano e de técnica vocal.

Esta forte ligação entre a música e o ensino, no meu caso o de física, daria origem a ideia do presente trabalho no final de 2013 em dois momentos. O primeiro nas primeiras conversas com o orientador sobre temas possíveis e o segundo em

um curso ministrado pelos Prof. João Eduardo Fernandes Ramos e Prof. Emerson Ferreira Gomes, onde habilmente apresentaram aos participantes, diversas maneiras como a ciência está presente na arte. A maneira como decidimos levar esta forma de arte para a sala de aula foi por meio das letras de algumas canções previamente selecionadas, com o objetivo de procurar tratar temas de física a partir da análise de letras de canções.

Este trabalho é produto das atividades realizadas durante o ano de 2014 com o objetivo de verificar a possibilidade de se introduzir canções como alternativa pedagógica para o ensino de física do ensino médio, caracterizando-a como elemento disparador. Para isso, iniciou-se a discussão de tópicos de física a partir dos conceitos ou teor físico presente nas letras das canções “Abrigo Nuclear” do grupo paulistano Premeditando o Breque e “*Manhattan Project*” do grupo canadense Rush. Estas duas canções foram escolhidas por conterem elementos científicos em seu discurso lírico, por estes serem comuns entre as canções utilizadas e por estas caracterizarem cultura mais elaborada e, portanto, um desafio adicional para a interpretação dos alunos. O fato das canções terem como temática elementos da física nuclear, acabamos verificando também a possibilidade de se ensinar esse ramo da física nas séries do ensino médio.

As atividades foram desenvolvidas em duas turmas de segundo ano de uma escola do ensino médio de Rio Claro. Duas metodologias diferentes foram utilizadas nas aulas com canções, uma para cada turma. Uma das turmas recebeu como material apenas as letras das canções, enquanto a outra teve acesso também a uma tabela previamente preparada. Neste trabalho são descritas a metodologia e os resultados de cada abordagem.

CAPÍTULO 1

ESCOLA E A MÚSICA

As ênfases curriculares apresentadas nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), documento elaborado em consequência das Leis de Diretrizes e Bases (LDB) de 1996, sugerem a necessidade de contextualização entre o conteúdo escolar e o cotidiano dos alunos, de modo a facilitar a assimilação e a construção do conhecimento e a incentivar a interdisciplinaridade (GOMES 2010; GAMA, 2006). Dessa forma a LDB de 1996 iniciou um processo de importantes mudanças educacionais em nosso país, introduzindo novas tendências e práticas pedagógicas. Dentre seus objetivos, uma escola de melhor qualidade, a formação de indivíduos críticos e mais conscientes com o mundo a sua volta (GAMA, 2006), caráter de terminalidade à educação básica e introdução de um ensino por competências (RICARDO, 2003).

Também contemplado pelo documento supracitado está o Ensino de Física, o qual de acordo com o mesmo deve se esforçar para afastar-se do ensino tradicional, calcado na *memorização das fórmulas* e na *resolução excessiva de exercícios padronizados e pouco significativos* (BRASIL, 1996) e aproximar-se de uma Física que contemple uma *compreensão qualitativa dos conceitos* aliada aos experimentos em sala de aula e exemplos da vida cotidiana dos alunos, tornando o ensino desta ciência, mais significativo (GOMES 2010; GAMA, 2006).

A implementação das artes nos currículos escolares, incluindo aqui a música, também está prevista na LDB de 1996, cuja redação reconhece a música como disciplina (GRANJA, 2006). Em 2008, inclusive, uma nova Lei alterou o texto original e colocou o ensino de música como elemento obrigatório, mas não exclusivo, do componente curricular (GOMES 2010).

Na literatura acadêmica, encontramos importantes exemplos e iniciativas para se unir a arte com o Ensino de Física. Dentre os estudos, podemos destacar os trabalhos acerca de Literatura e Física de Ramos (2012) e Zanetic (2006) e os que traçam paralelos entre a Física e a Música, como em Zanetic (2006), Moreira & Massarini (2006), Gomes (2013) e Gama (2006).

Por meio das disciplinas Prática de Ensino e Estágio Supervisionado I e II (PEF), cursadas, respectivamente, nos anos de 2013 e 2014, como parte integrante

do currículo de licenciatura em física pela UNESP de Rio Claro, tive a oportunidade de vivenciar como a Física é abordada em três escolas da rede pública de ensino da cidade de Rio Claro, sendo uma do ensino primário e outra do secundário.

Embora existam os documentos oficiais recentes que propõem a orientação renovada para o Ensino de Física em nossas escolas de educação básica, bem como trabalhos de cunho acadêmicos que pretendem ilustrar ou desenvolver situações que contemplem tais orientações, o que pude observar durante o estágio da disciplina é que o modo como a Física é ensinada em nossas escolas ainda guarda forte semelhança com a maneira como fui ensinado, quando cursava o ensino médio e acredito que também no ensino superior.

O professor, atuando como fonte detentora de conhecimento daquela matéria/disciplina, apresenta o conteúdo de maneira tradicional, colocando os conceitos na lousa ou lendo-os em voz alta aos alunos; na sequência uma série de exercícios, obedecendo e seguindo a ordem de acordo com o livro didático adotado, do mais simples para o mais complexo.

Neste método de pretensa transmissão de informação e conhecimento há pouca interação entre o que está sendo desenvolvido em lousa pelo professor e a impressão dos alunos em relação ao conteúdo. Estes geralmente são solicitados a falar e participar da atividade didática quando o realiza professor pergunta retórica “alguma dúvida?”, ao que, invariavelmente, decorre um silêncio que considero deveras perturbador.

Por vezes dialogando com os alunos do Ensino Médio, eles me contavam suas impressões afirmando que Física era a pior das disciplinas, a mais difícil e porque não, a mais chata de todas. Essa análise por parte dos educandos não me surpreendeu, pois convivi com este quadro durante minha vida escolar (eu era talvez o único da sala que se identificava com a disciplina de Física) e relatos semelhantes podem ser encontrados na literatura (CANATO, 2003; JAIME, 2010).

A ordem na qual os conteúdos são apresentados também continua extremamente semelhante: Mecânica no primeiro ano, Termodinâmica e Ondas no segundo e Eletromagnetismo no terceiro. Saliento ainda o destaque, pelo menos no primeiro ano do ensino médio, do estudo da cinemática, tópico este que ocupou mais de seis meses das aulas dedicadas à Física em uma das escolas. Mais interessante, entretanto, é a consequência: o baixo desempenho nas avaliações e

listas de exercícios por parte dos alunos, mesmo após tantas horas dedicadas ao estudo do movimento.

Se a situação do Ensino de Física na escola de Educação Básica não é muito animadora, podemos dizer que a da Música é ainda mais preocupante. Apesar da orientação oficial e do consenso entre muitos profissionais da Educação de que a introdução e manutenção das artes são necessárias na Educação Básica, a realidade aponta frequentemente para uma presença tímida ou simplesmente ausente da Música nos estudos sobre conteúdos artísticos produzidos no decorrer da história humana.

De fato, como aponta Granja (2006), o que observamos invariavelmente nos currículos escolares, é uma forte tendência em colocar em segundo plano as disciplinas responsáveis por desenvolver as capacidades perceptivas do indivíduo, como a Música ou a Dança, e priorizar o conhecimento de caráter interpretativo e conceitual, como Língua Portuguesa e Matemática. Esta tendência se agrava ainda mais nas séries do Ensino Médio em razão da forte influência que os exames vestibulares exercem nos conteúdos das últimas séries da Educação Básica.

Na escola em que desenvolvi o presente trabalho tive a oportunidade de observar que os alunos possuem atividades artísticas durante o período de aula. No entanto, a participação me pareceu eletiva e os horários dos ensaios do grupo de teatro, por exemplo, eram concomitantes com o de outras disciplinas, como presenciei, por vezes, na confecção de cartazes, com a utilização de recortes de jornais e revistas e desenho manual.

Na parte musical houve três episódios que me chamaram a atenção. O primeiro deles ocorreu quando fomos convidados a acompanhar a visita dos alunos do terceiro ano ao Clube dos Cavaleiros Victorino Machado¹ da cidade de Rio Claro. O fim da excursão foi marcada pela *performance* musical de uma banda de *Rock*, onde pude reconhecer o vocalista como um aluno de um dos terceiros anos da escola. O segundo episódio ocorreu em sala de aula, enquanto aguardava a chegada da professora de Literatura, responsável pela disciplina onde foram desenvolvidas as atividades, à sala de aula. Durante a espera, um grupo de alunos, reunidos no fundo da sala, cantarolavam canções do *Rock* nacional acompanhados pela harmonia tocada em violão por um dos alunos da turma. O terceiro episódio

¹ Clube de hipismo localizado na cidade de Rio Claro

ocorreu durante a festa junina, onde os alunos dos terceiros anos literalmente pararam as atividades didáticas e administrativas de toda a escola, para que todos pudessem assistir às apresentações de suas respectivas interpretações desta tradicional celebração popular.

Acho interessante ressaltar que o trabalho desenvolvido nessa escola pública infelizmente é exceção à regra. É usual que a disciplina de Artes, quando existente nos currículos das escolas (as particulares incluídas) seja geralmente desarticulada das outras disciplinas, assumindo frente aos alunos caráter de atividade, “aula vaga” ou “aula de desenho”, pelo privilégio às técnicas e aos procedimentos de Artes Plásticas.

Em relação à presença da música no currículo ou no cotidiano das escolas, o quadro geral é o de sua utilização apenas como sinônimo das festividades escolares e atividades de integração (GRANJA, 2006), como por exemplo, a festa junina, o aniversário da escola ou até mesmo, o aniversário de um professor ou aluno, quando do canto do “Parabéns pra Você” pelos colegas. Observa-se então uma forte tendência de se tornar a escola um lugar onde impera o silêncio, tanto musical, quanto criativo, que teoricamente irá subsidiar e garantir a manutenção da ordem e da disciplina. Na prática, entretanto, o que invariavelmente testemunhamos é que, acompanhando a subutilização e sistemática exclusão da música do ambiente escolar, há uma recorrente sinfonia descompassada entre educadores e educandos, porém quando a Música surge há um arrebatamento, uma aceitação de possibilidades.

CAPÍTULO 2

CIÊNCIA E ARTE

Em um primeiro momento pode soar estranha a ideia de estabelecer uma conexão entre a Ciência Física e a Arte Musical. A primeira nos remete geralmente aos livros didáticos e ao rigor matemático das equações, enquanto a segunda nos causa uma sensação agradável, de algo que nos traz prazer ou momentos de lazer, obviamente com canções de nosso gosto pessoal. O caminho oposto, entretanto, de se pensar a Física como uma arte e a Música como instrumento científico é menos óbvio e muitas vezes ignorado. Porém, nem sempre foi assim.

Na Grécia Antiga, por exemplo, a música ocupava papel central na sociedade. Desde os tempos de Homero (séc. VIII a.C.) encontra-se na educação aristocrática o estudo da lira e do canto. No currículo escolar a música, ao lado da aritmética, da geometria e da astronomia, compunha o chamado *Quadrivium*, o conjunto de disciplinas de caráter mais teórico da educação grega (GRANJA, 2006).

Mesmo que desde os tempos de Platão o *status* e a presença da Música já apresentassem os primeiros sinais de enfraquecimento, a arte dos sons manteve grande influência na maneira como os filósofos encaravam a natureza e em como os cientistas buscavam explicá-la. A “Harmonia das Esferas Celestes”, baseada na escala sonora de Pitágoras, comparava a harmonia presente nos intervalos fundamentais da música com o movimento dos planetas. Este trabalho influenciaria Kepler anos mais tarde, a propor seu próprio modelo de harmonia cósmica (GRANJA, 2006).

Nos últimos anos, pesquisadores da área de Ensino de Física buscaram maneiras de relacionar a Física com uma das formas de manifestação artística. Ramos (2012) e Gomes *et al.* (2010) discutem estratégias de ensino por meio da leitura de textos de literatura fantástica, ricos em conceitos físicos, para um aprendizado mais significativo da física aliado à interdisciplinaridade com a literatura e o desenvolvimento do hábito da leitura. Outros autores como Gomes (2013), Gomes & Piassi (2011), Moreira & Massarini (2006) e Zanetic (2006) traçam um paralelo entre Física e Música, identificando aspectos da física presente nas letras das canções.

É interessante verificar que nestes trabalhos a relação entre Física e Música não se restringe apenas aos conceitos físicos e formulações matemáticas do som, sua formação e propagação, mas também do discurso lírico e de conceitos científicos por trás deste. Tais abordagens ampliam as possibilidades com a qual a música poderia aparecer na escola, em especial nas aulas de Física, passando a ser mais do que um tópico que compõe o capítulo de ondas.

Uma dessas possibilidades é considerar a Música como recurso didático para o estudo dos mais variados temas de Física, como observado nos trabalhos já citados, e será discutido com a análise das duas canções escolhidas durante este trabalho.

A introdução da música na escola possui, portanto, raízes científicas e culturais. Há nessa prática um diálogo com o referencial pedagógico introduzido pelo pedagogo Georges Snyders, em seu trabalho intitulado “A Alegria na Escola”. Nele, Snyders identifica dois tipos de cultura presentes no ambiente escolar. Uma delas ele chama de “cultura primeira”, trazida pelo estudante, de caráter imediato, não sistematizado, produto das experiências da vida ou da influências dos produtos da cultura da massa. A outra, a “cultura elaborada” ou “cultura escolar” é representada pelo conhecimento escolar, científico, geralmente introduzido pelo professor (GOMES & PIASSI 2011; CARVALHO; 1999). Para Snyders, para que haja satisfação por parte do aluno no processo de aprendizagem, o professor deve iniciar a abordagem pela cultura primeira e a partir dela iniciar o processo de ruptura e continuidade com a apresentação da cultura elaborada. Ao fim do processo o aluno terá uma nova visão, mais ampla e plena, do objeto estudado, do problema apresentado (CARVALHO, 1999).

As transformações sociais e econômicas e as consequências históricas e ambientais podem ser marcantes o suficiente para que conjuntos musicais utilizem os acontecimentos como fonte inspiradora para suas canções (GOMES, 2013). Assim, a música transcende sua natureza cultural quando há no discurso lírico a presença de elementos históricos, geográficos, físicos e matemáticos, que possibilitam uma ponte entre tópicos e conceitos relacionados às disciplinas do currículo escolar, aspecto que a torna matéria-prima para a interdisciplinaridade ou multidisciplinares.

Além de transcender sua natureza de ente artístico-cultural e transitar pelo discurso científico, a música por estar presente nas mais diversas situações sociais e culturais e por ser a forma de arte mais consumida pelos jovens do ensino médio (quando não a única), age no contexto pedagógico como temática motivadora, meio motivador, contextualizador e auxiliar na construção do conhecimento, constituindo-se como intermediária na tarefa da quebra do preconceito dos alunos para com a disciplina de Física, comumente associada por eles como inacessível, difícil, rígida e complicada (GAMA; 2010). Ainda, a Música pode ser utilizada como meio de inserção cultural, enriquecimento da língua ou aprendizado de outra e também, auxiliar de apropriação de conteúdo acadêmico. Isso pode vir acompanhado de um fator emotivo por parte do aluno, uma “alegria” em aprender, incentivando sua participação e sua expressividade, trazendo para a sala de aula suas próprias experiências e expectativas (SARAIVA, 2012).

Nos parágrafos anteriores buscamos apresentar a arte musical tanto como produto e objeto cultural sujeito ao contexto político, social, econômico e tecnológico concomitante ou não à sua concepção, quanto como, por vezes, detentora de significados científicos, pedagógicos e históricos.

É possível também fazer o caminho inverso para a Ciência, ou seja, identificá-la como manifestação cultural, responsável por transformar e influenciar a sociedade e por ela ser transformada e influenciada. Em sua tese “Física também é cultura” Zanetic (1990, p.22) diz que “o conhecimento científico é um produto da vida social e como tal leva a marca da cultura da época, da qual é parte integrante, influenciando e sendo influenciado por outros ramos do conhecimento”.

Portanto, assim como a Arte, a Física sofreu e sofre influência direta do contexto histórico, social e político na qual está inserida e se desenvolve. Exemplos de tal influência podem ser atribuídos, por exemplo, a aspectos econômicos quando do desenvolvimento das máquinas térmicas e teoria termodinâmica a elas associada (ZANETIC, 1990, p. 21), ou no conhecimento da hidrostática para drenagem da água nas minas de exploração (MERTON, 1970, apud ZANETIC, 2005). O estudo de projéteis foi fundamental para a indústria militar durante o século XVII e mais recentemente no século XX, o advento da física nuclear levou à posterior fabricação de artefatos nucleares e a configuração econômica bipolarizada durante o período da Guerra Fria. Ainda, o poder religioso teve grande parte no modo como os

trabalhos de Galileu Galilei e Nicolau Copérnico, para citar alguns, foram encarados na época em que foram publicados (ZANETIC, 1990).

Dessa maneira Zanetic enuncia:

A física também é cultura. A física também tem seu romance intrincado e misterioso. Isto não significa a substituição da física escolar "formulista" por uma física "romanceada". O que desejo é fornecer substância cultural para esses cálculos, para que essas fórmulas ganhem realidade científica e que se compreenda a interligação da física com a vida intelectual e social em geral (ZANETIC, 1990, p. 8).

Para este mesmo autor, é preciso analisar o ensino de física a partir de uma perspectiva mais humanista, tratando-a como elemento da humanidade e da história, e, portanto, elemento cultural, sujeito às influências e ligado às aspirações sociais e intelectuais. Evitar que a Física seja apresentada de maneira reduzida ao "formulismo", ou seja, um conjunto de leis e equações descontextualizadas entre si e entre a realidade (do professor, do aluno, do povo), tendo como objetivo final apenas a aplicação em uma série de exercícios.

A prática sugerida por Zanetic deve contemplar as mudanças epistemológicas da Física, frutos de novas observações e da necessidade de um modelo que as explicasse. Para isso deve se incluir, conseqüentemente, a História da Física, tanto interna (história do surgimento dos conceitos e criações das teorias decorrentes) quanto externalista (cenário político, econômico e social), ou seja, o contexto em que foi desenvolvida

a física enquanto cultura não pode prescindir desses aspectos "externalistas", como a influência sócio-econômica, abordagens ideológicas, as 'definições' de métodos científicos, a história dinâmica da física, que compõem um mosaico que fornece a substância necessária para dar sustentação estrutural ao algoritmo, à experimentação, às teorias científicas e suas aplicações. (ZANETIC, 1990, p.105).

Como salienta Zanetic, a formação do professor ou do pesquisador deve contemplar seu papel na difusão do conhecimento científico na Educação:

Acredito que este tipo de discussão não pode estar ausente tanto da formação do pesquisador em física quanto da formação do professor de física que, devido ao seu papel na educação básica, acaba sendo o elemento que serve de correia de transmissão entre a "cultura científica" e a maioria da população. [...] É a Física compondo um elemento cultural necessário para a formação de qualquer cidadão contemporâneo. (ZANETIC, 1990, p.105).

O presente trabalho buscou trazer este caráter humanista para as aulas de física, buscando na música e em seus elementos sonoros e líricos os conceitos de física necessários para inserir o aluno na abordagem teórica, reconhecendo ao mesmo tempo a física como produto da história do Homem. Cabe ressaltar que houve aceitação da proposta tanto por parte do coordenador pedagógico, quanto da professora de literatura.

Assim, dado seu caráter de formação cultural no ensino básico, o Ensino Médio deveria ser caracterizado por uma contínua preocupação do professor em se introduzir métodos que se afastem da forma tradicional e dominante do Ensino de Física, calcado na resolução de exercícios e apresentação de fórmulas, leis e conceitos.

Deveria haver um esforço deste no sentido de proporcionar ao aluno (e ao próprio professor) a possibilidade de enxergar sua disciplina não como uma área do conhecimento isolada, superior ou mais complexa que as outras, mas sim historicamente articulada com todas as outras e também com as Artes, em especial, à Música. Para com esta última, segundo Jaime (2010), *“Uma lente na qual Ciência e Música apareçam no mesmo plano, vindas as duas de uma raiz comum, de uma mesma origem”*.

CAPÍTULO 3

A FÍSICA NAS MÚSICAS

Tanto a Física quanto a Música fazem parte da cultura da humanidade, ora dissociados, ora conversando entre si. Nos últimos anos alguns autores buscaram identificar conceitos físicos no discurso lírico de canções nacionais e internacionais.

Moreira & Massarini (2006) analisaram letras de canções de artistas nacionais da MPB, do samba e da bossa-nova e identificaram a presença de conceitos da ciência, como no caso da canção *Quanta* do compositor baiano Gilberto Gil ou de *A Televisão* do compositor carioca Chico Buarque. Zanetic (2006) encontra no samba *Tempo e Espaço* de Paulo Vanzolini, conceitos da física clássica e moderna no decorrer da letra. Exemplos de tal caracterização podem ser encontrados nos versos: “*O homem da rua/ Que da lua está distante/ Por ser nego bem falante/ Fala só com seus botões*” (BUARQUE, 1967); “*Das conjunções improváveis/ De órbitas instáveis/ É que me mantenho*” (VANZOLINI, s/data) No âmbito internacional as letras de *Rock* de artistas nacionais e, principalmente internacionais, são colocadas em evidência nos trabalhos de Gomes (2013) e Gomes & Piassi (2011), como podemos identificar nos seguintes versos: “*This is Major Tom to ground/ I’m stepping through the door/ And I’m floating in the most peculiar way/ And the stars look different today*” (BOWIE, 1969).

É interessante notar que não há uma relação automática entre Física e as canções. Obviamente grande parte das canções produzidas não é adequada para que esta atividade de relação entre física e música seja possível, pois muitos dos gêneros musicais priorizam o discurso sentimentalista, festivo e despreocupado. Algo semelhante pode ser dito quanto ao uso do cinema ou das artes plásticas para as atividades de Ensino de Física. É necessária uma busca por canções que contenham elementos científicos em seu discurso, um trabalho difícil, que requer conhecimentos de Física e de canções.

Segundo Gomes (2013) o *rock* possivelmente se apresenta como o gênero que mais se apropria de temas científicos em seu discurso lírico e musical. Esta característica pode se relacionar com o fato do *Rock* surgir num período marcado historicamente pela revolução tecnológica, pelo advento da eletrônica e dos

produtos sintéticos. Musicalmente, o *Rock* se apropria da eletrônica aplicando-a em seu instrumento de maior destaque, a guitarra, amplificando e distorcendo o som nas composições.

A presença da ciência e a maneira como é apresentada nas letras de *Rock* pode se caracterizar também como um possível elo entre a cultura primeira do estudante e a cultura elaborada, como analisa Snyders (2008, apud GOMES, 2013):

[...] o rock não se reduz de forma alguma ao prazer de agitar o corpo e bater as mãos em cadência com um fundo sonoro, não se restringe a uma função recreativa; não se limita a ser uma música que ouvimos de vez em quando; ambiciona chegar a ser, em todas as áreas, uma maneira de vida; um estilo de vida [...] Em resumo, o rock visa a valores essenciais, através do que se liga às aspirações da cultura elaborada; eu ousaria dizer que por seus objetivos que ele se diferencia da cultura escolar, pelo menos de uma cultura escolar que vá até o fim em suas exigências próprias de ajudar os jovens a encontrar a própria alegria, o próprio caminho. Ele rompe, desta forma, com as músicas ligeiras e fáceis, e também com muitas músicas medíocres (SNYDERS, 2008, p. 148).

Saliento, porém, que esta característica não é exclusiva do *Rock* e também que logicamente há neste estilo a presença de canções de baixa categoria musical e/ou lírica ou que simplesmente não tratem sobre algum tema científico.

Abrigo Nuclear e Manhattan Project

No presente trabalho foram analisadas duas canções, sendo elas “*Abrigo Nuclear*” do grupo paulistano *Premeditando o Breque*, um dos expoentes de um movimento cultural brasileiro denominado Vanguarda Paulistana, encontrada no disco *Somos Iguais* de 1985 e “*Manhattan Project*” do grupo canadense *Rush*, um dos expoentes do denominado *Rock Progressivo*, encontrada no disco *Power Windows* de 1985. As análises foram tanto no ponto de vista musical, através de sons que chamassem a atenção dos alunos, quanto lírico, em passagens da letra que julgassem conter elementos da Física.

Abaixo estão apresentadas as letras de ambas as canções acompanhadas em seguida de minha análise e interpretação de alguns versos que a meu ver apresentam conceitos físicos e interdisciplinares. Aproveito para salientar que as letras de ambas as canções estão presentes no anexo deste trabalho, bem como o *link* para audição das obras musicais.

Podem-se identificar diversos elementos decorrentes do conjunto de teorias físicas surgidas no início do século XX, a chamada física moderna (conteúdo geralmente ausente ou pouco explorado no ensino médio), presentes nas letras de ambas as canções. A seguir apresento alguns dos trechos das canções nos quais, dada minha interpretação, contém conceitos de física ou interdisciplinares.

No caso da canção *Abrigo Nuclear* a ironia é presente durante todo o discurso lírico, com passagens que remetem o ouvinte à sensação de estar ouvindo uma propaganda de rádio, dado o tom alegre com o qual é cantada. A divisão de classes sociais e econômicas e o comportamento da classe dominante caracterizado pelo medo e conseqüente ânsia por isolamento são representados, por exemplo, no trecho *“Um recanto sossegado prá você e sua família/ E deixe o mundo queimar a vontade lá fora”*. O poder econômico aparece na forma de um possível financiamento de um imóvel de preço exorbitante, encontrado no trecho *“Você tem a sua vida/ Inteira para pagar”*. Nos trechos destacados abaixo, a *“hora H”* pode representar tanto o momento certo, preciso, determinado, quanto uma alusão à bomba de hidrogênio, fruto da fusão nuclear e a palavra *“radiação”* logicamente representando a radioatividade, um dos produtos de uma explosão nuclear. Na canção *Abrigo Nuclear* estes elementos estão representados nos trechos abaixo:

*“Não viva inseguro
Com medo da hora H
Pois afinal chegou
(O primeiro)
Abrigo Nuclear”*

*“Venha morar com comodidade
Total segurança
A prova de roubo, fogo e radiação”*

Na canção *Manhattan Project* pode-se observar uma descrição mais histórica do desenvolvimento das bombas nucleares durante a Segunda Guerra Mundial, até pelo próprio título desta obra musical, ao mencionar o projeto americano de desenvolvimento das primeiras bombas atômicas. Podem-se identificar passagens no discurso lírico onde a corrida pelo desenvolvimento da bomba é evidente como, por exemplo, nos trechos originais: *“A weapon that would settle the score/ Whoever found it first/ Would be sure to do their worst”* e também em *“A scientist pacing the*

floor/ In each nation always eager to explore/ To build the best big stick". Questões políticas podem ser encontradas no trecho "*The big shots try to hold it back/ Fools try to wish it away*", onde a expressão "*to hold it back*" pode significar o esforço dos "*big shots*", ou seja, pessoas importantes e influentes da época, como Albert Einstein, para que o programa nuclear não avançasse ainda mais, ou que novas bombas não fossem lançadas, enquanto os "*fools*", provavelmente os políticos e cientistas engajados em dar continuidade ao projeto procuram uma maneira de "*to wish it away*", ou seja, uma forma de minimizar os danos e efeitos das bombas no Japão e na sociedade em geral. Conceitos físicos também podem ser encontrados no discurso, como os explicitados nos trechos a seguir:

*"The big bang took and shook the world
Shoot down the rising sun
The end was begun and it would hit everyone
When the chain reaction was done"*

Neste trecho há uma relação entre o poder destrutivo proveniente da liberação de energia em uma explosão nuclear o barulho causado por uma explosão de um artefato nuclear e até mesmo o fenômeno chamado de "*Big Bang*", uma das teorias científicas para explicação da criação do Universo a partir de uma grande explosão inicial. Ainda no trecho destacado há alusão ao fenômeno da reação em cadeia, elemento chave para a construção dos artefatos nucleares e ao Japão, simbolizado pela expressão "*rising sun*".

Nos parágrafos que se seguem será apresentada uma breve discussão dos conceitos, teorias e modelos físicos desenvolvidos durante o desenvolvimento da física nuclear. Dar-se-á prioridade aos conceitos físicos que considere viáveis para serem discutidos em sala de aula com os alunos quando as atividades foram desenvolvidas na escola. Assim os tópicos abordados serão: (1) os modelos atômicos de Ernest Rutherford e Bohr; (2) a radioatividade, com ênfase nas radiações alfa, beta e gama e; (3) a fissão nuclear, com ênfase nos mecanismos da fissão, da reação em cadeia e da fórmula de equivalência massa energia, $E = mc^2$. Interessante notar que os tópicos da teoria discutidos em sala de aula não estão necessariamente presentes nas canções, mas que a análise destas atuou como "gatilho" para o posterior aprofundamento. Insiro aqui, antes da discussão formal, um

fluxograma, representado na figura (1), com o intuito de apresentar ao leitor a riqueza do assunto e alguns dos diversos ramos e direcionamentos que a discussão pode assumir quando tratamos de física nuclear.

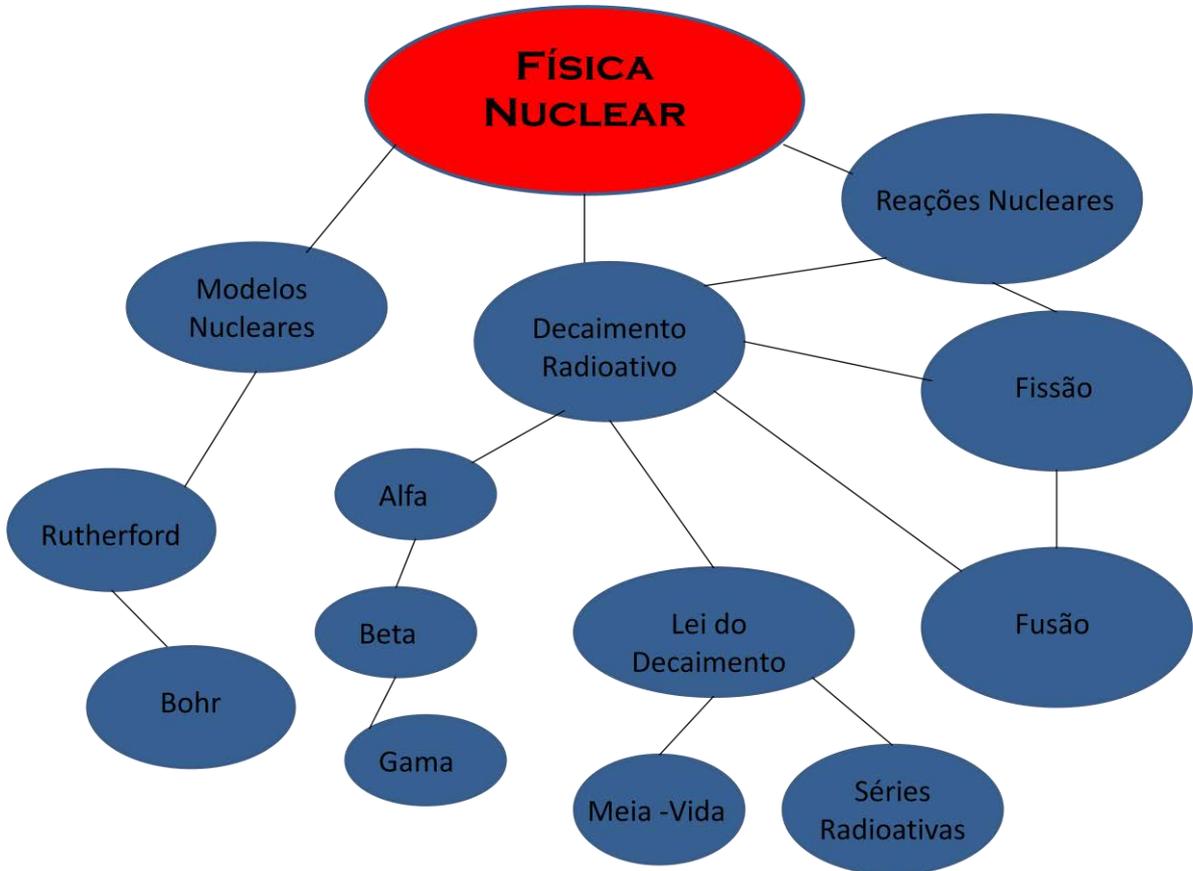


Figura 1:
Fluxograma representando alguns dos conceitos físicos presentes na discussão de física nuclear.

Física, átomo e energia nuclear

Em 1904 um dos modelos atômicos vigentes era o proposto por J. J. Thomson, que tratava o átomo como um aglomerado de cargas elétricas negativas, os elétrons, distribuídos uniformemente em um corpo esférico de carga positiva (EISBERG & RESNICK, 1979). Pelo modo como o átomo era representado, este modelo recebeu o nome de “Modelo do Pudim de Passas”. A figura a seguir representa o átomo segundo tal modelo:

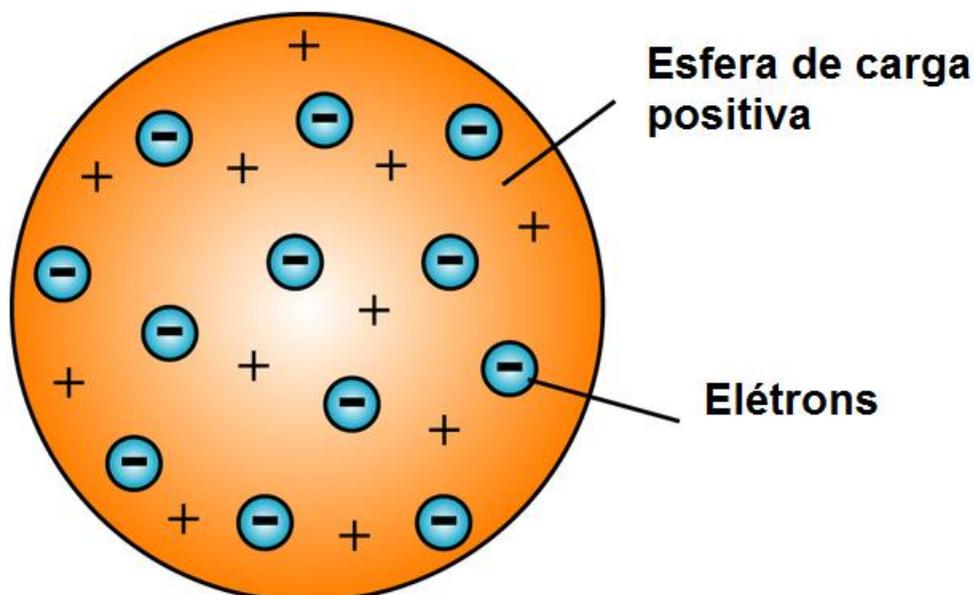


Figura 2:
A representação do átomo segundo o “Modelo do Pudim de Passas” idealizado por Thomson (retirado e modificado de: pixgood.com/jj-thomson-atomic-theory-plum-pudding-model.html. Acessado em 18/01/2015).

Este modelo mudaria a partir das experimentações de Hans Geiger, Ernest Marsden e Ernest Rutherford, no ano de 1911 (EVANS, 1955). Trabalhando com materiais radioativos, como o rádio, Rutherford e seus companheiros colocaram o modelo de Thomson a prova com o experimento conhecido como “O experimento da folha de ouro”. Neste experimento um material radioativo emite radiação alfa de modo colimado em direção a um obstáculo, no caso, uma folha de ouro (na verdade eles utilizaram vários outros metais como a prata, a platina e o alumínio). Um detector (sulfato de zinco) foi colocado ao redor, após a folha de ouro, para detectar partículas alfa espalhada com ângulos maiores que o esperado. Como a quantidade de movimento da partícula alfa (*momentum*), e conseqüentemente sua velocidade, era muito alta, se o modelo de Thomson estivesse correto, todas as partículas seriam registradas na região do detector localizada linearmente após a fonte, logo atrás da folha de ouro, com uma distribuição angular previamente definida. Seria como se as partículas alfa fossem bolas de boliche arremessadas contra folhas de papel.

No entanto, após realizarem diversas observações, registros no detector caracterizaram o espalhamento a ângulos pequenos e grandes. Um dos mais surpreendentes aos experimentadores eram as partículas que praticamente voltavam em direção à fonte, o que levou a Rutherford afirmar que seria semelhante

a atirar com um revólver em uma folha de papel e a bala ricochetear. A partir deste experimento Rutherford e seus companheiros começaram a acreditar que a massa do átomo não estaria distribuída, como de acordo com o modelo de Thomson, mas sim concentrada em pequeno centro, o núcleo, cujo raio seria ordens de magnitude menor que o raio atômico.

A figura a seguir procura ilustrar, de maneira sucinta, a configuração experimental, as observações e as conclusões dos pesquisadores.

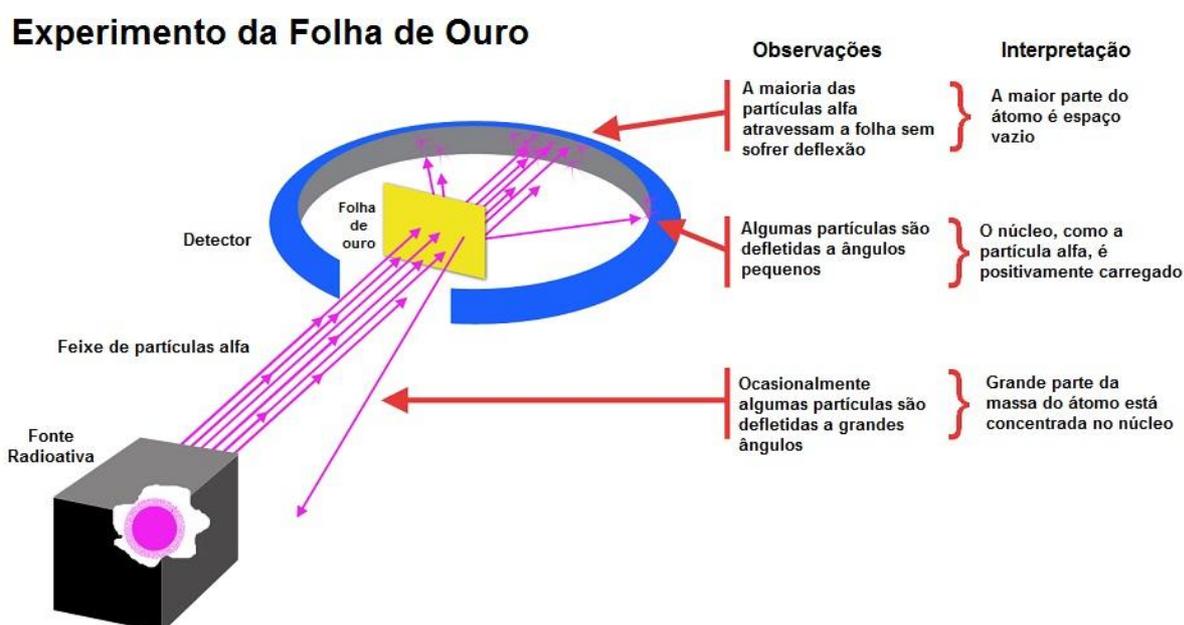


Figura 3:

O “Experimento da fola de ouro”, as observações dos pesquisadores e posteriores conclusões. (retirado e modificado de: www.teachastronomy.com/astropedia/article/The-Structure-of-the-Atom).

Após estas interpretações, Rutherford criaria um novo modelo para o átomo, denominado “Modelo Planetário”.

O modelo planetário de Rutherford também apresentaria inconsistências com outras observações experimentais. Algo que os cientistas e pesquisadores ainda não conseguiam explicar era a forma dos espectros obtidos pela análise de gases. Os espectros eram compostos por linhas e não um *continuum*. É aqui que começa a contribuição de Niels Bohr. Para Bohr, seria possível explicar os resultados dos espectros não contínuos se houvesse uma quantização dos estados de energia possíveis.

Para procurar uma forma de provar isto, Bohr considerou um núcleo de carga positiva Z , com um elétron descrevendo uma órbita circular ao redor deste, com velocidade v , tangente à órbita. Desta forma, o que equilibra a força coulombiana atrativa entre o núcleo e o elétron é a força centrípeta devido ao movimento orbital deste (EISBERG & RESNICK, 1979).

Podemos então escrever tais relações da seguinte forma:

$$\text{Força Centrípeta : } ma = -m \frac{v^2}{r} \quad (1)$$

$$\text{Força Coulombiana : } -\frac{Zee}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (2)$$

Na equação (1) m é a massa do elétron, v a velocidade orbital e r o raio da órbita. Em (2) Ze é a carga do núcleo, e a carga do elétron, ϵ_0 a permissividade elétrica do vácuo e r o raio da órbita.

Assim, para que uma órbita possa ser estável, ambas as forças devem ser iguais, assim:

$$m \frac{v^2}{r} = \frac{Zee}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (3)$$

No entanto, um corpo em movimento pode ter qualquer valor de velocidade. Para resolver este problema, Bohr desenvolveu um Postulado. Ele considerou que o momento angular L não poderia assumir qualquer valor para v e r , mas sim múltiplos inteiros da constante de Planck, em outras palavras, o elétron não poderia girar em qualquer posição. Basicamente:

$$L = mvr = n \frac{h}{2\pi} \quad (4)$$

Vamos agora multiplicar a equação (3) por um fator de mr^3 . Assim:

$$m^2 v^2 r^2 = \frac{Ze^2 mr}{4\pi\epsilon_0} \quad (5)$$

O lado esquerdo da equação é simplesmente o momento angular elevado ao quadrado. Podemos então eliminar a dependência da velocidade, igualando o quadrado do lado direito da equação (4) com o lado direito da equação (5). Assim:

$$n^2 \frac{h^2}{(2\pi)^2} = \frac{Ze^2 mr}{4\pi\epsilon_0} \quad (6)$$

Podemos agora resolver para o raio r , de modo que:

$$r_n = \frac{n^2 h^2 \epsilon_0}{\pi Z m e^2} \quad (7)$$

Resolvendo para a primeira órbita ($n=1$) e para o átomo de hidrogênio ($Z=1$), obtemos o valor de $0.529 \cdot 10^{-10} m$. A figura abaixo busca ilustrar o modelo de Bohr:

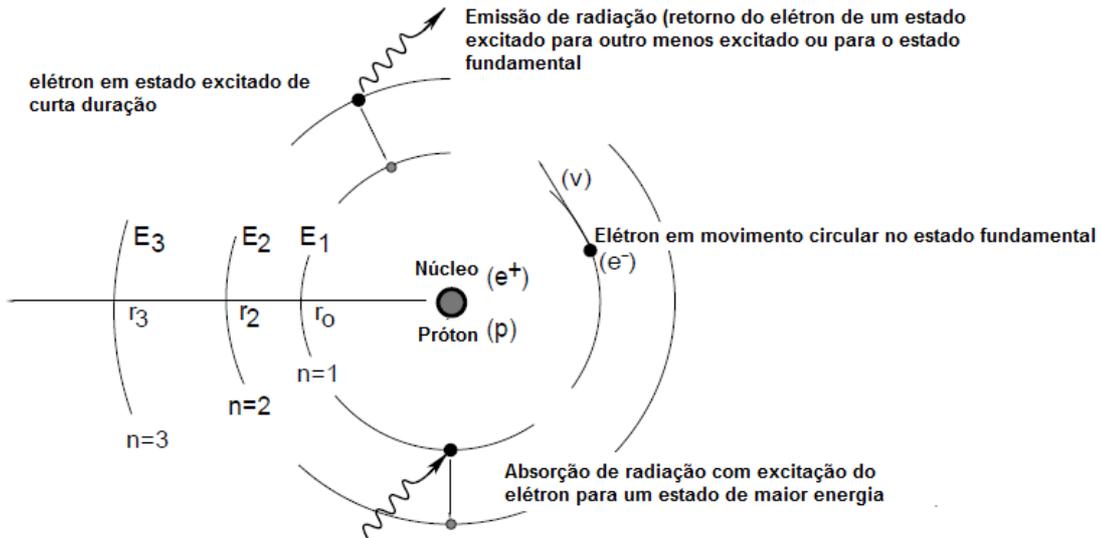


Figura 4:

O átomo de hidrogênio segundo o modelo de Bohr. Na figura acima r_0, r_2 e r_3 representam o raio das órbitas, E_1, E_2 e E_3 representam as energias das órbitas e n_1, n_2 e n_3 são os chamados números quânticos principais. (Retirado e modificado de: https://courses.edx.org/courses/MITx/3.091x/2013_Spring/book/1/, p.3)

Outra forma de ver essa questão é estudar a energia do elétron, nesse caso para o caso do hidrogênio. Podemos escrever a energia de um corpo como a soma de dois termos, a energia cinética e a energia potencial, assim:

$$E_{TOT} = K + U = \frac{1}{2} m v^2 - \frac{Z e^2}{4 \pi \epsilon_0 r} \quad (8)$$

Pela equação (3) podemos reescrever a energia cinética de modo que a equação acima se torna:

$$E_{TOT} = \frac{Z e^2}{8 \pi \epsilon_0 r} - \frac{Z e^2}{4 \pi \epsilon_0 r} = -\frac{Z e^2}{8 \pi \epsilon_0 r} \quad (9)$$

Substituindo (7) em (9) podemos escrever a energia total em função de n :

$$E_{TOT} = -\frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r} \left(\frac{\pi Z m e^2}{n^2 h^2 \epsilon_0} \right) \longrightarrow E_{TOT} = -\left(\frac{Z^2}{n^2} \right) \left(\frac{m e^4}{8 h^2 \epsilon_0^2} \right) \quad (10)$$

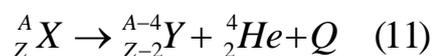
Repare que pela equação, quando $n = \infty$, $E_{TOT} = 0$, ou seja, é o elétron livre. Substituindo $n=1$ e $Z=1$, obtém que o valor de energia total para o átomo de hidrogênio no estado fundamental é de $E_{TOT} = -2.18 \cdot 10^{-18} J$.

Cabe salientar que o modelo de Bohr rapidamente foi posto em dúvida por não conseguir explicar porque um elétron orbitando um núcleo positivo não irradiava, já que segundo Maxwell um campo elétrico geraria um campo magnético. Mais ainda, se o elétron irradiasse significaria perda de energia e conseqüente colapso deste no núcleo. No entanto, embora os três modelos atômicos apresentados não sejam atualmente considerados corretos, foram muito importantes para a explicação de alguns fenômenos, bem como para a confecção de novos modelos, como o “Modelo da Gota Líquida”, o “Modelo de Camadas” e o “Modelo Coletivo” (EISBERG & RESNICK, 1979).

Outra manifestação importante da matéria é o fenômeno da radioatividade, com a conseqüente transmutação de elementos, uma propriedade apresentada por núcleos de elementos químicos denominados *instáveis*.

Embora o termo radiação possa ser utilizado para designar inclusive ondas de rádio e micro-ondas, são as radiações alfa, beta e gama que geralmente acompanham uma discussão sobre física nuclear. Durante nossa discussão vamos nos ater a estes três tipos de decaimentos e também ao decaimento por fissão.

O decaimento alfa foi observado por Ernest Rutherford, o qual mais tarde o identificaria como um núcleo do elemento hélio duplamente ionizado. Este tipo de decaimento é comumente observado em núcleos pesados ($Z \geq 82$) (KAPLAN, 1978; EISBERG & RESNICK, 1979), cuja equação geral pode ser escrita da maneira que se segue:

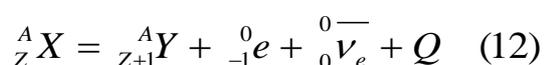


Na equação (11), X é o nuclídeo que sofre decaimento, também conhecido como núcleo pai, Y é o núcleo resultante do decaimento (núcleo filho), He é o núcleo de hélio (partícula alfa) e Q é a energia cinética liberada na reação, cuja maior parte está na partícula alfa.

Uma característica da partícula alfa é que ela possui um alto poder de ionização. Esta propriedade é ressaltada nos gráficos gerados por experimentos realizados para medir o alcance das partículas alfa. Conforme ela se move no meio, por exemplo, no ar, a partícula alfa, devido a sua grande energia, acaba retirando elétrons das moléculas próximas à sua trajetória, formando pares ionizados. No entanto, o custo energético para tal acaba por reduzir a energia cinética da partícula até que ela chegue ao repouso. Quando isso ocorre, a partícula absorve dois elétrons do meio e acaba se tornando um átomo de hélio (KAPLAN, 1978). Apesar de ser a mais ionizante das três radiações (alfa, beta e gama), ela possui também o menor alcance das três e o menor poder de penetração, podendo ser barrada por uma simples folha de papel.

Outro tipo de decaimento é o chamado decaimento beta, mediado pela força nuclear fraca. Neste decaimento há absorção ou liberação de um elétron por parte das partículas que compõem o núcleo atômico, também conhecidas como nucleons, ou seja, prótons e nêutrons. Quando o nucleon em questão é um próton irá ocorrer captura eletrônica, de modo a torná-lo um nêutron, mantendo o número de massa e diminuindo o número atômico. Caso contrário, se o nucleon em questão for um nêutron, este libera um elétron e se transforma em um próton, resultando em um elemento de mesmo número de massa, porém maior número atômico. Este segundo caso também pode ocorrer com o nêutron emitindo um pósitron, ao invés de um elétron, caracterizando assim o chamado decaimento β^+ (BASDEVANT, 2005; KAPLAN, 1978).

Podemos então escrever generalizar a equação do decaimento beta, β^- , como se segue:



Na equação (12) X é o nuclídeo pai, Y o nuclídeo filho, e é o elétron emitido, $\bar{\nu}_e$ é o antineutrino e Q é a energia liberada na reação, de dependência direta com o nuclídeo que sofreu decaimento (BASDEVANT, 2005).

No caso da emissão de partículas alfa e beta ocorre o fenômeno do decaimento. Nos decaimentos alfa e beta há alteração na configuração do núcleo, havendo inclusive a formação de um novo elemento após a reação. Por este motivo, em muitos casos, o núcleo filho aparece em um estado denominado estado excitado, ou seja, o núcleo apresenta excesso de energia. O excesso de energia é eliminado pela liberação de um fóton ou radiação eletromagnética, como a luz visível, porém com uma energia muito maior e, portanto, menor comprimento de onda e maior frequência. Estes fótons são também conhecidos como radiação gama ou raios gama, os quais possuem baixo poder de ionização e alto poder de penetração (EISBERG & RESNICK, 1979; BASDEVANT, 2005; KAPLAN, 1978).

Outro fenômeno associado ao decaimento alfa e de natureza quântica é o tunelamento ou efeito túnel. Para compreensão deste processo, considere que em certo instante no tempo dois nêutrons e dois prótons formem um pequeno subsistema dentro do núcleo (o sistema), no qual a força de ligação é maior que as forças de ligação para com os outros 230 nucleons. Gradualmente o pequeno subsistema se torna uma espécie de “partícula aprisionada” na fronteira dos outros nucleons, já que sua energia cinética é menor do que a necessária para escapar do núcleo, ou seja, para superar as forças nucleares forte e fraca devido aos outros nucleons. Considera-se então que a partícula alfa está presa em um poço de potencial finito (BASDEVANT, 2005; KAPLAN, 1978).

Teoria de Tunelamento para o decaimento alfa

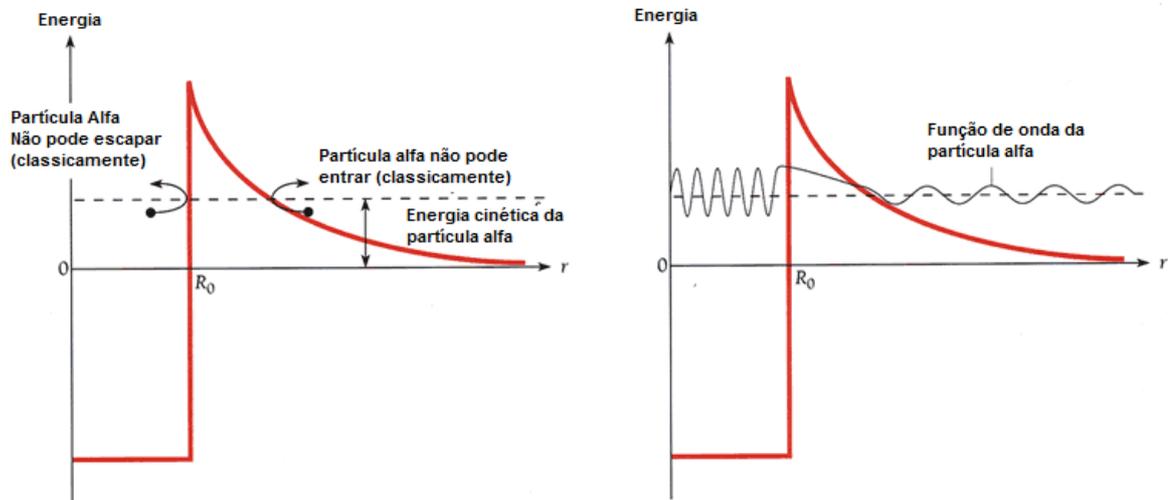


Figura 5:

A representação da Teoria do Tunelamento para o decaimento alfa. No diagrama da esquerda o tratamento clássico e no diagrama à direita o tratamento quântico. (retirado e modificado de: sdsu-physics.org/physics197/phys197.html).

Em ambos os diagramas, R_0 é o raio do núcleo, a linha horizontal corresponde ao potencial dentro do núcleo devido às forças nucleares atrativas e a curva exponencial corresponde ao potencial elétrico fora do núcleo e de caráter repulsivo em relação à partícula alfa. A linha horizontal tracejada é a energia da partícula alfa.

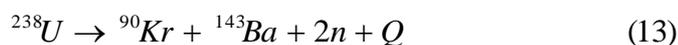
No diagrama a esquerda da figura, temos a situação clássica do problema. A energia cinética da partícula alfa é menor que o potencial atrativo do núcleo, a partícula é considerada confinada e é impossível que ela saia ou entre no núcleo. Porém, o fato de ocorrer o decaimento alfa, cria um paradoxo clássico, que seria resolvido pela mecânica quântica pelo processo de tunelamento quântico, demonstrado no diagrama a direita na figura. De acordo com a mecânica quântica, se tratarmos a partícula alfa como uma função de onda, existe uma pequena probabilidade de que esta ultrapasse a barreira. Se a partícula é ejetada do núcleo, ela mantém sua energia, porém diminui sua frequência (BASDEVANT, 2005; KAPLAN, 1978).

Decaimento nuclear e fissão nuclear

Há ainda uma forma de decaimento que é o decaimento por fissão espontânea. Vamos considerar em nosso estudo o decaimento do ^{238}U , embora a teoria apresentada valha para qualquer elemento radioativo que decai por fissão. Os átomos de ^{238}U são considerados instáveis e, portanto, estão suscetíveis a decaimentos alfa e por fissão espontânea. Segundo o Modelo da Gota Líquida, a fissão espontânea ocorre devido a um excesso de vibração e/ou deformação do núcleo do átomo e é um processo no qual um núcleo pesado e instável se divide em dois fragmentos (nuclídeos), denominados fragmentos de fissão (ou produtos da fissão), os quais possuem, geralmente, massas diferentes entre si (fragmento leve e pesado). Quando os produtos da fissão não possuem a mesma massa, a reação é denominada fissão assimétrica (EISBERG & RESNICK, 1979; BASDEVANT, 2005; KAPLAN, 1978).

A fissão também pode ser induzida, como ocorre quando um nêutron proveniente de uma fonte externa – um reator nuclear, por exemplo – colide com um núcleo pesado. Já a fissão espontânea decorre da instabilidade inerente aos núcleos pesados.

Abaixo alguns exemplos de reações de fissão espontânea e induzida:



Em cada evento de fissão espontânea do ^{238}U são liberados, concomitantemente com os fragmentos, cerca de dois ou três nêutrons (dependendo da massa dos fragmentos) e uma quantidade de energia de aproximadamente 210MeV , dos quais cerca de 170MeV são devido à energia cinética dos fragmentos de fissão. Os fragmentos possuem valores de energia da ordem de 100MeV e 70MeV (para os fragmentos pesado ($A \approx 130-150$) e leve ($A \approx 85-105$), respectivamente) e percorrem trajetórias retilíneas em uma mesma direção, porém em sentidos opostos. No processo de fissão também pode ocorrer liberação de energia na forma de radiação gama (BASDEVANT, 2005; KAPLAN, 1978).

Uma propriedade dos núcleos é a chamada energia de ligação, ou seja, a energia necessária para que se dissocie de um núcleo cada um de seus

componentes. Esta energia pode então ser definida como a diferença entre a massa do núcleo original e a soma massa de seus constituintes (prótons e nêutrons) em separado, também conhecida como defeito de massa, de modo que:

$$B(A, Z) = Nm_n c^2 + Zm_p c^2 - m(A, Z)c^2 \quad (15)$$

Um conceito mais interessante é a energia de ligação por nucleon (B/A), que representa de maneira simplificada a energia necessária para se dissociar apenas um nucleon de seu núcleo original, de modo que quanto maior o valor de B/A mais estável é o núcleo. De acordo com a curva da energia de ligação por nucleon pelo número de massa do núcleo, nota-se um pico na região do ferro e do níquel ($A \approx 55 - 60$). Em um decaimento por fissão (núcleos com $A > 60$, a direita do pico) há liberação de energia, pois os produtos da reação possuem maior energia de ligação e, portanto, massa menor do que a do núcleo fissionado. Para os núcleos a esquerda do pico a fusão de núcleos leves para a formação de mais pesados irá liberar energia (BASDEVANT, 2005; KRANE, 1987).

Reação em cadeia e Bombas Nucleares

A chamada reação em cadeia é o princípio utilizado para que os artefatos nucleares e as usinas nucleares de produção energia se tornem possíveis. Segundo este princípio os nêutrons liberados durante o processo de fissão de um núcleo instável podem induzir a fissão de outro núcleo, de modo que os nêutrons gerados nesta nova fissão (segunda geração) poderão induzir a fissão de outro núcleo, que irá liberar novos nêutrons (terceira geração) e assim sucessivamente até que todos os núcleos estejam fissionados (BASDEVANT, 2005; KAPLAN, 1978).

Durante a fissão do ^{236}U (isótopo de urânio gerado pela captura de um nêutron térmico pelo ^{235}U) são gerados aproximadamente 2.5 nêutrons por fissão, cada qual com energia média da ordem de 2MeV . Os nêutrons produzidos na fissão são *nêutrons rápidos* e tem sua energia reduzida por colisões elásticas com outros núcleos, tornando-se assim *nêutrons térmicos* e capazes de induzir, conseqüentemente, reações de fissão do ^{235}U . É esta diminuição na energia dos

nêutrons que torna a reação em cadeia insustentável no ^{238}U , pois a seção de choque deste isótopo para nêutrons lentos é praticamente nula. A reação em cadeia se torna possível com a utilização do ^{235}U , cuja seção de choque para nêutrons térmicos é muito maior (BASDEVANT, 2005; KRANE, 1987)..

É conveniente considerarmos um fator de multiplicação (ou fator de reprodução) k para o número de nêutrons térmicos liberados em cada fissão, de modo que para a reação em cadeia ser autossustentável, é necessário que $k \geq 1$. Seria pretensão, no entanto, assumir que cada um dos nêutrons liberados em cada fissão ocasionasse a fissão de outro átomo de ^{235}U . Na verdade vários efeitos contribuem para que o número de nêutrons que efetivamente causam a fissão do ^{235}U em uma amostra seja de fato menor que o produzido por fissão, como, por exemplo, os átomos que se encontram nos limites da amostra, a captura de nêutrons de 5MeV por ^{238}U gerando plutônio e a presença, deliberada ou não, de impurezas que capturam nêutrons liberados nas reações. Assim, se tivermos a chamada situação de “massa crítica” (k exatamente igual a 1.0) a reação se sustenta de forma controlada, como a utilizada nos reatores nucleares para produção de energia. Se $k > 1$, geralmente quando a concentração de ^{235}U é muito alta, temos um regime supercrítico e a reação se torna descontrolada, como a utilizada para a confecção das bombas nucleares. Para $k < 1$ o regime é subcrítico e a reação é insustentável (BASDEVANT, 2005; KAPLAN, 1978; KRANE, 1987).

O conceito de criticidade do material físsil e a consequente possibilidade da reação em cadeia subsidiaram a confecção das duas bombas nucleares por fissão (Bomba-A) desenvolvidas durante o Projeto Manhattan e lançadas durante a Segunda Grande Guerra em Hiroshima e Nagasaki, no ano de 1945 no Japão. A bomba lançada em Hiroshima, apelidada de *Little Boy*, trata-se de um dispositivo denominado *Gun-Type* (“Tipo Arma”, em tradução livre). Neste tipo de dispositivo, duas massas subcríticas de urânio enriquecido (cerca de 90% de ^{235}U na composição da amostra) são separadas por uma determinada distância no interior da bomba. Uma das massas possui o formato de um projétil balístico, enquanto a outra é um cilindro com uma cavidade no formato do projétil, que age como se fosse o alvo do disparo de uma arma. Explosivos convencionais são então detonados, lançando uma das massas de encontro com a outra e em um intervalo de tempo

muito curto, da ordem de 10 nano segundos, ambas as massas se chocam e tornam-se uma só massa supercrítica (BASDEVANT, 2005; KRANE, 1987). Um esquema deste artefato nuclear é ilustrado na página seguinte:

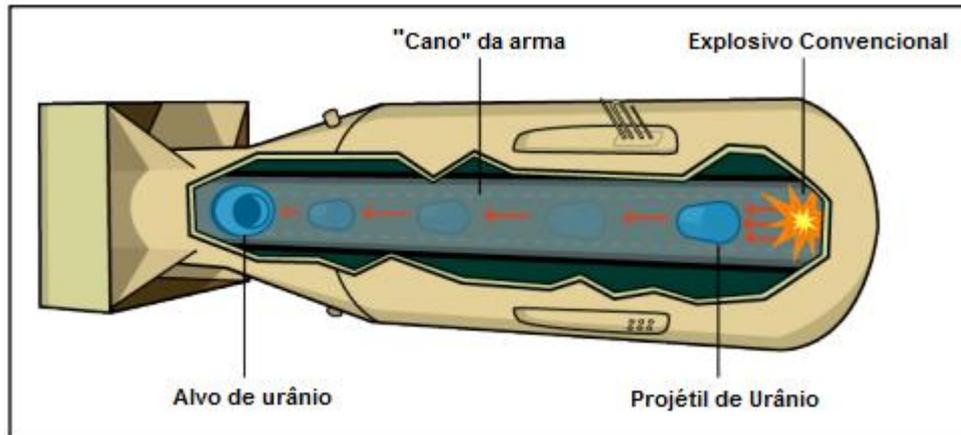


Figura 6:

Esquema do artefato *Little Boy*, uma bomba de fissão tipo arma, lançada na cidade de Hiroshima. (retirado e modificado de: http://ee.stanford.edu/~hellman/sts152_02/handout02.pdf).

A bomba de fissão lançada em Nagasaki, apelidada de *Fat Man* possui uma configuração denominada *Implosion-Type* (“Tipo Implosão”, em tradução livre). Neste tipo de dispositivo uma amostra de plutônio-239 (^{239}Pu) com geometria esférica e em regime subcrítico e concêntrica a esta esfera de material fissionável, é colocada uma casca esférica de ^{238}U para servir como uma “barreira de nêutrons” capaz de impedir que estes escapem ou adicionar novos nêutrons à reação através da sua fissão por nêutrons rápidos, aumentando assim o rendimento energético da bomba. A casca de ^{238}U é então envolta por explosivos químicos convencionais que, ao serem detonados em exata sincronia, geram uma onda de choque esférica que comprime a massa de ^{239}Pu colocando-a em regime supercrítico. Um dispositivo denominado iniciador de nêutrons (Urchin), composto por polônio e berílio, é colocado no centro da esfera de ^{239}Pu com o objetivo de fornecer os nêutrons necessários para iniciar a reação em cadeia (BASDEVANT, 2005; KRANE, 1987). Um esquema ilustrativo deste artefato nuclear é mostrado na página seguinte:

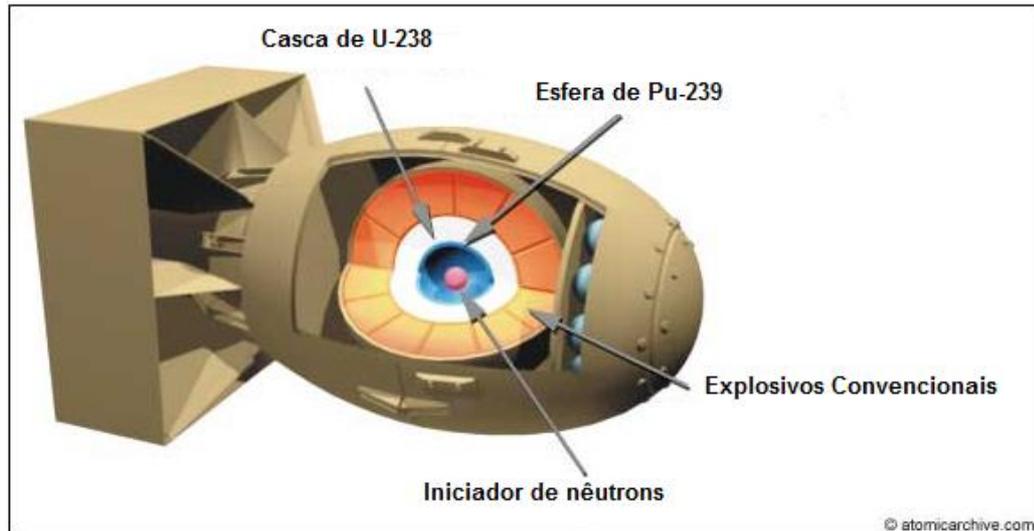
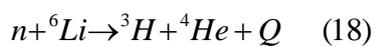
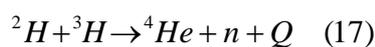
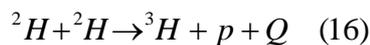


Figura 7:

Esquema do artefato *Fat Man*, uma bomba de fissão tipo implosão, lançada na cidade de Nagasaki. (retirado e modificado de: <http://www.atomicarchive.com/Fission/Fission9.shtml>).

Fusão Nuclear

Outro tipo de reação nuclear, a fusão, ocorre quando núcleos mais leves se juntam para formar um mais pesado liberando energia, pois a massa do novo núcleo formado é menor que a soma das massas dos núclídeos originais. Esta diferença de massa é compensada na forma de energia de acordo com a equação de Einstein. Para que isso ocorra, no entanto, são necessárias altas temperaturas, daí o termo explosão termonuclear (Bomba-H), e também que os núclídeos estejam tão próximos que as forças nucleares superem a repulsão coulombiana. Repare que isto não é problema para o processo de fissão nuclear, visto que um nêutron (carga nula) é necessário para iniciar a reação (BASDEVANT, 2005; KRANE, 1987). Alguns exemplos de reações de fusão são mostrados abaixo:



Na equação (16) dois núcleos de deutério se fundem para formar um núcleo de trítio e um próton, liberando cerca de 4.0MeV de energia. Na equação (17) deutério e trítio, dois isótopos de hidrogênio, se fundem para formar um núcleo de

hélio, liberando um nêutron e uma quantidade de energia da ordem de 17.5MeV . Repare que quanto mais estável o produto da fusão maior a energia liberada, ou seja, o hélio é mais estável que o trítio. Embora a equação (18) seja uma reação de fissão, onde o nêutron causa a fissão de um núcleo de lítio, há a formação de trítio, o qual atua como combustível para que a reação da equação (17) continue a ocorrer. Nesta reação há também a geração de hélio e liberação de energia da ordem de 4.8MeV . Repare que a equação (19) é a soma de (17) e (18) e possui o deutereto de lítio (LiD) como combustível, gerando dois núcleos de hélio e uma quantidade de energia da ordem de 22.3MeV . Por ser muito mais estável que o trítio (*meia-vida* ≈ 12 anos) o deutereto de lítio é o combustível utilizado para as reações de fusão das bombas termonucleares (BASDEVANT, 2005; KRANE, 1987).

Apesar do nome, a bomba de fusão é, na verdade, uma combinação de processos de fissão-fusão-fissão. Na etapa primária, uma massa subcrítica de ^{235}U e ^{239}Pu é organizada em geometria esférica, blindada por uma casca de ^{238}U , que por sua vez é rodeada por explosivos químicos, em uma configuração semelhante à bomba de fissão do tipo implosão. Com a detonação do explosivo químico, a casca de ^{238}U comprime a massa de ^{235}U até a criticidade, iniciando sua fissão e o primeiro estágio da explosão. Neste estágio uma amostra de deutério e trítio é alocada no centro da esfera de ^{235}U e ^{239}Pu , cuja fusão providencia nêutrons adicionais para a reação de fissão. Os raios-X e gama proveniente da fissão vaporizam a espuma de poliestireno que por sua vez comprime o invólucro secundário de ^{238}U sobre o combustível de fusão, levando-o à temperatura de ignição e iniciando a reação termonuclear, o segundo estágio da explosão. Os nêutrons rápidos liberados nas reações de fusão causam a fissão do ^{235}U e do ^{238}U , aumentando a liberação de energia da explosão, caracterizando a terceira etapa do processo (BASDEVANT, 2005; KRANE, 1987). O processo encontra-se ilustrado na figura da página seguinte:

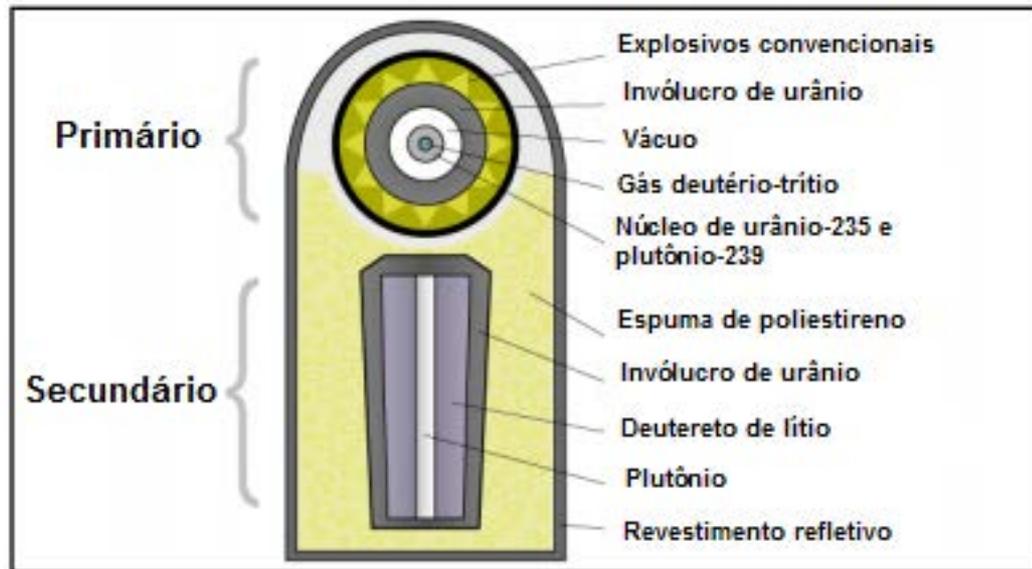


Figura 8:

Esquema de uma bomba de fusão. O “Primário” é uma bomba de fissão tipo implosão que causa a ignição do “Secundário”, uma reação de fusão. (retirado e modificado de: http://ee.stanford.edu/~hellman/sts152_02/handout02.pdf).

Aprofundando aspectos do decaimento

Vamos agora iniciar o tratamento acerca das equações que envolvem as transformações dos núcleos relativas ao decaimento que sofreram. Estas são as equações de decaimento, as quais se relacionam especialmente ao decaimento alfa e ao decaimento por fissão. Durante nosso tratamento entenda como isótopos pais os átomos instáveis que sofrem uma espécie de decaimento (fissão ou decaimento alfa) e átomos filhos os produtos do decaimento.

Seguindo o tratamento matemático encontrado, por exemplo, em Krane (1987) e Eisberg & Resnick (1978), vamos inicialmente assumir que uma amostra radioativa qualquer possui certo número N de átomos-pais e que estes decaem segundo uma taxa proporcional ao número de átomos pais presentes na amostra em um dado intervalo de tempo. Pode-se traduzir isto matematicamente como:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad (20)$$

Nesta equação λ é a constante do decaimento, ou seja, a probabilidade de um núcleo radioativo de sofrer decaimento por unidade de tempo, expressa em s^{-1} e N é o número de átomos-pais presente na amostra.

Rearranjando os termos é possível integrar a equação acima de modo que:

$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt \longrightarrow \int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -\lambda \int_{t_0}^t dt \longrightarrow \ln(N - N_0) = -\lambda(t - t_0) \quad (21)$$

Admitindo que o número inicial de átomos-pai (N_0) ocorre em $t_0 = 0$, então:

$$\ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = -\lambda t \xrightarrow{e} \frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t} \longrightarrow N_0 = Ne^{\lambda t} \quad (22)$$

O número inicial de átomos-pai (N_0) pode ser escrito como a soma entre o número de átomos-pai presentes na amostra após um intervalo de tempo (N) e o número de átomos-filho (N_D) provenientes dos átomos-pais que já sofreram decaimento. Assim:

$$N_0 = N + N_D \quad (23)$$

Substituindo (23) na última passagem de (22) tem-se:

$$N_D + N = Ne^{\lambda t} \longrightarrow N_D = N(e^{\lambda t} - 1) \quad (24)$$

Além das expressões referentes ao decaimento exponencial de um elemento radioativo podemos também derivar a chamada equação da meia-vida, ou seja, o tempo necessário para que metade do número de átomos presentes em uma amostra radioativa sofra desintegração. Podemos derivá-la como apresentado abaixo.

Seja $N(t)$ o número de núcleos radioativos em uma amostra. O número de núcleos que decaem após um tempo Δt é igual a $N(t)$ vezes a probabilidade de um núcleo decair, assim:

$$N(t) - N(t + \Delta t) = N(t)\lambda\Delta t \quad (25)$$

Dividindo por Δt e multiplicando por -1:

$$\frac{N(t + \Delta t) - N(t)}{\Delta t} = -\lambda N(t) \quad (26)$$

Aplicando o limite quando Δt tende a zero:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad (27)$$

Integrando a equação:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (28)$$

Alterando a base exponencial para base 2 e substituindo:

$$2 = e^{\ln(2)} \rightarrow e = 2^{1/\ln(2)}$$

$$N(t) = N_0 2^{(-\lambda t)/\ln(2)} = N_0 \frac{1}{2}^{(\lambda t)/\ln(2)} \quad (29)$$

A equação do número de núcleos radioativos em uma amostra pode ser escrita a partir de dados experimentais em função da meia-vida como:

$$N(t) = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{t/\tau} \quad (30)$$

Onde τ é a meia vida do elemento que sofre desintegração.

Se compararmos as duas últimas equações pode-se verificar que:

$$\frac{\lambda t}{\ln(2)} = \frac{t}{\tau} \quad (31)$$

E finalmente:

$$\tau = \frac{\ln(2)}{\lambda} \quad (32)$$

Músicas, Energia Nuclear e Física

A discussão dos conceitos de física nuclear apresentados no decorrer deste capítulo surgiu a partir da análise das letras das canções escolhidas para o estudo. Embora a discussão pudesse se tornar mais ampla e aprofundada, opto por mantê-la em um nível mais superficial por não contemplar os objetivos do presente trabalho. Cabe salientar que embora letra e música caminhem juntas, é na primeira que encontramos o caráter social do compositor, seus valores e como ele escolheu tratar o tema escolhido (SARAIVA, 2012), bem como se pode verificar o contexto social, político e econômico no qual a canção foi escrita e qual a posição do(s) autor(es) em relação a eles (GOMES, 2013).

CAPÍTULO 4

A MÚSICA NA SALA DE AULA: UMA PROPOSTA DIDÁTICA

Tendo em vista os pressupostos até o momento discutidos, durante o segundo semestre letivo de 2014 realizei atividades didáticas com os alunos de duas classes da segunda série do ensino médio de uma escola localizada na cidade de Rio Claro, no horário normal de aulas, na disciplina de literatura. O roteiro de atividades foi inspirado em um curso de curta duração *Fazendo Arte com Física - conhecimentos físicos em literatura, quadrinhos, músicas e cinema*, promovido pela UNESP, realizado no fim do ano de 2013 e ministrado pelos professores João Eduardo Fernandes Ramos e Emerson Ferreira Gomes, do qual participei como aluno.

A partir das propostas do curso, elaborei roteiro inspirado no trabalho de Gomes (2013), modificado neste trabalho de acordo com os conceitos de física identificados nas canções utilizadas e algumas alterações na ordem na qual cada etapa é executada junto aos alunos. Saliento que as aulas onde as atividades foram desenvolvidas eram aulas duplas, cada qual com cinquenta minutos de duração, ou seja, cada dia de atividade compreendia cem minutos de aula em cada uma das turmas. Cada uma das etapas é apresentada no quadro (1) em forma de tópicos:

ETAPA		Desenvolvimento	Quantidade de aulas
1	Ouvindo as canções	Explicação da atividade seguida da audição coletiva das canções e posterior análise das letras pelos alunos.	2
2	Discussão coletiva das canções	Identificando os aspectos culturais, científicos e históricos presentes em cada uma delas.	2
3	Diálogo sobre a Física	Compreenderam aulas teóricas sobre os conceitos físicos presente nas letras, concomitante a discussão de questionamentos relacionados à teoria apresentada ou à relação desta com as músicas ou textos adicionais.	6

Figura 9:
Etapas do trabalho desenvolvido.

Conforme os tópicos do quadro (1), o primeiro passo foi introduzir os alunos à atividade, explicitando a possibilidade de existir temas de ciência na arte, em particular na música. Previamente à execução das obras musicais, foram entregues as letras das duas canções para ambas as classes como forma de facilitar o acompanhamento do conteúdo lírico de cada uma (ANEXO 1).

Adotei duas estratégias ligeiramente diferentes. Em uma das classes, os alunos tiveram acesso às canções e às letras, onde puderam livremente identificar conceitos físicos, conceitos interdisciplinares ou efeitos sonoros que possam estar atrelados, por exemplo, a algum fenômeno físico. Entretanto, na outra classe, além disso também receberam uma tabela, como a representada na figura abaixo, indicando aspectos que poderiam ser analisados pelos alunos na atividade.

Acreditamos que a primeira metodologia cria uma situação quase nova para os alunos, onde eles devem decidir o que é ou acham ser física, sem que uma estrutura prévia direcione suas ações. No segundo método, a tabela cria um direcionamento, “alertando” de antemão, por exemplo, que o som deveria ser considerado no levantamento de conceitos, e não apenas os conceitos presentes no discurso lírico que possa identificar livremente.

Para a audição coletiva das canções os alunos foram levados a uma sala da escola com os recursos necessários para tal, a saber: um computador, um *software* para reprodução de material sonoro e um sistema de som que realize a amplificação sonora. Cabe ressaltar que antes de esta primeira etapa ser desenvolvida, realizei previamente a análise das canções e preenchi a tabela procurando identificar conceitos na parte lírica e também na parte melódica.

Na figura (8), a tabela para análise da canção “Abrigo Nuclear”, não preenchida, da maneira como foi entregue aos alunos de uma das salas:

	Original Cantado	Original Narrado	Efeito Sonoro	Conceito Físico	Conceito Interdisciplinar
Título (Tempo total 2:15)					

Figura 10:

Tabela entregue aos alunos de uma das classes, referente à canção “Abrigo Nuclear”. Cada coluna deve ser preenchida segundo o indicado no cabeçalho.

Os alunos preencheram a tabela de acordo com o enunciado em cada coluna. Nas colunas “Original Cantado” e “Original Narrado” os alunos escreveram os versos referentes ao trecho no qual consta algo que os chamou a atenção. A necessidade desta divisão é que no decorrer da canção há uma alternância entre uma voz que canta e outra que narra o discurso lírico. Nas três colunas seguintes, “Efeito Sonoro”, “Conceito Físico” e “Conceito Interdisciplinar” os alunos descreveram quais os conceitos físico ou interdisciplinar associados aos trechos que escolheram ou a um efeito sonoro que tomaram como pertinente. Nesta primeira etapa houve o mínimo de interferência tanto de minha parte, quanto por parte da professora responsável pela disciplina de Literatura.

Após esta atividade realizei uma análise das impressões dos alunos acerca de ambas as letras e pude identificar muitos pontos em comum nas observações dos alunos tanto de mesma sala quanto de salas diferentes. Nesta etapa pude identificar diferenças no desempenho dos alunos nas duas abordagens, a com tabela e a sem tabela. Inicialmente houve maior dificuldade dos alunos para entender a atividade com a tabela, pois eles não haviam compreendido como utilizá-la para as anotações. Por este motivo houve a necessidade de um tempo maior para

a explanação da atividade e da maneira como os alunos deveriam preencher a tabela. Outro ponto onde houve problema foi na identificação dos efeitos sonoros por parte dos alunos. Poucos deles consideraram a análise do som como relevante para a análise do discurso musical em um primeiro momento. Durante a etapa de discussão acabei atentando para este fato em ambas as turmas, executando as canções novamente e pedindo aos alunos para que identificassem também os sons. Dessa maneira, houve um aumento considerável da presença dos sons nas análises, embora alguns alunos ainda continuassem a ignorá-lo.

Outro ponto que me chamou a atenção é que os alunos foram capazes de reconhecer conceitos ou acontecimentos históricos em ambas as letras que haviam passados despercebidos por mim ou interpretaram o mesmo trecho de maneira diferente. Este fato ocorreu tanto nos registros escritos dos alunos quanto durante a segunda etapa, a de discussão das canções. Como exemplo de um trecho que não constava em minha análise e que aparecia na análise de alguns alunos cito o seguinte trecho da canção *Abrigo Nuclear*:

*“É pronta entrega
Até o ano 2000”*

Neste trecho os alunos identificaram o ano 2000 como o ano do fim do mundo, caracterizado por muitos pelo *Bug do Milênio*, que ocasionaria um erro em muitos dos sistemas computacionais em vigência na época.

Um outro trecho, agora da canção *Manhattan Project* também foi objeto de nova interpretação por parte de um aluno, a saber:

*“To build the best big stick
To turn the winning trick”*

Neste trecho o aluno fez uma analogia entre o termo “*big stick*” utilizado tanto para representar a “maior bomba de todas as bombas”, quanto para representar “o maior pedaço de pau”, considerando que desde a Idade da Pedra há uma busca pela arma mais eficiente para dominação e conquista do povo inimigo.

Isso mostra a riqueza da atividade, que permite uma participação construtiva dos estudantes, como das músicas, que vão além do caráter de mero exercício repetitivo, comumente encontrado nas aulas de Física do Ensino Médio.

A etapa de discussão é de grande importância no processo de ensino. É durante a discussão que os alunos se expressam de maneira mais espontânea, permitindo que se amplie, aprofunde e corrija aquilo que foi escrito de modo sucinto, incompleto ou incorreto nos registros entregues por eles.

Esta etapa seguiu a configuração da primeira. Os alunos foram levados para a mesma sala multimídia e lá receberam seu material de anotações de volta. Foi solicitado que, durante a nossa conversa, os alunos adicionassem novas observações, novas ideias e até mesmo dúvidas, porém sem apagar ou modificar as ideias anteriores.

A discussão por ser de caráter mais livre transitou não apenas pelos conceitos físicos presente nas letras, mas também por temas que abrangiam fatos históricos, ideologias e posições políticas, religião e até mesmo ficção científica. Grande parte dos alunos pareceu se sentir a vontade com a discussão, debatendo e questionando entre si e comigo. Também deram suas impressões sobre as características mais marcantes de cada canção, identificando a canção "*Abrigo Nuclear*" como mais despojada, provida de humor e sarcasmo, com críticas ao capitalismo e às religiões e de entendimento relativamente mais fácil quando comparada a canção "*Manhattan Project*", esta por sua vez, identificada como uma canção com vários fatos históricos, aparentando nenhum ou pouco posicionamento político por parte do letrista, com um discurso lírico mais sério e de trechos de difícil compreensão. Todos os alunos que participaram da discussão concordaram que ambas as canções traziam em suas letras conceitos da física nuclear.

Muitos dos conceitos físicos identificados pelos alunos compartilhavam semelhança com minhas próprias observações, bem como estavam de acordo com alguns dos temas de física moderna e contemporânea apresentados por Ostermann (2000, apud CANATO, 2003, p.17), a saber: radioatividade, Big Bang, origem do universo, fissão e fusão nuclear e teoria da relatividade. O efeito fotoelétrico foi brevemente discutido ao ser identificado por um grupo de alunos, não no discurso lírico, mas simplesmente por ser um assunto da física moderna. As forças

fundamentais seriam brevemente introduzidas nas aulas teóricas, para auxiliar na explicação e compreensão dos modelos atômicos e da radioatividade.

Acredito que dentre as conquistas mais significativas da aula de discussão estão a participação de grande parte dos alunos na atividade, o reconhecimento por parte deles de que por vezes há espaço na música para que o artista manifeste sua preocupação em fazer um discurso voltado para a ciência, para a história, para a política e as diferentes formas em que o mesmo tema pode ser apresentado no discurso lírico. Como apontado por muitos alunos, as descobertas da física nuclear e suas aplicações foram cruciais para a história da humanidade, ditando tendências, gerando tensões políticas e dividindo o mundo em ideologias, como no caso da Guerra Fria.

A próxima etapa consistiu de um maior aprofundamento e também da introdução dos alunos à física nuclear, sendo que para cada uma das três aulas teóricas dos seguintes temas abordados foram necessárias duas aulas de cinquenta minutos cada. Embora as letras das canções não explicitem os modelos nucleares, o tema da primeira aula teórica, acreditei que uma melhor compreensão sobre eles seria necessária para as próximas discussões.

Como sugerido por Zanetic (1990) essa etapa permitiu além de apresentar um pouco da história desse ramo da física, mostrar aos alunos que as teorias físicas ora são modificadas pelos resultados de experimentos, como no experimento da folha de ouro de Rutherford, ora são construídas pela abstração e criatividade dos cientistas, como no caso do Postulado de Bohr.

Essa discussão ofereceu também um entendimento, ainda que superficial, do arranjo nuclear e das forças atuantes no núcleo de um átomo, podem facilitar a discussão sobre radioatividade e fissão nuclear, já que grande parte da explicação destes dois últimos está atrelada aos modelos.

A aula foi guiada por diagramas dos experimentos e da evolução dos modelos nucleares até o modelo de Bohr. Após uma breve introdução ao eletromagnetismo, o qual como esperado, não havia ainda sido estudado pelos alunos do segundo ano, os alunos foram capazes de chegar às mesmas interpretações de Rutherford e seus companheiros, quando realizaram o experimento da folha de ouro, dadas as observações apresentadas do experimento.

Em seguida, o modelo de Bohr foi introduzido. Não recorri a apresentação das fórmulas e deduções matemáticas. Utilizou-se apenas o contexto histórico, a necessidade de se explicar alguns resultados experimentais, como as linhas dos espectros de elementos químicos e a influência do trabalho de Rutherford para a concepção deste novo modelo. Foi ressaltado aos alunos que o modelo de Bohr não é o modelo vigente, os elétrons não são partículas, mas sim considerados ondas-partículas, como demonstraram pesquisadores como de Broglie ou Erwin Schrodinger. O modelo de Bohr não respeita, por exemplo, o chamado Princípio da Incerteza, que enuncia que não se pode determinar a posição e o *momentum* (energia) de uma partícula ao mesmo tempo, enquanto no modelo de Bohr os elétrons possuem órbitas e raio definidos.

Na segunda aula teórica discutimos sobre o porquê alguns elementos são considerados radioativos e sofrem desintegração. Nesta aula foi apresentada a Lei do Decaimento, focando particularmente na análise de tabelas contendo informações sobre o número de átomos radioativos presentes em uma amostra e o tempo levado para que a quantidade diminuísse pela metade. Após a derivação da lei do decaimento pela tabela seguiu-se a derivação exponencial como mostrada no capítulo 3 deste trabalho e posterior resolução de alguns exercícios utilizando o conceito de meia-vida. Em seguida apresentei aos alunos uma típica curva de decaimento exponencial para o elemento rádio apenas e, conseqüentemente, a curva de decaimento para um núcleo pai, um núcleo filho e o núcleo estável deste mesmo elemento.

O objetivo desta aula foi representar a atividade de um material radioativo de maneira mais quantitativa, um pouco mais próxima da maneira como eles costumam ver a física no ensino médio e como ela é tratada nos livros. O enfoque matemático e a necessidade de interpretação de gráficos aparentemente causou maior dificuldade de compreensão para a maioria dos alunos. Houve a necessidade de lançar mão de analogias na tentativa de facilitar o entendimento.

Após a apresentação dos modelos nucleares de Rutherford e Bohr e do comportamento dos materiais radioativos, a terceira aula teórica tratou dos diferentes tipos de radiação provindas da desintegração nuclear, com enfoque para as radiações alfa, beta e gama.

Esta aula foi iniciada lembrando os alunos da proposta inicial, situando a discussão da aula com base em trechos particulares das letras das canções trabalhadas como, por exemplo, “A prova de roubo, fogo e radiação” (Abrigo Nuclear) e “The end was begun it would hit everyone” (Manhattan Project). Após, houve a leitura em voz alta por mim do relato de Fernando Gabeira acerca do acidente radioativo de Goiânia no ano de 1987, devido à abertura de uma pequena cápsula de césio-137, aberta por moradores locais (1987, apud, CANATO, 1996, pp. 35-36) e uma posterior discussão com os alunos. Durante a discussão, apesar de o texto apresentar os aspectos negativos da radiação, os alunos levantaram argumentos sobre os benefícios que a radioatividade pode trazer, como os tratamentos de câncer e as usinas nucleares de produção de energia.

Sugeri aos alunos que continuássemos a aula a partir do estudo das radiações alfa, beta e gama, nesta ordem, as quais dentre suas aplicações são utilizadas para o tratamento do câncer. Nesta aula foram apresentadas aos alunos as equações para cada um dos decaimentos e também uma das mais famosas equações da física, $E = mc^2$, a equação da equivalência massa-energia, proposta por Albert Einstein em 1905. As equações de cada uma das radiações foram derivadas concomitantes com a apresentação de sua respectiva teoria, sendo a equação de Einstein utilizada para representar a quantidade de energia liberada nas reações e a explicação da fórmula (o chamado defeito de massa já mencionado anteriormente). Para cada radiação apresentou-se suas principais características e algumas peculiaridades, como o efeito túnel para explicar a ocorrência da desintegração alfa e a necessidade da existência do neutrino, proposta por Enrico Fermi, para que o Princípio da Conservação da Energia não fosse violado na desintegração beta. Mesmo se utilizando equações, priorizou-se a utilização de figuras, diagramas e tabelas para apresentação da teoria.

A quarta e última aula teórica trataria das reações nucleares da fissão e da fusão, com maior ênfase na primeira. Nesta aula seriam apresentados os mecanismos básicos de cada reação, as equações da fissão e da fusão, bem como a quantidade de energia liberada em cada reação, prevista e calculada pela equivalência massa-energia. Seria apresentado o conceito de reação em cadeia e como ele permite a produção de grandes quantidades de energia a ser utilizada de

modo controlado em usinas nucleares de produção de energia e de maneira incontrolada em artefatos nucleares.

Após a última aula teórica poderiam ser desenvolvidas atividades de avaliação. A atividade consistiria em dividir a sala em grupos de quatro ou cinco alunos e sortear entre eles os conceitos de física encontrados nas canções e discutidos em sala. Cada grupo elaboraria um trabalho digitado referente ao tópico sorteado, no qual deveria constar uma breve descrição histórica e teórica sobre o tema, algumas aplicações práticas e possíveis questionamentos a serem discutidos em sala de aula. Ao final do trabalho os alunos apresentariam suas impressões sobre como a Física se intromete na Música e como a Música pode se inspirar na Física. Ainda, devem refletir se e como as aulas teóricas enriqueceram ou modificaram o conhecimento físico que eles possuíam e caso a resposta seja positiva, devem apresentar uma nova análise das duas canções trabalhadas em sala de aula e, se possível, apresentar sugestões de outras canções que contenham conceitos físicos, comuns ou não, aos contidos nas músicas trabalhadas e explicitados em sala de aula. Outra atividade interessante a ser desenvolvida após as discussões teóricas seria realizar novamente a audição das músicas com os alunos, verificando se é eles identificam diferenças entre as análises pré e pós-teoria.

Ressalto que os temas de física presente nas canções e objeto das discussões teóricas se encaixam no ramo da Física Moderna, ramo este praticamente ausente ou pouco explorado na realidade da Física nas escolas. Quando presente nos livros didáticos ocupa papel de coadjuvante, colocado no último capítulo, geralmente em textos que a caracterizam mais como apêndice que como capítulo propriamente dito.

Por este motivo julguei interessante evitar ao máximo o tratamento matemático e buscar um enfoque maior por exemplo para a evolução dos modelos nucleares ou principais características das radiações. Acredito que uma ferramenta importante durante o processo foram os desenhos a mão na lousa e as ilustrações, algumas inclusive dos livros utilizados como referenciais teóricos. Neste ponto houve uma certa “euforia” dos alunos por estarem em contato com livros geralmente utilizados por alunos do ensino superior e acharam surpreendente que apenas um tema de física, no caso a física nuclear, pode por si só fornecer assunto para um

livro inteiro. Tive que por vezes recorrer a analogias para que os alunos compreendessem um tema, com alguns estendendo a discussão mesmo após o término da aula.

Mesmo assim reconheço a dificuldade em se tratar um tema que eu mesmo não tive em meu ensino médio e também em não voltar para o tradicionalismo das aulas de física. Por vezes a discussão teórica se mostra empolgante a ponto de esquecermos o real objetivo do trabalho, ou seja, com o auxílio da música trazer o aluno para uma posição ativa na construção do conhecimento e permitir que reconheçam o impacto que a cultura da Física teve na cultura da Música. Entretanto acredito que conseguimos mostrar que a Música foi capaz de causar um desconforto confortável no ambiente escolar, permitindo um espaço para o diálogo e apresentação de conhecimentos prévios, geralmente tão ausentes nas aulas tradicionais.

CAPÍTULO 5

ENSINO DE FÍSICA E MÚSICA: OLHANDO CRITICAMENTE

Após o desenvolvimento do trabalho, com a realização das atividades didáticas e das observações efetuadas durante as mesmas, acreditamos que é possível ensinar física a partir de um elemento identificado *a priori* como artístico, como, por exemplo, a utilização de canções e suas respectivas letras.

Do ponto de vista didático, iniciar a discussão de um conceito ou uma série de conceitos de física a partir da execução de canções pode gerar um contexto mais favorável para que os alunos expressem suas opiniões, conhecimentos e questionamentos de maneira mais espontânea, quando comparado com uma proposta que faça uso ou priorize apenas as aulas expositivas e de resolução de exercícios. Segundo Zanetic (2006), a metodologia tradicional de ensino contribui, entre outros aspectos negativos, para o desgosto da maioria dos alunos do ensino médio pela disciplina de física.

Geralmente a arte, em especial a música, se apresenta mais acessível para o aluno do que a ciência. Se o professor conseguir fornecer as condições e o ambiente de discussão necessário para que os alunos identifiquem a relação entre a Física e a Música e o caráter cultural de ambas, acredito que possa haver uma nova aproximação destes com a física, porque haverá uma nova visão da física. Isto pode proporcionar uma ruptura no paradigma vigente entre os alunos de que física é uma disciplina difícil e “para poucos” ou “para loucos”.

É preciso salientar algumas possíveis dificuldades que me deparei durante a execução deste projeto e que possivelmente terá um professor que optar por fazer uso da proposta didática apresentada neste trabalho. A mais óbvia delas é a dificuldade técnica. Para a execução das canções e audição coletiva é extremamente necessária um sistema que permita no mínimo a amplificação do som. No caso deste trabalho utilizamos uma sala equipada com computador conectado à internet, à um projetor e à caixas de som. Assim há que se ver o espaço da escola, que muitas vezes privilegia a aula expositiva em detrimento de outras possibilidades.

Outra dificuldade que enfrentei é a de que o estilo musical das canções a serem trabalhadas pode não ser do agrado de alguns alunos ou mesmo da maioria deles. Creio que é interessante, previamente à audição das canções, que o professor deixe claro para os alunos o fato de que o objetivo central da atividade proposta é a identificação de conceitos físicos presentes na canção e não se o aluno gosta ou não da música ou do artista. Embora isso possa também significar uma ampliação do universo cultural do estudante, caracterizando o processo de ruptura e continuidade sugerido por Snyders.

Outra dificuldade é procurar afastar-se das facilidades do método tradicional de ensino, focado em aulas expositivas e na resolução de exercícios, geralmente pautada pela utilização do livro didático. O livro didático é um item fundamental para grande parte dos professores. É através deles que este organiza a sequência do conteúdo, prepara suas aulas e até mesmo, estuda os conceitos a serem passados aos alunos. Ainda, mesmo que o livro didático seja a única fonte de informação impressa disponível para o processo de ensino-aprendizagem, cabem ao professor procurar novas formas, materiais ou recursos de modo a enriquecer aquilo que será abordado em sala de aula, evitando tornar o livro didático o único recurso pedagógico, transformando o fazer do professor em um mero reproduzidor daquilo que está escrito (PIMENTEL, 1998; JAIME, 2010). Como exemplifica Terrazan (1994, apud. CANATO, 2003, p.16), o professor deve nortear seu fazer de modo a se permitir “[...] abertura para a adoção da metodologia mais adequada ao desenvolvimento de cada área temática, e não uma exclusividade metodológica para desenvolver todo e qualquer tópico de uma programação didática”.

Uma nova prática, como a aqui discutida, muito provavelmente vai exigir uma maior criatividade do professor, pois ele precisa experimentar uma nova abordagem que pode a princípio entrar em conflito com a tradição escolar de como ensinar. Cabe ao professor educar a si mesmo para uma busca constante em aumentar seu próprio repertório de metodologias pedagógicas, abrir-se a pesquisa de novos conteúdos e metodologias. No caso deste trabalho optamos por introduzir a música nas aulas de física, partindo da análise da primeira como subsídio para a discussão dos conceitos da segunda e introduzimos em uma das turmas o uso de uma tabela a ser preenchida. Acredito que a tabela seja interessante do ponto de vista do professor porque o processo de criação em si já o auxilia na própria análise e

também a construir de modo mais ordenado cada um dos passos das atividades que se seguirão. Porém, notamos que os alunos tiveram uma maior dificuldade para iniciar a atividade com a tabela, algo que consideramos inusitado, pois a tabela foi desenvolvida exatamente para auxiliar os alunos na identificação dos conceitos presentes nas canções. Outro ponto interessante que notei é que, no geral, a análise dos alunos pelas tabelas parece mais sucinta que do que pela “letra livre”. As figuras 10, 11 e 12 procuram ilustrar a diferença entre as análises em ambas as abordagens. Repare que as figuras 10 e 11 são referentes à análise de um mesmo aluno, ou seja, há anotações na frente e no verso do material entregue.

Manhattan Project (Rush)
 Imagine a time when it all began
 In the dying days of a war
 A weapon that would settle the score
 Whoever found it first
 Would be sure to do their worst
 They always had before.

Projeto Manhattan (Rush)
 Imagine quando tudo isto começou
 Nos dias mortais (Nos últimos dias) da guerra
 Uma arma para o "acerto de contas"
 Quem quer que a descobrisse antes
 Certificaria de fazer a pior coisa
 Que jamais houvesse feito.

Imagine a man where it all began
 A scientist pacing the floor
 In each nation always eager to explore
 To build the best big stick
 To turn the winning trick
 But this was something more...

Chorus 1
 The big bang took and shook the world
 Shot down the rising sun
 The end was begun it would hit everyone
 When the chain reaction was done
 The big shots try to hold it back
 Fools try to wish it away
 The hopeful depend on a world without end
 Whatever the hopeless may say

Refrão 1
 A grande explosão destruiu e abalou o mundo
 Abateu o sol nascente
 O fim foi iniciado e atingiria a todos
 Quando a reação em cadeia estivesse concluída,
 Os mais importantes tentaram impedi-la
 Os tolos tentaram ignorá-la
 O esperançoso depende de um mundo sem fim
 Independente do que os sem esperança possam dizer

Imagine a place where it all began
 They gathered from across the land
 To work in the secrecy of the desert sand
 All of the brightest boys
 To play with the biggest toys
 More than they bargained for...

Chorus 2
 The big bang took and shook the world
 Shot down the rising sun
 The hopeful depend on a world without end
 Whatever the hopeless may say

Imagine a man when it all began
 The pilot of "Enola Gay"
 Flying out of the shockwave on that August day
 All the powers that be, and the course of history
 Would be changed for evermore...

Imagine um homem quando tudo começou
 O piloto do "Enola Gay"
 Voando para longe da zona de impacto, naquele
 dia de Agosto
 Todos os poderes que ainda estavam por vir, e o
 curso da história
 Estariam mudados para sempre

Hoje em dia, vivemos
 guerra nuclear com
 o mundo

Projeto Manhattan
 GVA 2017

Figura 11:
 Análise de um aluno que teve acesso apenas à letra da canção.

É uma letra bem mais complexa e que se nota bem
 mais como por o começo das guerras nucleares.

O boterista usa bastante protos para fazer som de explosão, guerra,
 laras e etc.

Nessa música tem geografia (S. e Jerusalém, Manhattan) e de
 história (a Guerra Fria, do Guerra e etc.)

1º estrofe - ele está pensando
 o que estava para acontecer,
 algo muito terrível

2º estrofe - onde tudo começa
 Cantantes e músicos para fazer a
 bomba nuclear.

- maior bates = bomba + poeira
- sol nascente e o fogo

Instrumentos: guitarra, baixo,
 bateria, teclado e muitos outros
 instrumentos.

No fim tem o som de uma
 bomba (macha) que lembra
 uma metralhadora.
 É o som de bomba, que
 lembra *Explosão explosão*.
 No começo tem uma
 "explosão".

Figura 12

Continuação da análise do mesmo aluno, presente no verso da letra da canção.

	Original	Efeito Sonoro	Conceito Físico	Conceito Interdisciplinar
Titulo (Tempo total 5:07)	Uma coisa que é "vento de vento"		Bombas de vento	5º Cm / Geografia / História
	Alguns dizem que é "desconhecido"			Química / Ciências / Matemática / Geografia / História
	Uma coisa que é "vento de vento" que "vento de vento" que "vento de vento" que		Bombas de vento	Bombas de vento / Geografia / História
	"A grande explosão = = "		Bombas de vento	Química / Física / História
	"Acho que é "vento de vento"			Geografia / 5º Cm / Geografia / História
	"Quando o vento é muito forte "vento de vento"		Bombas de vento	Bombas de vento / Física / Química / História
	"Uma coisa que é "vento de vento" que "vento de vento" que "vento de vento" que			Bombas de vento / Geografia / História / Química
	"Uma coisa que é "vento de vento" que "vento de vento" que "vento de vento" que			Bombas de vento / Geografia / História / Química
	"Uma coisa que é "vento de vento" que "vento de vento" que "vento de vento" que			Bombas de vento / Geografia / História / Química
	"Uma coisa que é "vento de vento" que "vento de vento" que "vento de vento" que			Bombas de vento / Geografia / História / Química

Figura 13:
Análise de um aluno que teve acesso ao modelo de análise da tabela.

Acredito que um dos motivos para isso se deve ao fato do pequeno tamanho de cada célula da tabela, cerca de 5.0cm de largura por 1.5cm de altura, ou ao simples fato de a célula em si ter um tamanho. O que quero dizer é que as anotações em tabela pareceram impor um limite de espaço ao que o aluno poderia escrever. Muitos deles inclusive aparentemente diminuíram o tamanho da escrita para que a informação coubesse em uma única célula; mesmo os que entregaram a tabela com grande parte das células em branco. Com isto, após minha análise de ambas as turmas, cheguei à conclusão que as anotações da turma sem a tabela pareceram mais extensas quando comparadas com a turma que recebeu a tabela. É como se a tabela oferecesse uma informação mais organizada para o professor, porém suprimindo a criatividade e a liberdade do aluno para se expressar da maneira que achar mais conveniente.

Uma alternativa para facilitar esta etapa do trabalho talvez seja criar um "meio-termo" entre as duas metodologias, como por exemplo, entregar a tabela com uma ou duas linhas de células já previamente preenchidas na impressão destas. Outra melhoria talvez seja diminuir o número de células ou ainda aumentar o tamanho destas e imprimir a tabela na frente e no verso da folha. Acredito que esta

dificuldade dos alunos nos mostra que muito do que é pensado, desenvolvido e preparado pelo professor, nem sempre está em sintonia com a maneira com a qual o aluno percebe a atividade.

Ainda, a abordagem com a música necessita de uma clara iniciação do aluno na atividade; visto que ela foge dos “padrões” a que professor e aluno estão acostumados. Portanto, é preciso explicar o que será feito, qual o papel do aluno na atividade, explicar o material a ser entregue e como utilizá-lo. É provável que haja um estranhamento por parte dos alunos pelo simples fato de lançar mão da música como mediadora da prática pedagógica, podendo evoluir para insegurança ou até mesmo desinteresse. As salas, selecionadas pela professora de Literatura, foram consideradas “salas boas”, com alunos participativos e inclusive alguns com “veia artística”. Notei, no entanto, alunos que não participaram das atividades tanto musicais quanto teóricas, sendo que em alguns casos, embora poucos, houve alunos que entregaram as letras ou tabelas sem qualquer anotação.

A pesquisa é outro fator importante, visto que é através dela que o professor irá identificar quais canções podem ser interessantes para utilização em sala de aula. Para que esta etapa seja facilitada, o professor deve se dispor à cultura musical para selecionar, questionar, argumentar e classificar de modo sistemático as canções quanto à presença ou não de conceitos científicos e, quando presentes, qual a natureza destes conceitos entre as composições analisadas. É interessante ressaltar que “cultura musical” não implica necessariamente o conhecimento de uma grande quantidade de canções, mas sim de uma gama diversificada de obras musicais mais elaboradas, seja no estilo musical, na complexidade da execução instrumental ou no grau de profundidade do discurso lírico.

O professor pode se deparar, durante o processo de seleção das canções, com temas cuja presença é inexistente ou pouco comum no nível Médio, como a física moderna e a física contemporânea. Isso pode se constituir em um novo obstáculo a ser vencido pelo professor, geralmente por dois motivos. O primeiro deles é que tais temas normalmente estão ausentes do livro didático usual e o professor deverá encontrar e, talvez ainda mais importante, selecionar literatura que sirva de subsídio para seu discurso teórico, tanto para uma melhor interpretação das canções, quanto para uma aproximação mais segura do tema e mais coerente para o nível de ensino dos alunos. Ostermann (2000, apud. CANATO, 2003, p.19)

observou uma forte resistência por parte dos professores do Ensino Médio quanto atualização curricular, pois esta implica uma releitura dos temas comumente trabalhados e a necessidade do estudo e aprendizado de novos conhecimentos, de teorias atuais.

Seguindo a discussão do parágrafo acima, o segundo obstáculo pode estar presente na própria instituição escolar. Devido à excessiva importância dada aos exames vestibulares, muitas escolas, principalmente as particulares, podem inclusive proibir sumariamente qualquer proposta pedagógica do professor que se afaste da tradicional ou mesmo o ensino de qualquer tema que não esteja contemplado nas provas de ingresso ao ensino superior.

Exemplos dessa constante preocupação podem ser encontrados em Canato (2003, p.51-52) e também nos relatos da professora de Literatura, que me informou que uma aluna de uma das salas a questionou se o que estava sendo apresentado nas minhas aulas seria “cobrado” no vestibular. O ingresso no Ensino Superior, por meio do vestibular, é um direito do estudante do Ensino Médio e deve ser respeitado, embora os objetivos da educação sejam mais do que apenas colocar o estudante na faculdade. Entretanto o que não deve ser respeitado é a ideia de que apenas a metodologia tradicional ensina e mais, que é a única eficiente.

Concomitante ao relato desta aluna, talvez até compartilhado por outros alunos, aproveito também para relatar alguns acontecimentos que apontam para uma avaliação positiva da atividade pedagógica. Houveram questionamentos muito interessantes por parte dos alunos durante todas as atividades propostas, inclusive nas teóricas, sendo muitos deles razoavelmente explicitados na teoria apresentada no capítulo 3. Gostaria de citar alguns destes questionamentos, como por exemplo: *“Se o núcleo é positivo, porque ele não se separa/explode?”*; *“Se existe o tunelamento, porque nós não conseguimos atravessar as paredes?”*; *“Porque usamos o chumbo para “segurar” a radiação?”*; *“Se no Sol tem fusão, porque o Sol não explode?”*. Acredito que tais questionamentos foram impulsionados pela criação de um ambiente favorável para a discussão, iniciado nas atividades com as canções. Digo isso porque tive a oportunidade de assistir e ministrar algumas aulas de física na escola, todas com caráter voltado para o tradicional e o que observei foram aulas onde os questionamentos eram praticamente inexistentes e quando haviam não

eram profundos quanto os apresentados ou eram voltados para a resolução de um exercício.

Houve ainda um episódio na última aula para uma das turmas, onde alguns alunos me perguntaram se eu poderia ser o professor de física da escola e outros me orientaram para que eu tivesse um canal no Youtube, para “*ensinar mais pessoas*”. Em outro relato após a aula de discussão coletiva das canções, a professora responsável me informou da participação de dois alunos que simplesmente não interagiam em sua aula e na aula de outros professores. Estes alunos participaram da discussão e apresentaram suas ideias sobre versos de ambas as canções, como se este fato relatado pela professora fosse inexistente. Gostaria de salientar que o tempo que eu fiquei junto com os alunos de cada turma mal chegou a vinte horas.

Em outro relato, a professora me informou que grande parte dos alunos comentou em sua aula sobre as aulas com canções e pediram para que ela fizesse o mesmo, com alguns dos alunos já trazendo ideias de canções que poderiam ser trabalhada concomitante com o conteúdo de literatura que estavam estudando na época. Após a segunda aula teórica, a professora me convidou para realizar as atividades com música seguida de uma breve discussão teórica com os alunos de um dos cursos técnicos do período noturno. Seria disponibilizado o período de duas horas de cinquenta minutos em um mesmo dia para toda a atividade, porém acabamos não a realizando por problemas de horário da professora com o conteúdo curricular do curso.

Em vista do engajamento dos alunos no trabalho com Física e Música e o que observamos na sala de aula tradicional é possível questionar os limites da metodologia expositiva e a necessidade de investimento em novas metodologias de ensino. Acredito que ao iniciar a discussão da física, mesmo que de um tópico relativamente avançado, através da audição das canções, contribuiu-se para amenizar a barreira não apenas entre a física e o aluno, mas também entre o aluno e o professor. Creio que os questionamentos e as atitudes dos alunos frente às atividades de discussão tiveram influência pela maneira como foi iniciado o diálogo com os aspectos teóricos.

Deixo claro que a proposta apresentada assume caráter de ferramenta alternativa para o professor, não tendo a intenção de substituir o Ensino de Física

por um Ensino de Música, mas de ampliar as possibilidades. O que se pretende é que reconhecendo e demarcando as fronteiras de cada área do conhecimento, no caso a Música e a Física, seja possível ao professor identificar elementos de complementaridade entre elas. Como salienta Zanetic (2006), é a partir da disciplinaridade que se torna possível a interdisciplinaridade mais significativa, contextualizada e produtiva.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante este trabalho buscamos apresentar a Física como parte integrante da Cultura humana, capaz de interagir e influenciar outras áreas do conhecimento, como a Arte, em especial a Música. Buscamos mostrar através da análise de duas canções que artistas e compositores podem fazer uso da ciência, de seu desenvolvimento e de suas consequências, em suas canções, cada qual à sua maneira.

Como apontado por Jaime (2010), uma das funções mais importantes desta etapa educacional, o Ensino Médio, é a de criar no estudante um senso crítico de mundo, possibilitando-o identificar elementos culturais, sociais, políticos e econômicos relacionados com o conteúdo científico abordado em sala de aula. Tornar palpável aos estudantes que uma produção artística, como a música, a poesia, a literatura, possui íntima relação com estes aspectos/elementos. Fazer uso de propostas didáticas alternativas aos métodos tradicionais de ensino podem se constituir em obstáculos de diversas formas para o professor. No entanto, cremos, assim como Zanetic (1990) que esta noção de uma física finalizada, pronta, distante, geralmente presente nos livros didáticos e recorrentes nos discursos dos professores, portanto, a física escolar, não dialoga com a física real, mutável, contestável, viva.

Identificamos como fundamentalmente necessário que o professor disponha de ampla cultura musical, saudavelmente acompanhada especialmente de cultura literária e capacidade de interpretação de texto. Procuramos demonstrar durante a leitura deste texto e também como apontado por Saraiva (2012), que para que se faça um bom uso da canção e de suas letras faz-se necessário por parte do professor, o prévio conhecimento do contexto em que foram escritas seja este cotemporal ou não quando a mesma foi composta. Assim, podem caracterizar com clareza e certa fidelidade os acontecimentos, a ideologia ou as emoções vividas em um determinado período histórico ou pessoal. Tornar real o diálogo entre o conteúdo da canção, sua relação com si mesma e com que aborda e mais ainda, com a realidade do aluno deve ser a busca do professor ao lançar mão desta arte como recurso pedagógico.

A abordagem utilizada neste trabalho se assemelha à apresentada em Gomes (2013), com a introdução de uma tabela a ser preenchida pelos alunos de uma das turmas. No caso das tabelas houve dificuldade dos alunos em compreender como preenchê-la, demandando maior tempo de aula para maiores explicações. Foi possível observar diferenças entre a natureza geral das observações nas situações com e sem tabela no que tange ao uso que os alunos fizeram do espaço destinado para suas anotações. Apresentaram-se possíveis alternativas à proposta da tabela, alterando o número de células ou aumentando o espaço de cada uma. Houve a necessidade de uma introdução dos alunos à atividade com obras musicais a fim de minimizar o estranhamento por parte dos mesmos.

Em Ramos (2012) o autor, em conjunto com seu referencial teórico, demonstra sua preocupação em se inserir a leitura de textos de maior profundidade, caracterizando um desafio ao leitor e capazes, portanto, de causar maior satisfação cultural a quem lê. Neste trabalho acredito que um dos grandes desafios foi buscar estratégias para inserir a música dentro da sala de aula de uma maneira contextualizada com a física. Acredito que as canções escolhidas caracterizaram desafios para os alunos enquanto interpretação lírica. Embora alguns conceitos de física estejam explicitados na letra de ambas as canções, muitos deles necessitam de conhecimento sobre história e geografia, além de boa dose de interpretação de texto e imaginação. O próprio fato das canções não serem conhecidas por grande parte dos alunos já caracteriza, a meu ver, outra forma de desafio.

Ainda nessa linha, no nosso trabalho, introduzindo a Física Moderna a estudantes do segundo ano do ensino médio, creio que criamos um desafio para o professor, pois este se pega preparando uma aula sobre um conteúdo não ortodoxo. Houve a necessidade de intensa pesquisa sobre os temas em si e a necessidade de seleção sobre o que seria ou não interessante de se tratar no nível médio de ensino. O desafio para o aluno é se deparar com uma vertente da física que no geral quebra com o determinismo característico da Física Clássica, além de ser um conteúdo apresentado “fora da hora” de acordo com a sequência tradicional dos livros didáticos.

Embora a análise das letras de canções por si só não garanta o aprendizado de um tema ou conceito de Física, foi observado durante as atividades que a

proposta apresentada neste trabalho pode proporcionar um ambiente favorável para que os alunos se expressem de modo mais espontâneo, com menor apreensão em relação ao erro e ao ato de perguntar, demonstrando sinais de sua criatividade e conhecimentos prévios sobre o assunto a ser trabalhado nas aulas teóricas, e possivelmente apreendendo conceitos de física.

O que pude observar em muitas situações do estágio é que tanto os professores das escolas, quanto nós estagiários, se não nos comprometermos em uma mudança significativa em nossas práticas pedagógicas, podemos nos transformar em professores de uma nota só ou ainda pior, de prática e discurso dissonantes com a nossa realidade, a realidade de nossos alunos e de nosso povo, descompromissados com o Ensino de Física, com a formação dos estudantes e apenas vendendo a ilusão de que a única função na vida do estudante é estudar para o engolir conteúdos que talvez possam cair no vestibular.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BASDEVANT, J. L., RICH, J., SPIRO, M. *Fundamentals in nuclear physics*. Springer. 2005,515pp.

CANATO JUNIOR, O. *Texto e contexto para o Ensino de Física Moderna e Contemporânea na Escola Média*. Dissertação de mestrado em Ensino de Ciências – modalidade Física, USP – São Paulo, 2003.111pp.

CARVALHO, R. M. B. Georges Snyders: em busca da alegria na escola. *PERSPECTIVA*. v.17, n.32, p.151-170, jul./dez. 1999.

DIMBARRE, G. R., & de CARVALHO, S. M. B. O heavy metal no ensino: desmistificando ideias e superando preconceitos pelo conhecimento histórico. CONGRESSO INTERNACIONAL DE ESTUDOS DO ROCK, 1.,2013,Cascavel – Paraná.

EISBERG, R. & RESNICK, R. *Física Quântica - Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas*. Editora Campus. 1979.928pp.

EVANS, R. D. *The atomic nucleus*. New York: McGraw-Hill. 1955, 1002pp.

GAMA, E. A. R. M. *FÍSICA E MÚSICA NO ENSINO MÉDIO A DISTÂNCIA*. Dissertação de mestrado em Ensino de Ciências e Matemática. Centro Federal de Educação Tecnológica – CEFET: Rio de Janeiro, 2006. 81pp.

GOMES, E. F. *Astros no rock: rock, astronomia e relatividade nas aulas de ciências sob uma perspectiva sociocultural*. CONGRESSO INTERNACIONAL DE ESTUDOS DO ROCK, 1.,2013,Cascavel – Paraná.

GOMES, E. F., & PIASSI, L. P. C. Georges Snyders, Rock n' Roll e o Discurso sobre a Ciência: Perspectivas Culturais no Ensino de Ciências. 2011.

GOMES, E. F., DO AMARAL, S. C. M. & PIASSI, L. P. C. A Máquina do Tempo de HG Wells: uma Possibilidade de Interface entre Ciência e Literatura no Ensino de Física. *Ensino, Saúde e Ambiente*, v.3, n.2, p.144-154, ago.2010.

GOMES, F. H. F., DE SOUSA, T. P., PONTES DE QUEIROZ, M. P., COSTA, M. D. G. A. & DE SOUZA, M. J. F. PROPOSTA PARA O ENSINO DE FÍSICA ATRAVÉS DA MÚSICA. In *V CONNEPI-2010*.

GRANJA, C. E. S. C. *Musicalizando a escola: música, conhecimento e educação*, v.34. São Paulo - Escrituras Editora, 2006.

JAIME, P. J. G. Física do som e sua relação com a música no ensino médio: Um olhar nos livros didáticos. Dissertação de mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências, UFBA – Bahia, 2010. 99pp.

KAPLAN, I. *Nuclear physics*. Addison-Wesley. 1978.

KRANE, K. S. *Introductory nuclear physics*. 1987, 864pp.

MOREIRA, I. D. C., & MASSARANI, L. (En)canto científico: temas de ciência em letras da música popular brasileira. *História, Ciências, Saúde–Manguinhos*, v.13, p.291-307, out. 2006.

PIMENTEL, J, R. Livros didáticos de ciências: a Física e alguns problemas. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v.15, n.3, p.308-318, 1998.

RAMOS, J. E. F. A ciência e o insólito: o conto de literatura fantástica no Ensino de Física. Dissertação de mestrado em Ensino de Ciências na modalidade Ensino de Física, USP – São Paulo, 2012. 181pp.

Ramos, J. E. F, Gomes, E. F., Ramos, E. M. F. *Fazendo Arte com Física - conhecimentos físicos em literatura, quadrinhos, músicas e cinema*. Curso de curta duração, Unesp, dezembro de 2013.

RICARDO, E. C. Implementação dos PCN em sala de aula: dificuldades e possibilidades. *Física na Escola*, 2003, v.4, p.8-11.

SARAIVA, D. C., & MARTINS, N. A música como instrumento essencial para aprendizagem. *Revista EnsiQlopédia*, v.9, n.1, p.16-22, out. 2012.

SNYDERS, G. A escola pode ensinar as alegrias da música? São Paulo: Cortez, 2008.

ZANETIC, J. Física também é cultura. Tese de doutorado em Educação. USP – São Paulo, 1990. 157pp.

ZANETIC, J. Física e cultura. *Ciência e Cultura*, v.57, n.3, p.21-24, 2005.

ZANETIC, J. Física e literatura: construindo uma ponte entre as duas culturas. *História, Ciências, Saúde–Manguinhos*, v.13, p. 55-70, 2006.

ZANETIC, J. Física e arte: uma ponte entre duas culturas. *Pro-Posições*, v.17, n.1 (49) – jan./abr., 2006.

ANEXO 1

Músicas utilizadas em nossa atividade didática.

Música “Abrigo Nuclear” (Premeditando o Breque)

Link para audição da música Abrigo Nuclear.

<https://www.youtube.com/watch?v=wdt6EeDb7HI> (acessado em 16/03/2015)

Agora você pode ficar livre disso!

Pense no futuro

O mundo pode acabar

Não viva inseguro

Com medo da hora H

Pois afinal chegou

O primeiro

Abrigo Nuclear

Venha conhecer

O primeiro condomínio

Com abrigo nuclear

Da América Latina

Venha morar com comodidade

Total segurança

A prova de roubo, fogo e radiação

Seu dinheiro aplicado

Mesmo depois do fim do mundo

Não se preocupe

Se vai dar prá comprar

Você tem a sua vida inteira

Para pagar

É pronta entrega

Até o ano 2000

Sauna, playground, piscina com sol artificial

Todas as comodidades que você tem agora

Você terá no nosso edifício

Um recanto de sossego prá você e sua família

E deixe o mundo queimar a vontade lá fora

Venha já reservar seu lugar

No nosso abrigo nuclear

Abrigo nuclear mais um empreendimento

Noé Seguros Milênios de garantia

Música “*Manhattan Project*” (Rush)

Link para audição da música *Manhattan Project*:

https://www.youtube.com/watch?v=HTkicdO_64w (acessado em 16/03/2015)

Manhattan Project

Imagine a time when it all began
 In the dying days of a war
 A weapon that would settle the score
 Whoever found it first
 Would be sure to do their worst
 They always had before...

Imagine a man where it all began
 A scientist pacing the floor
 In each nation always eager to explore
 To build the best big stick
 To turn the winning trick
 But this was something more...

Chorus:

The big bang took and shook the world
 Shot down the rising sun
 the end was begun it would hit everyone
 When the chain reaction was done
 The big shots try to hold it back
 Fools try to wish it away
 The hopeful depend on a world without end
 Whatever the hopeless may say

Imagine a place where it all began
 They gathered from across the land
 To work in the secrecy of the desert sand
 All of the brightest boys
 To play with the biggest toys
 More than they bargained for...

Projeto Manhattan

Imagine quando tudo isto começou
 Nos últimos dias da guerra
 Uma arma para o “acerto de contas”
 Quem quer que a descobrisse antes
 Certificaria de fazer a pior coisa
 Que jamais houvesse feito...

Imagine onde onde tudo isto começou
 Um cientista andando de um lado para o outro
 Em cada nação sempre disposto a explorar
 Para construir o maior bastão
 Para ganhar a manha da vitória
 Mas desta vez era algo mais...

Refrão:

A grande explosão destruiu e abalou o mundo
 Abateu o sol nascente
 O fim foi iniciado e atingiria a todos
 Quando a reação em cadeia estivesse concluída
 Os mais importantes tentaram impedi-la
 Os tolos tentaram ignorá-la
 O esperançoso depende de um mundo sem fim
 Independente do que os sem esperança
 possam dizer

Imagine o lugar onde tudo isto começou
 Eles vieram de todas as partes do mundo
 Para trabalhar no sigilo das areias do deserto
 Todos os meninos mais brilhantes
 Para brincar com os maiores brinquedos
 Mais do que haviam imaginado

Chorus 2:

The big bang took and shook the world
 Shot down the rising sun
 The hopeful depend on a world without end
 Whatever the hopeless may say

Refrão 2:

A grande explosão destruiu e abalou o mundo
 Abateu o sol nascente
 O esperançoso depende de um mundo sem fim
 Independente do que os sem esperança
 possam dizer

Imagine a man when it all began
 The pilot of "Enola Gay"

Flying out of the shockwave on that August day

All the powers that be, and the course of history

Would be changed for evermore...

Imagine um homem quando tudo começou
 O piloto do "Enola Gay"

Voando para longe da zona de impacto, naquele
 dia de Agosto

Todos os poderes que ainda estavam por vir, e o
 curso da história

Estariam mudados para sempre...

Chorus:

The big bang took and shook the world
 Shot down the rising sun
 the end was begun it would hit everyone
 When the chain reaction was done
 The big shots try to hold it back
 Fools try to wish it away
 The hopeful depend on a world without end
 Whatever the hopeless may say

Refrão:

A grande explosão destruiu e abalou o mundo
 Abateu o sol nascente
 O fim foi iniciado e atingiria a todos
 Quando a reação em cadeia estivesse concluída
 Os mais importantes tentaram impedi-la
 Os tolos tentaram ignorá-la
 O esperançoso depende de um mundo sem fim
 Independente do que os sem esperança
 possam dizer

Chorus 2:

The big bang took and shook the world
 Shot down the rising sun
 The hopeful depend on a world without end
 Whatever the hopeless may say

Refrão 2:

A grande explosão destruiu e abalou o mundo
 Abateu o sol nascente
 O esperançoso depende de um mundo sem fim
 Não importa o que os descrentes possam dizer

