



Ministério da Educação
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO
CAMPUS DIADEMA
Instituto de Ciências Ambientais, Químicas e Farmacêuticas
Curso de Ciências



PEDRO BONDEZAN DE OLIVEIRA

Estudo de caso de conceitos científicos no filme de ficção científica “o Homem-Formiga”

DIADEMA

2022

PEDRO BONDEZAN DE OLIVEIRA

**Estudo de caso de conceitos científicos no filme de
ficção científica “o Homem-Formiga”**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do título de Licenciatura em Ciências, ao Instituto de Ciências Ambientais, Químicas e Farmacêuticas da Universidade Federal de São Paulo – Campus Diadema.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Sioufi Fagundes dos Santos

DIADEMA

2022

Dados Internacionais da Catalogação na Publicação (CIP)

Oliveira, Pedro Bondezan de

Estudo de caso de conceitos científicos no filme de ficção científica, "o Homem-Formiga" / Pedro Bondezan de Oliveira. -- Diadema, 2022.

78 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências) - Universidade Federal de São Paulo - Campus Diadema, 2022.

Orientador: Leonardo Sioufi Fagundes dos Santos

1. Divulgação científica. 2. Ensino de ciências. 3. Ensino de física. 4. Ficção Científica. 5. Educação não-formal. I. Título.

PEDRO BONDEZAN DE OLIVEIRA

**Estudo de caso de conceitos científicos no filme de ficção
científica, “o Homem-Formiga”**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para
obtenção do título de Licenciatura em Ciências, ao Instituto de Ciências
Ambientais, Químicas e Farmacêuticas da Universidade Federal de São
Paulo – Campus Diadema.

Aprovado em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Leonardo Sioufi Fagundes dos Santos
Universidade Federal de São Paulo – UNIFESP

Prof. Dr. Carlos Roberto Senise Junior
Universidade Federal de São Paulo – UNIFESP

Prof. Dr. André Amaral Gonçalves Bianco
Universidade Federal de São Paulo – UNIFESP

Prof. Dr. Leonardo André Testoni
Universidade Federal de São Paulo – UNIFESP

Prof. Dr. Reginaldo Alberto Meloni
Universidade Federal de São Paulo – UNIFESP

Dedico esta monografia à minha irmã, Clara Bondezan de Oliveira, por me indiretamente mostrar o amor que possuo pela educação.

Dedico também a Natália de Araujo Mendonça, por sempre me auxiliar e me mostrar que tudo é possível de ser alcançado.

Agradecimentos

Agradeço à minha irmã Clara Bondezan de Oliveira, meu pai Hamilton Ferreira Oliveira e mãe Márcia Bondezan Oliveira por todo o apoio e ajuda durante a vida.

Agradeço aos meus primos António Eduardo e Viviane Gundes por me mostrarem que o sonho da Universidade pública é possível.

Agradeço ao meu orientador Leonardo Sioufi Fagundes dos Santos por todo o suporte e ajuda na elaboração deste trabalho.

Agradeço à Natália de Araújo Mendonça por ter sido parte fundamental em me ajudar a não desistir.

Agradeço a meus amigos de curso, escola e de antigos empregos, por nunca saírem do meu lado quando mais precisei.

Por fim, agradeço a todos os professores do curso de Ciências e à educação pública gratuita de qualidade e por me motivar a seguir este caminho.

RESUMO

Este trabalho trata do potencial de uso de um material de ficção científica, o filme “Homem-Formiga” da Marvel Studios, na divulgação científica e no ensino de ciências. O objetivo principal é identificar e analisar os conceitos de física apresentados no filme e compará-lo com a Física propriamente dita, tal como aparece na literatura, sem fazer juízo de valores pois uma obra de ficção não demanda rigor científico. Primeiramente são abordados os conceitos de educação formal, informal e não formal. Neste contexto, o ensino de ciências e a divulgação científica aparecem respectivamente como formas de educação formal e não formal. Posteriormente, é levantado um histórico a respeito do gênero de ficção científica e seu potencial como recurso no ensino de ciências e na divulgação científica. Após isso, as cenas e falas do filme relacionadas com a Física são colocadas em uma tabela em ordem cronológica. Então, três discussões são desenvolvidas na comparação do filme com a Física: a questão da lei de conservação da massa, a expansão e contração devido a variação de temperatura e as partículas fundamentais. Após as comparações, a conclusão é que a obra não deve ser usada na divulgação científica e no ensino de ciências sem um mediador, um professor ou pesquisador. Apesar disso, o filme pode servir como agente motivacional na divulgação científica e no ensino de ciências.

Palavras chave: Divulgação científica; Ensino de ciências; Ensino de física; Ficção Científica; Educação não-formal;

ABSTRACT

This paper discourses about the potential of the science-fiction movie “Ant-Man”, from Marvel Studios in scientific dissemination and scientific teaching. The aim is identifying and analysing the concepts of physics presented in the film, without criticizing the film itself, as it is a work of fiction, therefore it lacks scientific rigor. First, a discussion about formal, informal and non-formal education is raised, with an in depth explanation of those concepts. In this context, science teaching and scientific dissemination appear respectively as formal and non-formal. Subsequently, a history regarding the science fiction genre and its role as a resource in science teaching and science communication is raised. After that, the scenes and lines of the movie related to Physics are placed in a table in chronological order. Then, three discussions are mass conservation, the expansion and contraction due to temperature variation and the fundamental particles. After the comparisons, the conclusion is that the work should not be used in scientific dissemination and science teaching without a mediator, teacher or researcher. Despite this, the film can serve as a motivational agent in scientific dissemination and science teaching.

Keywords: Scientific dissemination; Science teaching; Physics teaching; Science fiction; Non-Formal education.

SUMÁRIO

1. Introdução	10
2. Objetivos	12
3. Educação Formal, informal e não formal	13
3.1 Educação Formal e sua relação com a sociedade	14
3.2 Educação Formal e ensino de ciências	14
3.3 Educação Não-Formal e ensino de ciências	15
3.4 A divulgação científica	15
3.5 A Divulgação Científica e o ensino de ciências	17
3.6 Divulgação Científica e Educação Não Formal	17
4. A Ficção Científica Na Educação	19
4.1 O Gênero Ficção Científica	19
4.2 Os Períodos da Ficção Científica	19
4.3 Homem-Formiga	22
4.4 Ficção científica como reflexo das concepções científicas da sociedade	23
4.5 O papel da ficção científica no ensino de ciências e na Divulgação Científica	24
5. Levantamento de dados do filme	27
6. Massa, Densidade e Pressão	28
6.1. As partículas Pym	28
6.2 Conceito de massa na Mecânica Clássica	29
6.3 O conceito de massa na Relatividade e a equivalência massa-energia	30
6.4 Densidade ou massa específica	34
6.5 Pressão	34
6.6 Comparação entre o filme e a Física	35
6.6.1 Comparação da relação massa volume no filme e na Física	35
6.6.2 A pressão na Física e no filme.	36
7. Dilatação e contração térmica.	38
7.1 Dilatação e contração térmica dos sólidos	38
7.1.1 Dilatação e contração térmica dos sólidos em 1 dimensão	38
7.1.2 Dilatação e contração térmica dos sólidos em 2 dimensões.	40
7.1.3 Dilatação e contração térmica dos sólidos em 3 dimensões.	41
7.2 Dilatação e contração térmica dos líquidos	42
7.3 Dilatação térmica dos gases, a lei de Clapeyron	43
7.4 Primeira Lei da Termodinâmica e variação do volume.	45
7.4.1 Variação de energia térmica em um gás	45
7.4.2 Primeira Lei da Termodinâmica para gases.	46
7.4.2.1 Transformação isovolumétrica	46
7.4.2.2 Transformação isobárica	47
7.4.2.3 Transformação isotérmica	47

7.4.2.4 Transformação adiabática	48
7.5 Variação de energia térmica em sólidos e líquidos	49
7.6 Conservação da massa na expansão e contração térmicas	49
7.7 Comparação do filme com a Física	50
8 Partículas Elementares	51
8.1 Partículas fundamentais	52
8.2 Bósons e férmions	52
8.3 Partículas e antipartículas	52
8.4 Quarks	53
8.5 Bárions.	55
8.6 Mésons	56
8.7 Léptons	57
8.8 Bósons e as 4 interações fundamentais	58
8.8.1 Fótons e a interação eletromagnética	59
8.8.2 Glúons e a interação forte	60
8.8.3 Bósons W e Z e a interação fraca.	60
8.8.4 Bóson de Higgs	61
8.9 Comparação entre a Física e o filme	62
8.9.1 O “Reino” Quântico	62
9. Discussão	65
10. Conclusão	67
11. Referências	69

1. Introdução

A Ficção Científica (FC) é o gênero artístico baseado em fatos científicos e especulações científicas para compor enredos fictícios (RODARME, 2015). Mais especificamente, a FC é um gênero que emprega uma racionalidade do tipo científica para produzir fantasias, tendo sua narrativa pautada dentro dos limites da racionalidade (RODARME, 2015). A ciência apresentada na ficção científica pode ter raízes na realidade, porém, não existe a necessidade de um compromisso com o mundo real (ALMEIDA, 2008). Por exemplo, em muitas obras de ficção os homens viajam a outros planetas. A tecnologia para o transporte humano interplanetário é amplamente pesquisada por empresas como SpaceX (SEEDHOUSE, 2013). As viagens no tempo também aparecem em muitas obras de ficção científica, mas apenas uma minoria de físicos admite essa possibilidade (GREENE, 2005).

Entre as ciências retratadas nas obras de FC, há muitas referências a teorias físicas. Por exemplo, a série *Dark* que faz referências a teorias sobre o tempo (BOUWHUIS), e a série *Stranger Things* que fala sobre múltiplas dimensões. Outro exemplo é o filme *Interestelar* que faz referências a viagens no tempo e buracos negros (JAMES, 2015) há ainda super-heróis cujos poderes originaram-se nas leis da Física. Exemplos são o Dr Manhattan, o Flash e o Homem Formiga.

Ao contrário da FC, a Divulgação Científica (DC) tem compromisso com a ciência real. A DC é o conjunto de atividades que busca difundir o conhecimento científico para públicos que não dominam as ciências (BUENO, 2010). O papel da DC na ciência é fundamental porque esta atividade é responsável pela circulação de ideias e difusão de resultados das pesquisas, tornando disponíveis diversos estudos e tecnologias não relacionadas ao conhecimento popular, ajudando a melhorar a vida das pessoas e dando suporte a desenvolvimentos econômicos e sociais sustentáveis (BUENO, 2010). A DC também contribui em atividades escolares e ensino de ciências, atingindo um público que frequenta ou já frequentou as instituições de ensino (FONTANELLA e MELGLHIORATTI, 2013). Exemplos de materiais de DC são os livros “A Evolução da Física”, “Uma breve história do tempo” a “Lógica do cisne Negro”, podcasts como “Xadrez Verbal”, blogs e portais como “Comciência” e “Rainha Vermelha”, canais de Youtube do tipo “Nerdologia” e “Canal do Pirula”.

Apesar da FC não possuir o compromisso com o rigor da apresentação das teorias científicas, ela propaga conceitos científicos, ainda que os próprios autores das obras ficcionais não tenham essa intenção (RODARME, 2015). Neste sentido, a FC estaria cumprindo o papel de DC. De fato, a FC motiva o aprendizado das ciências devido ao seu caráter lúdico (ALMEIDA, 2008). Então, os materiais da FC poderiam ser aproveitados na DC. Contudo, a FC não tem compromisso estrito com a realidade, fazendo com que a aplicação desta na DC demande todo um trabalho de adaptação. Cabe ao divulgador de ciência analisar criticamente uma obra de FC antes de seu uso para a DC.

Neste trabalho, será analisado criticamente o conteúdo científico da obra cinematográfica “Homem Formiga”, da “Marvel Studios”, comparando os conceitos científicos descritos nos filmes com aqueles expostos em livros e artigos acadêmicos de Física. A partir destas comparações, será realizada uma avaliação da viabilidade do filme como recurso paradidático ou como motivador no ensino de Física.

2. Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é identificar os temas de Física no filme "Homem Formiga" e compará-los com a Física propriamente dita, sem criticar o filme em si, pois se trata de uma obra ficcional sem compromisso com a realidade.

Um objetivo secundário é avaliar a possibilidade de utilizar o filme para a Divulgação Científica e o ensino de ciências.

Existem também os objetivos de: Analisar a possibilidade do uso do filme de ficção científica Homem-Formiga na Divulgação Científica no ensino de ciências; Ilustrar que a ficção científica e filme de ficção científica Homem-Formiga não podem ser usados diretamente na Divulgação Científica no ensino de ciências, necessitando de um mediador para isso.

3. Educação Formal, informal e não formal

Uma definição geral de educação foge dos objetivos deste trabalho. Então, apenas a classificação da educação em Educação Formal (EF), Educação não Formal (ENF) e Educação Informal (EI) será explorada.

A motivação da classificação das formas de educação em EF, ENF e EI surge de uma demanda. Segundo Fávero (2007), após a segunda guerra mundial, uma crise educacional atingiu diversos países de primeiro mundo. Esta crise se deu pois os sistemas escolares não cumpriam seu papel em relação à promoção social e nem na formação de recursos humanos para as novas tarefas que surgiam com a transformação industrial e sobretudo não conseguiam atender à grande demanda escolar (FÁVERO, 2007). Houve então, uma demanda e uma valorização maiores por atividades e experiências não escolares, tanto ligadas à formação profissional quanto à cultura geral (FÁVERO, 2007). No contexto do final do século XX, surgem os termos EF, EI e ENF (CASCAIS e TERÁN, 2014). Popularmente, as diferenças entre as três formas de educação se dão pelo espaço onde as atividades são realizadas. Segundo Marandino, Selles e Ferreira (2009), ações escolares são ações formais, dentro do ambiente escolar. Ações informais e não formais são as ações fora do ambiente escolar.

Gohn (2006) elabora um pouco mais este conceito, dizendo que EF é produzida nas escolas com conteúdos demarcados. A EI é a produzida em processos de socialização, como com familiares e amigos (GOHN, 2006). Esta envolve valores e cultura própria dos espaços em que acontece. Já a ENF ocorre a partir da troca de experiências entre os indivíduos, sendo promovida em espaços coletivos (GOHN, 2006).

Cascais e Terán (2014) chamam a atenção para a institucionalização da EF e da ENF. Além disso, estas duas formas de educação são dotadas de finalidades específicas (CASCAIS e TERÁN, 2014). Ao contrário da espontaneidade da EI, a EF e não formal são planejadas por educadores dotados de uma formação acadêmica sólida. Exemplos disso são as universidades e escolas para a EF e museus de ciência para a não formal (FÁVERO, 2007).

Além disso, Gohn (2006) elabora que cada uma dessas modalidades possui seus próprios objetivos. A EF procura preparar o indivíduo para atuar em sociedade, expressando seus concernentes com o ensino, aprendizagem e sistemas historicamente estabelecidos. A EI preocupa-se em socializar desenvolvendo hábitos e atitudes. Por fim, a ENF tem a finalidade de proporcionar conhecimento sobre o mundo que envolve os indivíduos, juntamente com suas relações sociais.

3.1 Educação Formal e sua relação com a sociedade

Como dito anteriormente, EF refere-se às instituições de ensino. Esta segue leis específicas que determinam um currículo escolar e divide-se em níveis de idade e conhecimento (CASCAIS e TERÁN, 2014).

As instituições de ensino, sobretudo a escola, serviam de referência para as instituições detentoras do conhecimento. Porém, atualmente, os conhecimentos do mundo exterior à escola adentraram a mesma (CHASSOT, 2003). O fluxo de conhecimento de antes, da escola para a comunidade, sofreu uma inversão após os movimentos de globalização. Este movimento faz com que seja necessária uma revisão do contexto escolar em relação à disseminação de conhecimento (CASCAIS e TERÁN, 2014).

3.2 Educação Formal e ensino de ciências

No contexto da EF, o ensino de ciências destacou-se cada vez mais à medida que a ciência e a tecnologia tornaram-se mais relevantes para o desenvolvimento econômico, social e cultural (CASCAIS e TERÁN, 2014). Esta importância maior da ciência fez com que o ensino de ciências fizesse parte das diversas reformas educacionais que ocorreram ao redor do globo (KRASILCHIK, 2000).

O ensino de ciências possui o objetivo de que o aluno interprete o mundo do ponto de vista das ciências, identificando aspectos históricos e sociais das ciências e abordando problemas raciocinando cientificamente (CASCAIS e TERÁN, 2014). Desenvolver essas habilidades requer preparação por parte do professor. Parte dessa preparação inclui aprender a despertar interesse e motivar a curiosidade e o gosto do aluno por ciências. É nesta função motivacional que se faz necessário o uso da ENF no ensino de ciências (CASCAIS e TERÁN, 2014).

3.3 Educação Não-Formal e ensino de ciências

Frequentemente, a ENF possui uma maior capacidade que a EF de proporcionar aulas e experiências mais dinâmicas, visto que não envolve provas e/ou avaliações. Portanto, a ENF auxilia em uma melhor compreensão do conteúdo apresentado na EF, além de melhor estimular os estudantes (VIEIRA, 2005). Então, a ENF acaba sendo uma excelente aliada no ensino de ciências.

As ferramentas utilizadas na ENF são livros paradidáticos, museus e feiras culturais e científicas (CASCAIS e TERÁN, 2014). Também se enquadra na ENF a utilização de sites e espaços virtuais educativos (CASCAIS e TERÁN, 2014), como o PhET (Physics Education Technology, ou Tecnologias de educação na física), o Geogebra, Khan Academy, etc.

3.4 A divulgação científica

A definição de Divulgação Científica (DC) é muito complexa, devido à sua pluralidade. Por exemplo, Bueno (2010) define que a DC compreende a utilização de recursos, técnicas, processos e produtos (veículos ou canais) para a veiculação das informações científicas, tecnológicas ou associadas à inovação ao público leigo. No entanto, Martins e Gallo usam uma definição relacionada à linguagem:

Segundo Martins e Gallo (2015), a finalidade da DC seria colocar em linguagem acessível as pesquisas e descobertas científicas que possuem uma linguagem incompreensível para os não especialistas no assunto. O que acontece é que a Ciência é ressignificada a partir da sua publicização, ou seja, a Ciência é retirada do seu meio de circulação tradicional e é levada a ocupar um lugar no cotidiano do grande público.(CARVALHO, 2021, p. 708.).

Apesar de não haver consenso sobre o que é DC, ela não deve ser reduzida à divulgação de fatos e descobertas científicas pela imprensa. Em outras palavras, divulgação científica não é sinônimo de jornalismo científico (BUENO, 2010). A divulgação científica extrapola o território da mídia e se espalha por outros campos ou atividades, cumprindo papel importante no processo de alfabetização científica. Segundo Bueno (2010), a audiência contemplada pela DC é ampla e heterogênea:

[...]como no caso de programas veiculados na TV aberta brasileira, que potencialmente atingem milhões de telespectadores. Porém, também pode estar circunscrita a um grupo menor de pessoas, como no caso de palestras

voltadas para o público leigo, com audiência restrita em função da própria capacidade do ambiente em que elas se realizam (BUENO, 2010. p.4).

A DC se expande para muito além de apenas artigos na imprensa escrita e online. Esta abrange também o uso de histórias em quadrinhos ou de folhetos para veiculação de informações científicas, determinadas campanhas publicitárias ou educacionais, peças de teatro com a temática de ciência e tecnologia ou às vezes, biografias de cientistas ilustres e mesmo a literatura de cordel no Nordeste brasileiro (BUENO, 2009).

Para Rojo (2008), os textos de DC surgem da vontade política de entregar os bens da ciência e cultura ao povo. Os diversos meios de comunicação sobre divulgação de conceitos científicos citados anteriormente existiriam justamente para pessoas em busca de respostas e informações sobre as rápidas transformações da ciência e da tecnologia (KAWAMURA e SILVA, 2001).

É relevante levantar um contraponto às ideias estabelecidas acima. Em seu artigo “A Divulgação Científica e o discurso da necessidade”, a autora Ângela C. F. Baalbaki aponta que o Estado pode promover a DC como necessária em defesa de seus próprios interesses (BAALBAKI, 2014).

A DC se utiliza dos mais diversos meios de comunicação, conforme citado anteriormente. Por exemplo, Moreira e Massarani (2002) defendem o uso da novela “O Clone” como uma ferramenta de DC. Piassi (2007) propõe a utilização de diversos livros e filmes como facilitadores para o ensino de ciências. Marandino, Iszlaji e Contier (2015) exploram o uso de websites e mídia online na DC.

O uso de filmes e vídeos na DC é amparado pelos estudos sobre a linguagem audiovisual. Para Arroio (2010), filmes, materiais audiovisuais por excelência, possuem a capacidade de comunicar todos os tipos de emoções, ações e conhecimento. A linguagem audiovisual, mostra-se como uma ferramenta facilitadora durante a construção do conhecimento (PIASSI, 2007). Esta linguagem proporciona uma integração da realidade individual do estudante com o ambiente natural circundante. Isto faz com que a sensibilidade e a percepção do universo se desenvolvam (PIASSI, 2007). A linguagem audiovisual pode integrar conceitos

científicos e mostrar personagens que vivem em um mundo que pode ser reconhecido e identificado pelos alunos (SERRA e ARROIO, 2019).

3.5 A Divulgação Científica e o ensino de ciências

A DC é muito importante no contexto escolar, principalmente no ensino de ciências (CASCAIS e TERÁN, 2014). O ensino de ciências na escola e a DC frequentemente tratam do mesmo assunto. No entanto, na DC, o conteúdo apresentado frequentemente torna-se mais interessante do que quando apresentado em sala de aula (KAWAMURA e SALÉM, 1996). Geralmente, os meios de comunicação alternativos despertam interesse nos estudantes, enquanto o conteúdo apresentado na escola é visto como uma obrigação (KAWAMURA e SALÉM, 1996), porém é importante ressaltar que a DC não costuma promover o aprendizado de muitos conceitos científicos que a EF promove.

Até a década de 90, a DC tinha uma função relegada apenas a popularizar ideias científicas ao grande público, sem levar seu potencial educacional em consideração (HERNANDO, 1982). O próprio Carl Sagan (1996) salienta que a DC deveria ser aplicada nas escolas, através dos métodos mais eficazes conhecidos na época.

No final do século XX, a DC aparecia como promissora no ensino de ciências, na forma de materiais paradidáticos, alavancando o interesse dos alunos pelos conhecimentos aplicados na sala de aula (ALBAGLI, 1996). Nos últimos anos, a aplicação de materiais de DC em sala de aula já é uma realidade (FERREIRA e QUEIROZ, 2012). Mesmo que o conteúdo do material de DC não esteja no currículo escolar, o primeiro pode ser utilizado como agente motivador, trazendo um maior interesse dos alunos pelos conceitos apresentados (SILVA e KAWAMURA, 2001).

3.6 Divulgação Científica e Educação Não Formal

Não existe um consenso entre os pesquisadores e autores a respeito de onde a DC se enquadra, porém Cascais e Terán (2014) classificam a DC como uma forma de ENF.

Segundo as autoras, o intuito das revistas, jornais e centros de cultura, de tornar a ciência mais acessível, tornou a DC indispensável para o desenvolvimento

do ensino de ciências (CASCAIS e TERÁN, 2014). Boa parte deste conhecimento vem de materiais externos à escola.

Quando a DC é abordada como uma forma de ENF, o papel educativo e suas relações com o ensino de ciências tornam-se claros e intuitivos.

4. A Ficção Científica Na Educação

4.1 O Gênero Ficção Científica

O gênero ficção é um exercício de imaginação e fantasia. A ficção científica (FC) possui a característica de incluir as ciências como um componente essencial na elaboração de suas fantasias (BALDESSIN, 2006).

As origens da ficção científica datam desde a Grécia antiga, entre 46 e 120 D.C., quando Plutarco escreveu “*De Facie in Orbe Lunare*”, ou “*Na superfície do disco lunar*” (LEONARDO, 2007). Nesta obra, Plutarco descreve um voo espacial e a superfície da lua. Apesar da obra de Plutarco ser considerada um embrião para a ficção científica, ela não é uma obra de ficção científica por não possuir uma raiz nas ciências no sentido moderno do termo (GRADVOHL, 2010).

O primeiro manuscrito que pode ser considerado como FC é o “*Sonminum*”, ou “*Sonho*”, de Ludwig Kepler (1607-1663). O manuscrito descreve detalhadamente como a Terra pode parecer quando vista da superfície da Lua. Por se relacionar com o conhecimento de astronomia da época, o manuscrito se enquadra no gênero de ficção científica (GRADVOHL, 2010).

Apesar destes manuscritos não possuírem compromisso com rigor científico, estes não podem ser considerados como pseudociência. Percepções populares de ciência podem acabar nublando a divisão entre ciência e pseudociência e ficção científica para o público geral (PENDLE, 2006). Entretanto, a ficção científica não se vende como ciência ou método científico, ela apenas se apropria de ideias e cenários científicos para a composição de enredos fantásticos. Já a pseudociência se mascara como ciência utilizando afirmações vagas, exageradas ou improváveis (HANSSON, 2015).

4.2 Os Períodos da Ficção Científica

Em 1953, Isaac Asimov estabelece uma cronologia para a ficção científica em sua obra “*Modern Science fiction: its meaning and its future*”. Ele divide a história da ficção científica em quatro períodos: período primitivo (1815 – 1926), período de Gernsback (1926 – 1938), período social (1938 – 1945) e período atômico (1945 – 1958) (ASIMOV, 1953).

O período primitivo concentra suas publicações em em uma mistura de conceitos científicos e místicos com extrapolações científicas de realidade futuras. Um de seus principais expoentes foi Frankenstein de Mary Shelley (1818). O livro trata de uma amálgama de diversos cadáveres reanimada com uma mistura de ciência com misticismo. Viagem à Lua, filme de 1902, foi inspirado nas obras de Júlio Verne (1828-1905) e H.G. Wells (1866-1946), fantasiando sobre como seria a lua quando fosse visitada (ASIMOV, 1953).

Levando a classificação do período em consideração, é necessário estabelecer a diferença entre a mistura de conceitos místicos e científicos, característica do período, e a pseudociência. A separação entre ciência e conceitos místicos se dá somente após o séc. XVII (YATES, 1986). A pseudociência é qualquer tipo de informação que diz ser baseada em fatos científicos, mas que não resulta da aplicação de métodos científicos (HANSSON, 2015). Diferentemente dos textos desse primeiro período, que não buscavam apresentar fatos, mas apenas enredos baseados em textos científicos da época, a pseudociência se apresenta como científica, mas não adere a um método científico válido, carece de provas ou plausibilidade, não podendo ser confiavelmente testada (HANSSON, 2015).

O segundo período, o período de Gernsback, é marcado principalmente pelas publicações do autor Hugo Gernsback (1884-1967). Hugo era um inventor alemão que emigrou para os Estados Unidos (KROME, 2012). Ao se mudar para os Estados Unidos, ele iniciou a publicação que viria a se tornar a *Amazing Stories*, sua principal obra e a primeira revista do mundo totalmente dedicada à ficção científica. Gernsback acreditava que a ficção científica poderia ser usada como uma ferramenta para educar os leitores (ASIMOV, 1953). Portanto, ele usava uma abordagem diferente das revistas da época, utilizando elementos implausíveis como forma de instruir o público em avanços científicos (GERNSBACK, 1926). A criação de uma revista especializada em ficção científica gerou uma indústria editorial inteira em cima do gênero (ASIMOV, 1953). Dentre os escritores cujas primeiras histórias foram publicadas na *Amazing* está Isaac Asimov (ASHLEY, 2000).

Durante o período de Gernsback, surgiram os primeiros super-heróis, como Superman em 1938 e Batman em 1939 (BOOKER, 2014). Este período é fortemente marcado por extrapolação científica e por um maior foco em batalhas de um “grande

benfeitor” e um “grande malfeitor”, criando estereótipos como cientistas loucos e super-heróis incorruptíveis (ASIMOV, 1953).

O terceiro período, o período social, possui seu início com a revista *Astounding Stories* em 1938 (ASIMOV, 1953). O nome dado ao período veio por uma maior preocupação com os impactos dos avanços científicos na sociedade humana (ASIMOV, 1953). Esse período vem acompanhado da chamada “Social Science Fiction” (ficção científica social), termo cunhado por John W. Campbell (1910-1971), editor da *Astounding Stories* (MOSKOWITZ, 1963). Asimov explica esta modalidade de ficção científica refletindo sobre três tipos de história diferentes a respeito do mesmo elemento fictício (ASIMOV, 1953). A história que descreve detalhadamente o elemento fictício, demonstrando seu funcionamento e mostrando as dificuldades de seu inventor para fazê-lo funcionar é chamada de “Gadget Science fiction” (ficção científica de “engenhoca”). Já a história que demonstra uma aventura em que o elemento fictício é central para a solução de um problema, focando apenas em seu uso nesta solução e nos desdobramentos da narrativa é chamada de “Adventure Science fiction” (ficção científica de aventura). Por último, a história que foca nos desdobramentos desta invenção, os perigos e avanços que ela traria para a humanidade é a chamada “Social Science fiction”. Esta última modalidade de FC é a mais encorajada por Campbell em sua revista (ASIMOV, 1953).

Campbell levantou uma maior ênfase em elementos humanos e sociais na ficção científica, desviando o foco de batalhas entre heróis e vilões, focando em discussões a respeito das diferenças que haveria entre humanos e diferentes raças alienígenas e os impactos de tais diferenças na sociedade (HAMILTON, 2007). Isso foi discutido na publicação “*A Martian Odyssey*” de Stanley G. Weinbaum, um perfeito exemplo do período social (ASIMOV, 1953). Graças a Campbell, um maior rigor científico era requerido nas histórias que eram publicadas em sua revista. O editor da *Astounding* recusava e/ou cortava todo tipo de história que extrapolasse demais os limites da ciência da época (MOSKOWITZ, 1963; ASIMOV, 1953).

O quarto período da ficção científica, o período atômico, ganha esse nome por conta da bomba atômica de Hiroshima, disparada pelos Estados Unidos em 1945 sobre o Japão (ASIMOV, 1953). Este período marca uma mudança significativa do público que consumia ficção científica na época. A ficção científica era vista sempre

como literatura “juvenil” pelo grande público, porém, após a detonação da bomba atômica, o público se diversificou (SAGAN, 1978). Diversas editoras passaram a publicar novos livros de ficção científica sem preocupações em diluir a ciência para um grande público, tendo em vista o evento do final da segunda guerra mundial (ROBERTS, 2006).

De acordo com Leonardo (2007), o período atual é chamado de período sincrético. Começando no fim do período atômico em 1958, o período sincrético caracteriza-se por histórias em que se controla a máquina e a técnica, onde a ciência não se subjugava por elas (LEONARDO, 2007). Este período é marcado também por uma paz e um bem-estar apoiados na ciência (LEONARDO, 2007). Muitas revistas de ficção científica voltam a tomar um tom mais social, seguindo a linha da ficção científica social de Campbell, que ainda possuía a revista *Astounding* na época (LEONARDO, 2007).

4.3 Homem-Formiga

A personagem Homem-Formiga (HF) surgiu em setembro de 1962, na revista *Tales to Astonish*, número 35 (DEFALCO, 2008). Esta primeira publicação conta sobre um cientista, o Dr. Henry Hank Pym, que fazia uma descoberta após a morte de sua esposa por agentes corruptos da polícia (DEFALCO, 2008). Esta descoberta era um novo grupo de partículas, as Partículas Pym (PP), corpúsculos que permitiam alterar o tamanho de qualquer corpo (DEFALCO, 2008). Armado de sua descoberta e de um capacete que permite comunicar-se com formigas, Hank torna-se o super-herói Homem-Formiga (DANIELS, 1991).

Na segunda versão do HF, Scott Lang era um ladrão que se tornou o HF depois de roubar o traje do Dr. Pym para salvar sua filha Cassandra "Cassie" Lang de um problema cardíaco. Reformando-se de sua vida de crime, Lang logo assumiu uma carreira em tempo integral como HF com o incentivo de Hank Pym (BYRNE, MICHELINIE e LAYTON, 1979).

Em 2015, a Marvel Studios decidiu lançar o Filme “Homem-Formiga”, que adapta histórias do herói dos quadrinhos. A história do filme foca na segunda versão do personagem e em sua relação com os personagens Hank Pym e Hope Van Dyne

(filha de Hank Pym) e conta uma trama onde Scott precisa aprender a usar o traje criado por Hank e derrotar o antagonista do filme (RUDD, MCKAY e WRIGHT, 2015).

É possível analisar a utilização de tecnologias irreais do universo do HF e discutir a respeito do impacto dessas tecnologias na sociedade. No entanto, no longa-metragem, a discussão principal do filme se dá em torno do antagonista, Darren Cross. Ele possui um plano de vender a tecnologia das partículas Pym para organizações paramilitares, criando uma força militar de espiões que poderiam se utilizar das habilidades concedidas pelas PP. Estas discussões coincidem com o movimento de ficção científica social idealizado por John W Campbell, no período social.

4.4 Ficção científica como reflexo das concepções científicas da sociedade

Em 2015, a pesquisa “Percepção pública da ciência, tecnologia e inovação no Brasil, 2015” - realizada pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) e o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) – trouxe as constatações de que os brasileiros apresentam atitudes positivas em relação à ciência e tecnologia (C&T) e manifestam ter grande interesse por esses temas. Segundo a pesquisa, 61% dos entrevistados demonstraram interesse médio ou alto pelo tema (Percepção pública da C&T no Brasil, 2019).

É usual que o conteúdo exposto na mídia e em meios gerais de entretenimento seja um reflexo direto da interpretação da sociedade acerca de determinado assunto (VALKENBURG, PETER e WALTHER, 2016). Em suma, a FC espelha as concepções de ciência da sociedade (SINGER, 2009).

Diversos filmes influenciam e buscam influenciar a C&T com ideias e possibilidades. Filmes como “2001 – Uma odisseia no espaço”, de Stanley Kubrick, ou “AI – Inteligência Artificial”, de Steven Spielberg, trazem possibilidades e vislumbres de tecnologias inovadoras no campo da inteligência artificial (MURPHY e WOODS, 2009). Por exemplo, entre as 10 maiores bilheterias do cinema de 2015, seis delas são ocupadas por filmes de ficção científica como “Jurassic World”, “Star Wars” e “Perdido em Marte”, ou com elementos de ficcionais que envolvem conceitos científicos, como “Avengers”, “Minions” e “Jogos Vorazes”

ver na imagem abaixo:

1	Jurassic World	\$652,270,625	4,291	\$652,270,625	Jun 12	Universal Pictures ↗
2	Star Wars: Episode VII - The Force Awakens	\$651,967,269	4,134	\$936,662,225	Dec 18	Walt Disney Studios Motion Pictures ↗
3	Avengers: Age of Ultron	\$459,005,868	4,276	\$459,005,868	May 1	Walt Disney Studios Motion Pictures ↗
4	Inside Out	\$356,461,711	4,158	\$356,461,711	Jun 19	Walt Disney Studios Motion Pictures ↗
5	Furious 7	\$353,007,020	4,022	\$353,007,020	Apr 3	Universal Pictures ↗
6	American Sniper	\$348,797,073	3,885	\$350,126,372	Dec 25	Warner Bros. ↗
7	Minions	\$336,045,770	4,311	\$336,045,770	Jul 10	Universal Pictures ↗
8	The Hunger Games: Mockingjay - Part 2	\$269,569,121	4,175	\$281,723,902	Nov 20	Lionsgate ↗
9	The Martian	\$225,345,353	3,854	\$228,433,663	Oct 2	Twentieth Century Fox ↗
10	Cinderella	\$201,151,353	3,848	\$201,151,353	Mar 13	Walt Disney Studios Motion Pictures ↗

(Disponível em <https://www.boxofficemojo.com/year/2015/>)

Cenários futuristas são pautados pelos filmes de FC quando citados pelo imaginário popular (PIASSI, 2007). Embora não exista um consenso entre os pesquisadores da área sobre o potencial educativo da FC, ele existe e não é nada desprezível (SUPPIA, 2006).

4.5 O papel da ficção científica no ensino de ciências e na Divulgação Científica

A FC é uma ferramenta útil e subutilizada, que pode ser aplicada tanto no ensino de ciências como na divulgação científica.

Carl Sagan produziu um artigo para o The New York Times em 1978 descrevendo sua juventude e sobre como foi crescer com um acesso a um vasto acervo de obras de ficção científica (SAGAN, 1978). Neste artigo, Sagan fala sobre como a ciência se esconde nas entrelinhas das histórias de ficção, criando um ambiente de experimentação de ideias e de debates para o desenvolvimento científico e tecnológico. Um ótimo exemplo dessa ambientação são as discussões geradas pela formulação das três leis da robótica por Isaac Asimov e sua aplicação no desenvolvimento de Inteligências artificiais atualmente (MURPHY; WOODS, 2019). Citando Sagan diretamente,

Um dos grandes benefícios da ficção científica é que ela transmite pedacinhos e frações, dicas e frases, de conhecimento desconhecido, ou inacessível, ao leitor. [...] Uma obra de ficção científica oferece a última tentativa da matemática de Einstein na

teoria de campo unificado como uma canção; outra apresenta uma equação importante na genética das populações (SAGAN, 1978).

Leroy Dubcek (1993) defende o uso da ficção científica no ensino de ciências para ilustrar e/ou levantar questionamentos a respeito de tópicos científicos. Exibir um filme e discutir a respeito aperfeiçoa o entendimento da ciência, tanto para um processo de descoberta, quanto para um processo de desenvolvimento do espectador (DUBCEK, 1993). Para Dubcek, os filmes facilitam a compreensão dos estudantes sobre os princípios científicos, pois os tratam de uma forma que facilita a visualização destes conceitos, tornando o abstrato mais compreensível. Segundo Dubcek, apresentar filmes com temáticas científicas para os alunos torna a ciência mais relevante para eles, principalmente quando relacionada a questões dramáticas e sociais (DUBCEK, 1993).

Em seu artigo "Finding Facts in Science Fiction Films", Dubcek discute a utilização do filme "2001: Uma Odisseia no Espaço" para lecionar e discutir as leis da conservação do momento linear e angular, além de discutir o conceito da gravidade artificial.

Seguindo uma abordagem diferente de Dubcek, Nauman e Shaw (1994) propõem uma leitura de histórias de FC durante o ensino fundamental. Segundo os autores, a leitura funciona como uma forma de despertar o interesse pelas ciências.

O gênero pode fornecer para as crianças e igualmente para os adultos uma janela para o futuro, um meio de prever como a vida poderia ser em alguma data do futuro (NAUMAN e SHAW, 1993, p 18).

Nauman e Shaw sugerem diversas histórias e propõem uma discussão que enfatize não só questões conceituais, mas também as discussões sociais idealizadas por Campbell em sua revista *Astounding*, focando em como os diversos avanços poderiam afetar vidas humanas e suas interações (NAUMAN e SHAW, 1993).

LaRocque e Kamel (2007) defendem que

[...] a FC traçou uma estreita correspondência entre os saberes produzidos pela comunidade científica e o imaginário humano, o que de certa forma não deixa de ser um aspecto da divulgação científica, entremeada por nuances literárias e poéticas, capazes de seduzir as mentes humanas, ávidas em navegar por territórios ainda desconhecidos (LAROCQUE e KAMEL, 2007).

Nos anos 70, os primeiros estudos defendendo o uso da literatura de ficção científica na DC ganharam destaque (LAROCQUE e KAMEL, 2007). Para LaRocque e Kamel (2007), os romances de ficção científica possuem um potencial de levar os leitores a refletir sobre diversas questões sociais que envolvem o conhecimento científico, como a manipulação e a apropriação indevida destes conhecimentos científicos, bem como a utilização para beneficiar fatias privilegiadas da população.

Suppia (2006) defende o potencial das obras de FC no cinema como obras de divulgação. O autor cita a utilização de Gattaca(1997) como exemplo. O filme trata de uma história voltada à clonagem e aos impactos sociais de uma sociedade que se construiu em cima disso.

[...] escrito e dirigido por Andrew Niccol, retoma a clonagem humana, apostando no livre-arbítrio e no acaso como fatores de resistência a um futuro dominado pela genética. De forma similar ao livro Admirável mundo novo (1932), de Aldous Huxley, Gattaca descreve uma sociedade do futuro próximo na qual os bebês nascem em clínicas de aprimoramento genético. Esses indivíduos são denominados "Valid" e destinados a carreiras de elite. Em contrapartida, indivíduos nascidos naturalmente e, portanto, sujeitos ao acaso genético – os "Invalid"– são destinados a funções subalternas (SUPPIA, 2006).

O potencial de DC da obra não encontra-se apenas nas explicações a respeito de clonagem e na sociedade distópica apresentada no filme, mas também nas discussões sociais que tais avanços propiciaram para a sociedade ilustrada na obra.

Porém, como funcionaria a utilização da FC na DC e no ensino de ciências? Este trabalho explora a possibilidade da aplicação da FC como uma ferramenta de educação. Conforme discutido anteriormente nos conceitos de EF, EI e ENF, é necessário transitar além da EF, partindo para uma concepção mais ampla de educação e de ensino de ciências que comporte outras formas de lecionar, indo além da sala de aula e fora do que seja sistematicamente institucionalizado. É nessa esfera que materiais de FC podem participar do ensino de ciências e da DC.

5. Levantamento de dados do filme

O filme Homem-Formiga mostra falas das personagens e cenas que podem ser comparadas com a Física propriamente dita. Segue abaixo uma tabela com os instantes do filme em que ocorrem algumas falas e cenas emblemáticas para uma comparação de conceitos no filme e na Física.

00:10:47	Explicação sobre a partícula Pym. Ela altera a distância entre os átomos. O personagem Darren Cross dá uma aplicação militar à teoria: tornar um soldado do tamanho de um inseto, apelidado de homem-formiga.
00:30:26	Scott cai de um lugar alto e danifica a superfície de contato.
00:42:34	Hank Pym explica o funcionamento das partículas.
00:50:05	Hope explica que a força de um homem de 91kg é mantida mesmo que ele tenha 0,25mm.
00:53:37	Scott cai de um lugar alto e danifica a superfície de contato.
00:58:59	Pym revela que sua esposa faleceu porque diminuiu ao nível subatômico para desarmar um míssil.
01:26:12	Scott usa os discos expansivos para expandir o vidro e estourar a câmara onde o traje da jaqueta amarela se encontrava.
01:28:05	Scott usa o momento criado para nocautear um segurança com um soco.

01:32:34	Darren Cross (jaqueta amarela) e Scott caem em uma mala. Durante a queda da mala, a aceleração gravitacional relativa fica nula
01:40:24	Scott se encolhe a um nível subatômico. Mesmo sendo feito de átomos, Scott se encolhe a um tamanho menor do que os átomos.
01:41:22	Pym supõe que a mente humana não pode compreender o mundo quântico.

(tabela 1: Momentos que envolvem conceitos físicos)

6. Massa, Densidade e Pressão

6.1. As partículas Pym

As Partículas Pym (PPs) são um conceito apresentado no filme “Homem-Formiga”, justificando as habilidades do protagonista Scott Lang de diminuir seu tamanho. O nome do filme coincide com o apelido de Scott Lang, Homem-Formiga (HF), uma referência ao tamanho de uma formiga assumido pela personagem. Não há muitas explicações a respeito da natureza das PPs ou suas propriedades. A personagem coadjuvante, Dr. Hank Pym, afirma que a partícula foi sua grande descoberta científica, sendo capaz de alterar a distância entre os átomos dos corpos, aumentando ou diminuindo seu tamanho. Em adendo à sua pesquisa, o Dr. Pym fabricou um traje que utiliza as propriedades das PPs para manipular o volume do usuário da roupa.

Neste capítulo, será explorada a lei da conservação da massa no filme do HF. A variação de volume do HF traria uma alteração na massa? O filme não afirma e nem nega a lei da conservação da massa, logo, não há como avaliar uma alteração na massa com a oscilação de tamanho proporcionada pelo traje. A omissão da concordância com esta lei traz consequências importantes para a análise conceitual da Física no filme. No aumento de massa com o volume, a densidade (razão entre massa e volume) pode ser invariante. Se houver conservação da massa, a densidade aumenta de forma inversamente proporcional ao volume e vice-versa, dado por $P = \frac{m}{V}$.

Diferentemente da questão da massa, a filha de Pym, Hope Van Dyne, explica que o decréscimo no volume não diminui a força exercida por uma pessoa, ou seja, há conservação da força. Neste caso, a pressão (força dividida pela área) aumenta de forma inversamente proporcional à área de contato, analogamente à densidade previamente mencionada.

Com o intuito de comparar os dados científicos reais e os experimentais abordados no filme, é necessário discorrer brevemente sobre estes conceitos de acordo com a Física.

6.2 Conceito de massa na Mecânica Clássica

A massa é uma das grandezas fundamentais da Física, assim como o tempo e a distância (RESNICK, HALLIDAY e KRANE, 1996).

Na Mecânica Clássica, há várias definições de massa, sendo as mais conhecidas, a inercial e a gravitacional (RESNICK, HALLIDAY e KRANE, 1996). A massa inercial é definida pela segunda lei de Newton,

$$\vec{F} = m\vec{a}.$$

Para uma dada força aplicada em um corpo, quanto maior a massa, menor a aceleração. Assim, massa inercial é a resistência de um corpo a aceleração (RESNICK, HALLIDAY e KRANE, 1996).

A massa gravitacional pode ser ativa ou passiva. Massa gravitacional passiva é aquela que sofre a ação dos campos gravitacionais. O conceito de massa gravitacional ativa refere-se à massa que gera o campo gravitacional (RESNICK, HALLIDAY e KRANE, 1996). O módulo da força gravitacional que um corpo A gera em B é dado por

$$F = \frac{Gm_A \cdot m_B}{d^2}$$

onde $G=6,6743 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$ é a constante da gravitação universal, e m_A , m_B e d são respectivamente as massas dos corpos A e B e a distância entre os corpos. A direção da força gravitacional é a reta que liga os dois corpos que se atraem. O sentido da força é aquele que proporciona atração entre os corpos.

Comumente, a massa é confundida com o peso. Massa é uma grandeza escalar, já o peso corresponde a um vetor. Mais especificamente, o peso é a força de atração da gravidade exercida sobre um corpo. Essa confusão entre os dois conceitos se deve à proporcionalidade entre o módulo do peso e a massa (RESNICK, HALLIDAY e KRANE, 1996).

Apesar da conservação da massa ser fundamental no contexto da Mecânica Clássica, esta lei só foi formulada explicitamente por Antoine Lavoisier em 1775 (WHITAKER, 1975). Esta lei postula que a soma das massas das substâncias reagentes é igual à soma das massas dos produtos da reação, popularmente conhecida como “Na natureza, nada se cria, nada se perde, tudo se transforma” (WHITAKER, 1975).

Assim, por exemplo, quando 1 grama de hidrogênio reage com 8 gramas de oxigênio, verifica-se a formação de 9 gramas de água.

6.3 O conceito de massa na Relatividade e a equivalência massa-energia

Na Teoria da Relatividade Restrita, a questão da massa está relacionada ao referencial. O módulo do momento linear de uma partícula é dado por

$$p = m_0 \gamma v,$$

onde m_0 é a massa da partícula em um referencial onde ela está em repouso, enquanto γ é o fator de Lorentz, dado por

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

A tabela abaixo ilustra os valores de γ para algumas velocidades

Velocidade (m/s)	Gamma (γ)
$3 \cdot 10^7$	1,005
$6 \cdot 10^7$	1,020
$9 \cdot 10^7$	1,040
$1,2 \cdot 10^8$	1,091
$1,5 \cdot 10^8$	1,154
$1,8 \cdot 10^8$	1,25

$2,1 \cdot 10^8$	1,402
$2,4 \cdot 10^8$	1,667
$2,7 \cdot 10^8$	2,294
$3 \cdot 10^8$	∞

(tabela 2: Valores de γ para determinadas velocidades.)

Por exemplo, um elétron tem massa de repouso $9,11 \cdot 10^{-31}kg$. Se sua velocidade é de $1,5 \cdot 10^8m/s$, o módulo de seu momento linear igual a

$$p = (9,11 \cdot 10^{-31}) \cdot (1,154) \cdot 1,5 \cdot 10^8 = 1,579 \cdot 10^{-22}J.$$

Há duas formas de interpretar a massa de um corpo na Teoria da Relatividade. A primeira interpretação é que a massa do corpo é a massa de repouso m_0 . A outra interpretação é que a massa da partícula é a massa dinâmica, definida como $m=m_0 \gamma$. Neste caso, a massa depende do referencial porque γ é uma função da velocidade do corpo. Para um corpo em repouso ($v=0$, $\gamma=1$ e $m=m_0$), a massa de repouso é a massa dinâmica de um corpo em repouso (ROCHE, 2005).

Usando a massa dinâmica, a expressão do momento linear da Relatividade fica igual a da Mecânica Clássica,

$$\vec{p} = m\vec{v}.$$

No entanto, ao contrário da massa na Mecânica Clássica, a massa dinâmica depende do referencial.

De acordo com a Teoria da Relatividade Restrita, a energia cinética de um corpo é dada por

$$K = m_0 c^2 (\gamma - 1).$$

Por exemplo, utilizando o mesmo elétron com massa de repouso $9,11 \cdot 10^{-31}kg$ e velocidade $1,5 \cdot 10^8m/s$, tem-se uma energia cinética de

$$k = (9,11 \cdot 10^{-31}) \cdot c^2 \cdot (1,154 - 1) = 1,262 \cdot 10^{-14}J.$$

Caso o corpo atinja a velocidade da luz, $v=c$, γ chega ao infinito. As partículas com massa de repouso não nula não podem atingir a velocidade da luz porque sua

energia cinética ficaria infinita (AUSTERN, 2008). Então, uma partícula só pode chegar à velocidade da luz se sua massa de repouso é nula porque $m_0=0$ e γ infinito implicam em uma energia cinética indeterminada que pode ser finita. Assim, os fótons, as partículas da luz, e de todas as radiações eletromagnéticas, devem ter massa de repouso nula porque atingem a velocidade da luz (AUSTERN, 2008).

A energia de repouso E_0 de um corpo pode ser definida como

$$E_0 = m_0 c^2.$$

Tomando a massa de repouso do elétron como $9,11 \cdot 10^{-31} kg$, a energia de repouso do elétron seria

$$E_0 = 9,11 \cdot 10^{-31} \cdot (3 \cdot 10^8)^2$$

$$E_0 = 8,199 \cdot 10^{-14} J$$

Se a massa do corpo é identificada como a massa de repouso, a energia de repouso pode ser interpretada como a energia armazenada pela massa de repouso. Neste caso, um corpo com massa m_0 poderia ser transformado em energia $E_0 = m_0 c^2$ e vice-versa. Por exemplo, um par elétron-pósitron pode se transformar em um par de raios gama, um processo denominado “aniquilação”. A massa de repouso dos fótons é nula e há desaparecimento da massa do par elétron-pósitron (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2005). Neste caso, a massa m_0 teria se transformado em energia na forma de fótons, $E = m_0 c^2$. Inversamente, um par de elétron-antielétron pode ser “criado” a partir de raios gama, transformando energia em massa. Então, se a massa é interpretada como a massa de repouso, a lei da conservação da massa é violada pela Relatividade (ASHTEKAR e MAGNON-ASHTEKAR, 2008).

A energia total da partícula é definida como:

$$E = E_0 + K = m_0 c^2 \gamma = mc^2$$

$$\Rightarrow E = m_0 c^2 + m_0 c^2 (\gamma - 1) = m_0 c^2 + m_0 c^2 \gamma - m_0 c^2 = m_0 c^2 \gamma = mc^2$$

$$\Rightarrow E = m_0 c^2 \gamma$$

$$\Rightarrow E = mc^2.$$

Por exemplo, um elétron com velocidade $1,5 \cdot 10^8 m/s$ ($\gamma = 1,154$) e massa dinâmica de $1,051 \cdot 10^{-30} kg$ tem energia de

$$E = 1,051 \cdot 10^{-30} \cdot 9 \cdot 10^{16} = 9,459 \cdot 10^{-14} J.$$

A famosa equação de Einstein, $E = mc^2$, é a expressão da energia total do corpo. Em geral, apenas se diz que a energia E de um corpo é numericamente igual ao produto de sua massa m e da velocidade da luz ao quadrado (EINSTEIN, 1905).

Analogamente à energia de repouso, a energia total pode ser interpretada como a energia armazenada pela partícula em movimento. Quando o corpo está em repouso, resta apenas a energia de repouso E_0 . A energia cinética é a diferença entre a energia total e a de repouso, $K = E - E_0$.

Se a massa da partícula é interpretada como a massa dinâmica, a massa pode ser vista como uma medida da energia total da partícula, $m = \frac{E}{c^2}$. A massa de repouso seria uma medida da energia de repouso, $m_0 = \frac{E_0}{c^2}$. Neste sentido, é possível atribuir uma massa dinâmica ao fóton, $m = \frac{E}{c^2}$. Se a massa atribuída às partículas é $m = \frac{E}{c^2}$, a lei da conservação das massas é recuperada. Por exemplo, a massa de repouso do par elétron-pósitron é transformada em massa dinâmica do par de fótons e vice-versa.

Na prática, a descrição das reações onde partículas são criadas, destruídas ou transformadas é feita através da lei da conservação da energia (FEYNMAN, 2011). A criação de uma partícula com massa m_0 corresponde à transformação de uma forma de energia qualquer em energia de repouso $m_0 c^2$. Inversamente, a aniquilação de uma partícula de massa m_0 é a transformação de energia de repouso $m_0 c^2$ em outras formas de energia.

No contexto da interpretação da massa como dinâmica, assumindo um sistema de unidades onde $c = 1$, a energia total fica

$E = mc^2 = m$. O costume é referir-se a este resultado como “equivalência massa-energia” (GÜNTER e MÜLLER, 2019).

A Teoria da Relatividade também tem impacto nas definições de massa inercial e gravitacional. De acordo com a Teoria da Relatividade Geral, não há

distinção entre um campo gravitacional e um referencial acelerado (BERGMANN, 2012). Um observador em um referencial acelerado em relação a outro vê todos os corpos com massa m acelerando em determinado sentido. Isso faz com que a massa inercial e gravitacional se tornem equivalentes (ASHTEKAR e MAGNON-ASHTEKAR, 2008). No entanto, uma análise do conceito de massa no contexto da Teoria da Relatividade Geral não é necessária no contexto deste trabalho.

Neste trabalho, os conceitos de “massa de repouso” e “massa dinâmica” serão usados explicitamente para evitar uma interpretação específica da massa na Teoria da Relatividade. Se o termo massa aparecer sozinho, o significado do termo é a massa inercial da Mecânica Clássica.

6.4 Densidade ou massa específica

Densidade de um corpo é a concentração de sua massa em um determinado volume. Normalmente é representada pela letra ρ e definida como

$$\rho = \frac{m}{V},$$

onde m é a massa do corpo e V o volume. Por exemplo, se $m = 200\text{g}$ e $V = 5\text{cm}^3$, tem-se que

$$\rho = \frac{200\text{g}}{5\text{cm}^3} = 40\text{g/cm}^3.$$

Um termo que é “quase” sinônimo de densidade é a massa específica. Massa específica é a densidade de uma porção de uma substância homogênea específica (BRASIL, 2013). Por exemplo, cada porção de um litro de água tem aproximadamente 1kg. Então a massa específica da água vale

$$\rho = \frac{1\text{kg}}{1\text{L}} = \frac{1\text{kg}}{1\text{dm}^3} = \frac{1.000\text{g}}{1.000\text{cm}^3} = 1\text{g/cm}^3.$$

6.5 Pressão

Pressão (P) é o módulo da força aplicada (F) em uma superfície dividido pela área superficial da mesma (A),

$$P = \frac{F}{A},$$

Em um exemplo onde a força aplicada em uma superfície de área $A=5\text{m}^2$ é de $F=40\text{N}$, a pressão fica

$$P = \frac{40N}{5m^2} = 8N/m^2.$$

Objetos que exercem uma grande força e possuem uma superfície de contato pequena (como lâminas, pregos ou agulhas) conseguem exercer uma pressão forte o suficiente para romper a pele humana e causar ferimentos graves.

Por exemplo, uma força de 50N exercida utilizando uma lâmina de uma faca que possui 2mm² de superfície de contato,

$$P = \frac{50}{0,002} = 25.000 Pa.$$

Ao contrário da força, a pressão é uma grandeza escalar. Assim, não é correto falar de pressão da direita para a esquerda, de baixo para cima, diagonal, etc.

6.6 Comparação entre o filme e a Física

6.6.1 Comparação da relação massa volume no filme e na Física

Segundo a explicação dada no filme Homem-Formiga, as PPs somente aproximam ou afastam as partículas da matéria, mudando o tamanho do objeto. Logo, as massas dos corpos ainda seriam as mesmas. Se a massa é a mesma, mas o volume está encolhendo ou expandindo, a densidade estaria mudando por ser inversamente proporcional ao volume.

Ao contrário das falas das personagens do filme, várias cenas indicam uma conservação da densidade, o que implica em variação da massa. Se a massa variasse junto com o volume, deixando a densidade constante na mudança de tamanho dos corpos, as PPs não se limitariam a alterar apenas a distância entre as partículas, mas alterariam a massa dos corpos. Por exemplo, aproximando a densidade do corpo humano por 1mg/mm³ e o seu volume médio por 70dm³, uma pessoa teria massa média de 70kg. Se a massa se conservasse, a formiga não aguentaria carregar um homem de 70kg. Considerando o volume de uma formiga como aproximadamente 10mm³, a pessoa de 70kg alcançaria uma densidade de 70kg/10 mm³=70mg/10⁶mm³. Caso uma pessoa encolhesse para o volume de uma formiga e a densidade se conservasse, a massa ficaria

$$m = \rho \cdot V = 1mg/mm^3 \cdot 10mm^3 = 10mg$$

Em média, as formigas têm massa de 3mg e volume 10mm³, resultando em uma densidade de $3\text{mg}/10\text{mm}^3=0,3\text{mg}/\text{mm}^3=0,3\text{kg}/\text{dm}^3$ (LABARBERA, 2003). Uma formiga de 3mg conseguiria sustentar um homem de 10mg sobre si (LABARBERA, 2003).

No filme, as PPs expandem uma formiga para um volume próximo ao corpo humano, 70dm³. Caso a massa se conserve, a densidade da formiga expandida seria em torno de

$$3\text{mg}/66,4\text{dm}^3=0,05\text{mg}/\text{dm}^3=5 \cdot 10^{-8}\text{kg}/\text{dm}^3.$$

Considerando que a densidade do ar é de 1,2g/dm³ (MARSHALL e PLUMB, 2008), essa formiga gigante tornou-se menos densa do que o ar. Assim como gases menos densos do que ar elevam-se na atmosfera devido ao empuxo, a formiga ficaria flutuando. No entanto, caso a densidade de 0,3kg/dm³ seja conservada, a formiga expandida para um volume de 66,4dm³ ficaria com massa de

$$m = \rho \cdot V = 0,3 \cdot 66,4 = 19,92\text{kg}.$$

O mesmo problema aparece na cena do trem gigante Thomas. O trem destrói o teto da casa em que se encontrava e cai pelo buraco. Caso a massa se conserve na expansão, o trem ficaria menos denso, analogamente à formiga. O chão não se quebraria. Analogamente, o tanque de guerra que se expande também sofreria uma queda de densidade e não poderia quebrar uma parede. Se a densidade se conservar, o trem e o tanque aumentariam de massa. As cenas só se explicariam por uma conservação da densidade e aumento de massa.

Em suma, se a massa é conservada, as variações de densidade não são compatíveis com as cenas do filme. Em contrapartida, se a densidade é conservada, a conservação da massa implícita nas explicações sobre as PPs fica comprometida.

6.6.2 A pressão na Física e no filme.

Um dos outros comentários feitos por Hope Van Dyne durante o filme é que o HF possuiria a força de um homem de 70 quilos comprimida no tamanho de uma formiga.

As cenas de lutas onde o HF golpeia seus inimigos apresentam um problema grave. Se a força é conservada, a diminuição do HF faz com que a pressão

aumente. O efeito seria análogo a uma agulha que concentra toda a força aplicada a ela em uma pequena área. Assim, os golpes do HF furariam seus oponentes. No entanto, no filme, os golpes são análogos aos choques macroscópicos.

Outro exemplo de problema da pressão no filme está nas cenas de expansões de objetos. Com a conservação da massa e o aumento da área de contato desses corpos, a pressão exercida por eles se tornaria ínfima. A cena em que o peso da formiga rompe o chão não faria sentido com a conservação da massa e da força. Além disso, a cena em que o brinquedo e o tanque rompem paredes também ficariam inconsistentes com a conservação da massa. Se a densidade é conservada e a conservação da massa é violada, as cenas citadas teriam uma explicação consistente, mas o Dr. Pym alegou uma conservação da força. Novamente, as falas dos personagens contrariam as cenas.

7. Dilatação e contração térmica.

No universo conhecido, os corpos possuem a capacidade de alterar seu volume. Por exemplo, os gases não possuem uma forma definida e nem volume constante. Um gás se expande até que seu volume corresponda ao espaço do contingente (GASPAR, 2004). No caso da atmosfera terrestre, não há nenhuma redoma confinando os gases atmosféricos, mas a gravidade impede a expansão gasosa para além da exosfera (RESNICK, HALLIDAY e KRANE, 2003). Diferentemente dos gases, os líquidos e os sólidos possuem um volume aproximadamente constante (GASPAR, 2004). Os sólidos têm forma definida, mas os líquidos assumem o formato do recipiente (GASPAR, 2004).

Quando um corpo é aquecido, suas moléculas começam a vibrar ou se mover mais rapidamente, geralmente afastando-se entre si (RESNICK, HALLIDAY e KRANE, 2003). Esse afastamento entre as partículas faz com que o material se expanda. Inversamente, quando um corpo é resfriado, suas moléculas se aproximam e há uma contração em escala macroscópica (RESNICK, HALLIDAY e KRANE, 2003).

Em geral, os materiais se expandem com o aquecimento. No entanto, alguns materiais são uma exceção a esse comportamento, dentre eles, o gelo, a prata e a madeira (RÖTGER et al, 1994). Por exemplo, o gelo comum se contrai com o aquecimento em temperaturas entre 0 °C e -200 °C, levando a um coeficiente de expansão térmica negativo neste intervalo (RÖTGER et al, 1994).

7.1 Dilatação e contração térmica dos sólidos

Diferentemente de gases ou líquidos, os materiais sólidos mantêm sua forma quando sofrem dilatação ou contração (RESNICK, HALLIDAY e KRANE, 2003).

7.1.1 Dilatação e contração térmica dos sólidos em 1 dimensão

Começando uma análise da expansão ou contração no comprimento dos corpos, é possível definir um coeficiente de dilatação térmica linear α para cada material, dado por:

$$\alpha = \frac{1}{L_0} \frac{dL}{dT} ,$$

onde L_0 é uma medida de comprimento de um corpo sólido antes da expansão ou contração e dL/dT é a variação dessa medida pela variação de temperatura.

Em geral, usa-se uma aproximação $\frac{dL}{dT} = \frac{\Delta L}{\Delta T}$. Tomando o comprimento inicial como L_0 , a relação acima fica:

$$\alpha = \frac{(\frac{1}{L_0})\Delta L}{\Delta T} \Rightarrow \Delta L_0 \alpha \Delta T.$$

Assim, a variação de comprimento é proporcional à variação de temperatura e ao próprio comprimento inicial (RESNICK, HALLIDAY e KRANE, 2003).

Segue abaixo uma tabela com alguns valores experimentais de coeficiente de dilatação linear:

Substância	Coeficiente de Dilatação Linear (°C⁻¹)
Porcelana	$3 \cdot 10^{-6}$
Vidro Comum	$8 \cdot 10^{-6}$
Platina	$9 \cdot 10^{-6}$
Aço	$11 \cdot 10^{-6}$
Concreto	$12 \cdot 10^{-6}$
Ferro	$12 \cdot 10^{-6}$
Ouro	$15 \cdot 10^{-6}$
Cobre	$17 \cdot 10^{-6}$
Prata	$19 \cdot 10^{-6}$
Alumínio	$22 \cdot 10^{-6}$
Zinco	$26 \cdot 10^{-6}$
Chumbo	$27 \cdot 10^{-6}$

(tabela 3: coeficientes de dilatação linear.)

Por exemplo, uma barra de ferro ($\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$) de 1 metro ou de 1 quilômetro aquecidas a uma variação de temperatura de $20 \text{ }^\circ\text{C}$ sofrem respectivamente as seguintes expansões:

$$\Delta L = L_0 \alpha \Delta T = 1\text{m} \cdot 12 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \cdot 20 \text{ }^\circ\text{C} = 0,00024\text{m} = 0,24\text{mm}$$

$$\Delta L = 1\text{km} \cdot 12 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \cdot 20 \text{ }^\circ\text{C} = 0,00024 \text{ km} = 24 \text{ cm}.$$

Para a barra de um metro, a variação é ínfima, menor do que um milímetro. Entretanto, a variação da barra de 1 quilômetro se torna bem mais perceptível, quase um quarto de um metro. Esta variação de tamanho em função da variação de temperatura é a motivação para o espaçamento entre os trilhos de ferro de uma ferrovia (RESNICK, HALLIDAY e KRANE, 2003).

Analogamente, uma barra de ferro de 1 metro e de 1km sujeitas a um resfriamento de $-20 \text{ }^\circ\text{C}$, sofrem variações de comprimento respectivamente de

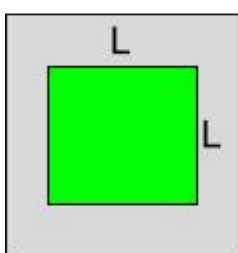
$$\Delta L = 1\text{m} \cdot 12 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \cdot (-20 \text{ }^\circ\text{C}) = -0,00024\text{m} = -0,24\text{mm}$$

$$\Delta L = 1\text{km} \cdot 12 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \cdot (-20 \text{ }^\circ\text{C}) = -0,00024\text{km} = -24\text{cm}.$$

Assim, o ferro encolhe ($\Delta L < 0$) com o resfriamento.

7.1.2 Dilatação e contração térmica dos sólidos em 2 dimensões.

Se uma superfície é formada por pequenos quadrados de lado L_0 , a área superficial é um múltiplo de $A_0 = L_0^2$.



Se cada quadrado de lado L_0 se expande, o novo lado L será igual à $L_0 + \Delta L$. A nova área do quadrado ficará $A = L^2$. Substituindo $L = L_0 + \Delta L$ em L^2 , chega-se à

$$L^2 = (L_0 + \Delta L)^2,$$

$$L^2 = L_0^2 + 2 \cdot L_0 \Delta L + \Delta L^2.$$

Ao colocar o termo L_0^2 em evidência, tem-se que

$$L^2 = L_0^2 \left(1 + \frac{2 \cdot L_0 \Delta L}{L_0^2} + \frac{\Delta L^2}{L_0^2} \right).$$

Como o valor de ΔL^2 é muito menor do que L_0 , o termo $\frac{\Delta L^2}{L_0^2}$ pode ser desprezado,

$$L^2 = L_0^2 \left(1 + \frac{2 \cdot L_0 \Delta L}{L_0^2} \right)$$

$$L^2 = L_0^2 + 2L_0 \Delta L.$$

Substituindo $L^2 = A$, $L_0^2 = A_0$, e $\Delta L = L_0 \alpha \Delta T$ na expressão acima e definindo $\beta = 2\alpha$, chega-se a

$$A = A_0 + \beta A_0 \Delta T.$$

O termo $\beta A_0 \Delta T$ corresponde a uma variação de área. Então, surge uma expressão análoga à $\Delta L = L_0 \alpha \Delta T$,

$$\Delta A = \beta A_0 \Delta T.$$

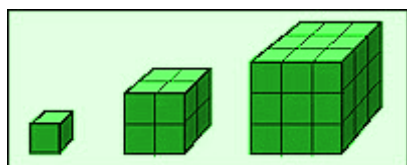
onde $\beta = 2\alpha$ é denominado coeficiente de dilatação superficial.

Como a superfície é formada por múltiplos quadrados de área L^2 , a expressão acima pode ser generalizada para qualquer variação de área. Por exemplo, uma chapa de ferro ($\beta = 2\alpha = 24 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$) de área 10m^2 , em uma variação de temperatura de $20 \text{ } ^\circ\text{C}$, tem uma variação de área de

$$\Delta A = \beta A_0 \Delta T = 10\text{m}^2 \cdot 20 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \cdot 24 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} = 0,0048\text{m}^2 = 48\text{cm}^2$$

7.1.3 Dilatação e contração térmica dos sólidos em 3 dimensões.

A dedução da dilatação e contração volumétrica é análoga à superficial (RESNICK, HALLIDAY e KRANE, 2003). Assim como uma superfície é formada por pequenos quadrados de lado L_0 e a área superficial é um múltiplo de $A_0 = L_0^2$, o volume compõe-se por diversos cubos de aresta L_0 e o volume torna-se múltiplo de $V_0 = L_0^3$.



Logo, o volume do cubo após uma variação de temperatura é igual a $L^3 = (L_0 + \Delta L)^3$,

$$L^3 = L_0^3 + 3 \cdot L_0^2 \Delta L + 3 \cdot L_0 \Delta L^2 + \Delta L^3.$$

Colocando o termo L_0^3 em evidência,

$$L^3 = L_0^3 \left(1 + \frac{3.L_0^2\Delta L}{L_0^3} + \frac{3.L_0\Delta L^2}{L_0^3} + \frac{\Delta L^3}{L_0^3} \right)$$

Analogamente à dilatação superficial, os termos $\frac{3.L_0\Delta L^2}{L_0^3}$ e $\frac{\Delta L^3}{L_0^3}$ podem ser desprezados, assim:

$$L^3 = L_0^3 \left(1 + \frac{3.L_0^2\Delta L}{L_0^3} \right),$$

$$L^3 = L_0^3 + 3.L_0^2\Delta L.$$

Substituindo $L^3 = V$, $L_0^3 = V_0$, e $\Delta L = L_0\alpha\Delta T$ na expressão acima e definindo $\gamma = 3\alpha$, chega-se a

$$V = V_0 + \gamma V_0 \Delta T.$$

O termo $\gamma V_0 \Delta T$ corresponde a uma variação de volume. Então, surge uma expressão análoga à $\Delta L = L_0\alpha\Delta T$ e a $\Delta A = \beta A_0\Delta T$,

$$\Delta V = \gamma V_0 \Delta T,$$

onde $\gamma = 3\alpha$ é denominado coeficiente de dilatação volumétrica.

Como o corpo extenso é formado por múltiplos cubos de volume L^3 , a expressão acima pode ser generalizada para qualquer variação de volume (TIPLER e MOSCA, 2008).

Por exemplo, um cilindro de ferro ($\gamma = 3\alpha = 36.10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$) de volume 2m^3 , em uma variação de temperatura de $20 \text{ }^\circ\text{C}$, tem uma variação de volume de

$$\Delta V = \gamma V_0 \Delta T = 2\text{m}^3 \cdot 36.10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \cdot 20 \text{ }^\circ\text{C} = 0,00144\text{m}^3 = 1,44\text{dm}^3 = 1,44 \text{ L}$$

7.2 Dilatação e contração térmica dos líquidos

A expansão térmica dos líquidos geralmente é maior do que nos sólidos porque as forças intermoleculares presentes no estado líquido são relativamente mais fracas e suas moléculas constituintes são móveis (GASPAR, 2004). No entanto, é importante lembrar que os líquidos não apresentam forma própria, adquirindo o formato do recipiente que os contém. Por isso, para os líquidos, não faz sentido calcular nem a dilatação linear e nem a superficial, somente a volumétrica (GASPAR, 2004).

Segue abaixo uma tabela com alguns valores experimentais do coeficiente de expansão térmica (TIPLER e MOSCA, 2008):

Líquidos	Coeficientes de Dilatação Volimétrica ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)
Mercúrio	$1,8 \cdot 10^{-4}$
Glicerina	$4,9 \cdot 10^{-4}$
Álcool	$11,2 \cdot 10^{-4}$
Acetona	$14,93 \cdot 10^{-4}$

(tabela 4: Coeficientes de dilatação volumétrica de alguns líquidos)

Por exemplo, uma porção de 2L de álcool ($\gamma = 11,2 \cdot 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$) em um aquecimento de 5°C tem uma variação de volume de

$$\Delta v = \gamma V_0 \Delta T = 2\text{L} \cdot 11,2 \cdot 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \cdot 5 \text{ }^{\circ}\text{C} = 11,2 \cdot 10^{-3} \text{ L} = 11,2 \text{ mL}$$

Uma das exceções à expansão de um líquido com a temperatura é a água. Entre 0°C e 4°C , a água se contrai com o aquecimento. Em temperaturas entre 4°C e 100°C , a água apresenta comportamento típico, com coeficiente de expansão térmica positivo da ordem de $1,3 \cdot 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ (RÖTTGER et al, 1994).

7.3 Dilatação térmica dos gases, a lei de Clapeyron

A lei dos gases ideais, também chamada de equação geral dos gases ou lei de Clapeyron, descreve a relação entre pressão (P), volume (V), temperatura em escala absoluta (T) e número de partículas (N) de um gás hipotético,

$$PV = Nk_{\text{B}}T,$$

onde $k_{\text{B}} = 1,380649 \cdot 10^{-23}$ é a constante de Boltzmann (MOHR, TAYLOR e NEWELL, 2008).

A maioria dos físicos usa a expressão acima, mas os químicos substituem o número de partículas pelo número de mols (n),

$$PV = nRT,$$

onde $R=8,31 \text{ J/mol K}$ é a constante universal dos gases. O número de mols pode ser definido como

$$n = \frac{Nk_B}{R}.$$

Um gás ideal é um gás teórico composto de muitas partículas pontuais em movimento aleatório que não estão sujeitas a interações interpartículas à distância (TUCKERMAN, 2010). A mecânica estatística prevê a lei do gás ideal, onde a pressão vem das colisões entre partículas e a temperatura é uma medida da energia cinética média. A lei de Clapeyron é uma boa aproximação do comportamento dos gases acima de uma temperatura crítica dependente de cada substância.

Por exemplo, a lei de Clapeyron pode prever o volume em uma porção de oxigênio.

$$V = \frac{nRT}{P}.$$

Então, um mol moléculas de oxigênio ($n = 1$) à temperatura de 37°C ($T = 310\text{K}$), com $R = 8,31\text{J/mol K}$ e com $P = 1\text{atm} = 101325\text{Pa}$ corresponde a um volume de

$$V = \frac{nRT}{P} = 0,0254\text{m}^3 = 25,4\text{L}.$$

Quando a pressão é constante, a variação de volume do gás fica

$$V_2 - V_1 = \frac{nRT_2}{P} - \frac{nRT_1}{P} = \frac{nR}{P} (T_2 - T_1)$$

$$\Delta V = \frac{nR}{P} \Delta T.$$

Então, a variação de volume é proporcional à variação de temperatura. Isso é análogo aos sólidos. Segue um exemplo com uma variação de temperatura de 10 Kelvin a uma pressão de 1atm (101325 Pa) em 1 mol de gás:

$$\Delta V = \frac{nR}{p} \Delta T = 8,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3.$$

Diferentemente de um gás, sólidos e líquidos não podem ser aquecidos indefinidamente. Sólidos se tornam líquidos e estes se tornam gases.

Se a pressão não é constante, a variação de volume torna-se

$$V_2 - V_1 = \frac{nRT_2}{P_2} - \frac{nRT_1}{P_1} \neq \frac{nR}{P} (T_2 - T_1)$$

$$\Delta V \neq \frac{nR}{P} \Delta T$$

porque não existe mais um P uniforme no denominador de $\frac{nR}{P} \Delta T$.

Logo, para pressão não constante, a variação de volume não é proporcional à variação da temperatura. Segue um exemplo com os mesmos dados do anterior, porém com uma variação de pressão de 1atm (101325 pa) para 0,5 atm (50662,5 pascal) e com uma variação de temperatura de 10 Kelvin (350 - 300 Kelvin)

$$\Delta V = 0,1913 - 0,0246 = 0,1667m^3$$

7.4 Primeira Lei da Termodinâmica e variação do volume.

7.4.1 Variação de energia térmica em um gás

A energia térmica ou interna de um gás ideal é a soma das energias cinéticas de suas partículas. Para poder calculá-la, é levado em consideração volume, temperatura, pressão e número de partículas (TUCKERMAN, 2010). Com as técnicas da Mecânica Estatística, chega-se à energia interna de

$$U = \left(\frac{n_f}{2}\right)nR T = \left(\frac{n_f}{2}\right)PV,$$

onde n_f é o número de graus de liberdade. Um exemplo de energia do gás ideal é aquele composto por moléculas diatômicas não vibrantes, como por exemplo, o oxigênio. Cada molécula diatômica tem 5 graus de liberdade ($n_f = 5$). Um conjunto de 1 mol de moléculas de oxigênio ($n = 1$) à temperatura de 37°C ($T = 310K$) tem energia de

$$U = \left(\frac{n_f}{2}\right)nRT = 6.440,25 J$$

A variação de energia térmica é proporcional à variação de temperatura,

$$\Delta U = \left(\frac{n_f}{2}\right)nR \Delta T$$

Um exemplo de variação de energia interna, utilizando $n_f = 5$, $n=1$ e uma variação de temperatura de 50K é

$$\Delta U = 1.038,75 J.$$

A Primeira Lei da Termodinâmica exprime a conservação da energia. Para os gases, a primeira lei da termodinâmica dita que a variação total de energia é a soma

do calor com o trabalho. O calor é a energia dada ou retirada de um sistema por troca energética ou reações químicas. Já o trabalho é a energia proveniente da expansão ou contração do gás para um sistema. Quando o trabalho é maior do que 0, existe uma compressão, quando o trabalho é menor que 0, existe uma expansão.

7.4.2 Primeira Lei da Termodinâmica para gases.

A primeira lei da termodinâmica pode ser expressa por

$$\Delta U = Q + W,$$

onde Q é o calor e W o trabalho mecânico realizado sobre o material.

Há infinitas possibilidades de transformação de pressão, volume e temperatura em um gás. As transformações mais estudadas são: isovolumétrica, isobárica, isotérmica e adiabática.

7.4.2.1 Transformação isovolumétrica

A transformação Isovolumétrica ou isocórica está associada a um volume constante. Esse processo é exemplificado pela variação de calor de um gás dentro de um recipiente inelástico hermeticamente fechado. Por conta da propriedade inelástica do recipiente, não há variação no volume do gás, mesmo havendo um aquecimento ou resfriamento no conteúdo do recipiente. De acordo com a lei do gás ideal, $PV = nRT$, quando o volume e o número de partículas é constante, a pressão é diretamente proporcional à temperatura,

$$\frac{P}{T} = \frac{nR}{V} = \text{Constante}.$$

Na transformação isovolumétrica, $W = 0$. Substituindo $W=0$ na Primeira Lei da Termodinâmica,

$$\Delta U = Q.$$

Assim, em uma transformação isovolumétrica, toda variação de energia térmica vem do calor ($\Delta U = Q$) porque o trabalho é nulo. Por exemplo, utilizando $n=1$ e uma variação de temperatura de 50 K, a variação de energia térmica, o calor e o trabalho para uma transformação isovolumétrica ficam:

$$\Delta U = Q = \left(\frac{n_f}{2}\right)nR\Delta T = 1.038,75 \text{ J},$$

$$W=0$$

7.4.2.2 Transformação isobárica

No caso da transformação isobárica, a pressão permanece constante. Quando a pressão e o número de mols de uma amostra de gás permanecem constantes, a temperatura é diretamente proporcional ao seu volume,

$$\frac{V}{T} = \frac{nR}{P} = \text{Constante.}$$

Como já visto anteriormente, na transformação isobárica a variação de volume é proporcional a variação da temperatura:

$$\Delta V = \left(\frac{nR}{P}\right) \Delta T. \quad (1)$$

Na transformação isobárica, o trabalho fica

$$W = -P \cdot \Delta V. \quad (2)$$

Substituindo (1) em (2), chega-se à

$$W = -nR\Delta T.$$

O calor à pressão constante é dado pela primeira lei da Termodinâmica:

$$Q = \Delta U - W = \Delta U = \left(\frac{n_f}{2}\right)nR \Delta T + nR\Delta T,$$

$$Q = \left(\frac{n_f}{2} + 1\right)nR \Delta T. \quad (3)$$

Por exemplo, de acordo com a relação (1), se $n=1$, $P = 1\text{atm} = 101.325\text{N/m}^2$ e a variação de temperatura é de 50 K, o calor (3), o trabalho (2) e a variação de energia térmica, ficam:

$$Q = \left(\frac{n_f}{2} + 1\right)nR \Delta T = 1.454,25 \text{ J},$$

$$W = -nR\Delta T = -415,5 \text{ J},$$

$$\Delta U = \left(\frac{n_f}{2}\right)nR \Delta T = 1.038,75 \text{ J}.$$

7.4.2.3 Transformação isotérmica

Outro tipo de transformação é a isotérmica, onde a temperatura permanece constante. Quando a temperatura é constante, a energia térmica também torna-se constante: $\Delta U = 0$. De acordo com a primeira lei da Termodinâmica

$$0 = Q + W,$$

$$Q = -W.$$

Assim, em uma transformação isotérmica, todo o calor é compensado pelo trabalho e vice-versa.

Quando a temperatura de uma amostra de gás e o número de mols permanecem constantes, o produto do volume com a pressão é constante,

$$PV = nRT \Rightarrow PV = \text{Constante}.$$

O trabalho em uma transformação isotérmica é dado por

$$W = Nk_B T \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right).$$

Por exemplo, com uma temperatura constante de 300K, com volume inicial de 1m³ e volume final de 1,5m³, o trabalho e o calor ficam:

$$W = nRT \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = 1.010,824 J,$$

$$Q = -W = -1.010,824 J.$$

7.4.2.4 Transformação adiabática

Diferentemente dos processos anteriores, a transformação adiabática acontece em um sistema onde não há troca de energia e nem de matéria com o meio externo, ou seja, o calor é nulo: $Q=0$. De acordo com a Primeira Lei da Termodinâmica,

$$\Delta U = W$$

Na transformação adiabática, a energia interna do gás é transformada completamente em trabalho e vice-versa ($\Delta U = W$), porque o calor é nulo ($Q=0$). Nenhuma das variáveis envolvidas (pressão, volume, temperatura e energia interna) é constante. No entanto, há duas constantes nesta transformação,

$$PV^\gamma = \text{Constante},$$

$$TV^{\gamma-1} = \text{Constante},$$

onde γ , denominada constante adiabática, depende do número de graus de liberdade das moléculas (SANTOS, 2018),

$$\gamma = \frac{(nf+2)}{nf}.$$

Quando um gás sofre transformações de volume muito rápidas, não há tempo para trocas de energia muito intensas. Neste caso, o calor é aproximadamente nulo e a aproximação adiabática é excelente.

7.5 Variação de energia térmica em sólidos e líquidos

Em sólidos e líquidos, a variação de tamanho é ínfima, W torna-se próximo de 0. Então, a variação de energia térmica deve ser aproximadamente igual ao calor, $\Delta U = Q$. O calor é estimado como o produto da massa (m), com uma constante dependente do material, denominada calor específico (c), e com a variação de temperatura,

$$\Delta U = Q = mc\Delta T.$$

Por exemplo, a água em seu estado líquido tem calor específico de $c = 4181 \text{ J/kg}$. Uma variação de temperatura de 20 K corresponde a uma variação de energia de

$$\Delta U = 1 \text{ kg} \cdot (4181 \text{ J/kg} \cdot \text{J}) \cdot 20 \text{ K} = 83.620 \text{ J}.$$

7.6 Conservação da massa na expansão e contração térmicas

As variações de energia típicas em volumes usados no cotidiano, entre 1 mm^3 e 10^3 m^3 , envolvem variações de energia da ordem de mil joules. Um miligrama de matéria corresponde à energia de $E = m_0 c^2 = 10^{-3} \cdot (9 \cdot 10^{16}) = 9 \cdot 10^{13} \text{ J}$. Então, as energias nas dilatações dos corpos não correspondem a variações significativas nas massas de repouso destes corpos. Logo, a massa de um corpo em expansão ou contração pode ser considerada constante. Conseqüentemente, a densidade varia nas expansões e contrações.

Conforme calculado anteriormente, para alterar o volume entre 1 mm^3 e 10 mm^3 as variações de energia são da ordem de 10^3 J . Essa energia alteraria a massa do corpo? A energia de repouso contida em um miligrama de matéria (10^{-6} kg) é

$$m = m_0 c^2 = 10^{-6} \text{ kg} (3 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2 = 9 \cdot 10^{10} \text{ J} \approx 10^{11} \text{ J}.$$

Assim, as energias envolvidas na expansão ou na contração dos corpos é muito inferiores à necessária para criar um único miligrama de matéria. Portanto, é possível considerar a massa do corpo como constante durante as contrações e

expansões térmicas. Consequentemente, a densidade dos corpos varia nas expansões e contrações.

7.7 Comparação do filme com a Física

As variações de volume dos sólidos mostradas no filme são de ordem muito superior em relação às variações de volume expressas nos processos de dilatação dos sólidos e líquidos. De acordo com a Física, os coeficientes de dilatação linear dos sólidos e líquidos são da ordem de 10^{-4} a 10^{-6} , enquanto o HF, os brinquedos e veículos sofrem variações de tamanho da ordem de 10^2 . Assim, as variações de tamanho nos sólidos no filme não guardam relação alguma com aquelas observadas na Natureza devido a variação de temperatura.

As expansões e contrações térmicas observadas na Natureza seguem uma lei de conservação da massa. No entanto, o filme não deixa clara a lei da conservação da massa, conforme observado em outro capítulo deste trabalho.

É interessante pensar também no que aconteceria com os gases internos no corpo da personagem HF, como, por exemplo, o ar em seus pulmões. A alteração brusca do volume do “recipiente”, os pulmões, provocaria uma transformação adiabática. A pressão e a temperatura aumentariam bruscamente, podendo provocar até mesmo uma explosão no pulmão do HF. Por exemplo, se a temperatura e volume iniciais são $T = 37^\circ C = 310K$ e $V = 1L$ com $n_f = 5$ ($\gamma = 1,4$), quando o volume atingisse $V = 0,01L$, a temperatura chegaria a

$$T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}$$

$$310 \cdot 1^{1,4-1} = T_2 (0,01)^{1,4-1}$$

$$310 = T_2 (0,01)^{0,4}$$

$$T_2 = \frac{310}{(0,01)^{0,4}} = 1.955,97K$$

A temperatura do ar dos pulmões do HF seria da ordem da superfície de uma estrela.

Para contrair um sólido ou um líquido, é necessário resfriá-lo, portanto, retirar energia do corpo. No entanto, a compressão adiabática aquece o gás. Isso provocaria um gradiente de temperatura imenso entre as partes sólidas e gasosas do corpo do HF. O filme simplesmente não exibe nenhum gradiente de temperatura.

Então, as expansões e contrações do filme HF não guardam nenhuma relação com aquelas de origem térmica relatadas pela Física.

8 Partículas Elementares

As PPs possuem a propriedade única de alterar o espaço relativo dos átomos, mudando o tamanho dos corpos afetados pela mesma. Não existe na descrição teórica das partículas, o Modelo Padrão das Partículas elementares, alguma partícula que possua propriedade igual ou análoga às PPs. Porém, a comparação entre as PP e as partículas fundamentais é bastante ilustrativa.

8.1 Partículas fundamentais

Na física de partículas, uma partícula elementar (ou partícula fundamental) é aquela que não é composta de outras partículas (MOREIRA, 2009). Por exemplo, o elétron é uma partícula fundamental porque não é formado de unidades menores do que ele. Uma partícula contendo duas ou mais partículas elementares é considerada uma partícula composta. Por exemplo, prótons e nêutrons são partículas compostas, formadas pela união de três quarks (MOREIRA, 2009).

8.2 Bósons e férmions

Existem vários critérios de classificação das partículas elementares, como por exemplo, aquele baseado no spin - uma forma intrínseca de momento angular das partículas em geral (MOREIRA, 2009). De acordo com o spin, as partículas são classificadas como bósons ou férmions. Os bósons possuem um spin inteiro (como 0, 1, 2, 3,...), enquanto os férmions têm spin semi-inteiro (como $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{5}{2}$,...). Apenas os férmions seguem o princípio de exclusão de Pauli, onde duas ou mais partículas idênticas não podem ocupar o mesmo estado quântico (PAULI, 1940). Diferentemente dos férmions, dois ou mais bósons podem ocupar o mesmo estado quântico.

Um ótimo exemplo para bósons são os fótons, partículas sem massa mediadoras da força eletromagnética (GURALNIK, HAGEN e KIBBLE, 1964). Já para os férmions, há o elétron, o próton e o nêutron, partículas com massa e participantes das interações eletromagnéticas.

8.3 Partículas e antipartículas

Todas as partículas são associadas a uma antipartícula de mesma massa mas com a carga elétrica oposta (MOREIRA, 2009). Por exemplo, a antipartícula do elétron é o antielétron, mais conhecido como pósitron. O elétron e o pósitron têm carga elétrica respectivamente negativa e positiva (FEYNMAN, 2014).

A unidade de carga elétrica usada para partículas é a carga elementar $e=1,6 \times 10^{-19} \text{C}$. Assim, uma carga 1 indica e , -1 representa $-e$, $\frac{2}{3}$ simboliza $\frac{2}{3}e$, etc. Como exemplo, o elétron tem carga elétrica negativa -1, e o pósitron, +1.

Os pares partícula-antipartícula podem se aniquilar, produzindo fótons (NAVE, 2010). Levando em consideração que as cargas da partícula e da antipartícula são

opostas, a carga total do par é zero. Os fótons tem carga nula, logo, a carga elétrica total é conservada durante a aniquilação (NAVE, 2010).

Outro exemplo de par partícula-antipartícula é o próton e o antipróton. A carga elétrica do próton é +1, e do antipróton, -1.

8.4 Quarks

As partículas fundamentais fermiônicas podem ser subdivididas em duas categorias: aquelas que sofrem e aquelas que não sofrem a interação forte (MOREIRA, 2009). A interação forte aglutina partículas fundamentais e ela será explicada posteriormente. As partículas fundamentais que sofrem as interações fortes são os quarks e suas antipartículas, os antiquarks (LEDERMAN, L. TERESI, D. FIRESTONE, A. 1994). Já os léptons e antiléptons não são afetados pela interação forte.

Os quarks podem ser subdivididos em 6 categorias (ou “sabores”) diferentes: up (u), down (d), charm (c), strange (s), top (t) e bottom (b). De forma análoga, os antiquarks podem ser antiup (\bar{u}), antidown (\bar{d}), anticharm (\bar{c}), antistrange (\bar{s}), antitop (\bar{t}) e antibottom (\bar{b}) (MOREIRA, 2009). O termo “sabor” para os quarks não tem o significado atribuído no cotidiano.

Segue abaixo uma tabela a respeito dos quarks contendo massa, spin, e carga elétrica.

<p>u</p> <p>$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$ 2/3 1/2 up</p>	<p>c</p> <p>$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$ 2/3 1/2 charm</p>	<p>t</p> <p>$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$ 2/3 1/2 top</p>
<p>d</p> <p>$\approx 4.7 \text{ MeV}/c^2$ -1/3 1/2 down</p>	<p>s</p> <p>$\approx 96 \text{ MeV}/c^2$ -1/3 1/2 strange</p>	<p>b</p> <p>$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$ -1/3 1/2 bottom</p>

(tabela 5: Os Quaks.)

(Tabela retirada de PBS NOVA, Fermilab, Office of Science, United States Department of Energy, Particle Data Group, domínio público)

Existem dois termos utilizados para se referir à massa de um quark: massa corrente e massa combinada. Massa corrente é a massa do quark em si, enquanto massa combinada diz respeito à massa do quark enquanto combinada com outras partículas (WALSH e GENZER, 2004). A massa descrita na tabela acima faz referência à massa corrente do quark. Essa massa corrente é puramente teórica, uma vez que nenhum quark é encontrado sozinho na natureza, o que faz com que seja impossível determinar sua massa corrente com precisão (WALSH e GENZER, 2004). A unidade de massa na tabela acima é GeV/c^2 . O gigaelétronvolt (GeV) é uma unidade de energia. Então a massa dos quarks é medida como a energia de repouso sobre c^2 , $m_0 = E_0/c^2$. Isso permite saber imediatamente a energia de repouso de um quark. Por exemplo, a massa do up é $2,2\text{MeV}/c^2$, então sua energia de repouso é $2,2\text{MeV}$.

Os quarks possuem uma carga elétrica fracionária em relação à carga elementar. Essa carga depende do sabor do quark. Quarks up, charm e top possuem uma carga de $+\frac{2}{3}$, enquanto quarks down, strange e bottom, carga $-\frac{1}{3}$. Os antiquarks, conforme mencionado anteriormente, possuem a carga oposta, sendo antitop, anticharm e antitop possuidores de uma carga $-\frac{2}{3}$ e antidown, antistrange e antibottom, carga $+\frac{1}{3}$.

O spin de todos os quarks é $\frac{1}{2}$, caracterizando-os como férmions, conforme já descrito no início desta seção.

Além dos sabores, quarks possuem uma carga extra, a “cor”. Assim como o termo “sabor”, “cor” não guarda nenhuma relação com as cores do cotidiano. Enquanto a carga elétrica só pode ser positiva ou negativa, a carga-cor ou cor tem três possibilidades: azul, vermelho e verde (MOREIRA, 2009). Analogamente, os antiquarks possuem anticores, antiazul, antivermelho e antiverde. Assim como as cargas elétricas relacionam-se com a interação elétrica, as cores associam-se à interação forte (GROSS, 2004). Os 6 sabores combinados com as 3 cores totalizam 18 possibilidades de quarks diferentes. Analogamente, há 18 possibilidades de antiquarks (OHANIAN, 1985).

Na física de partículas, uma geração ou família é uma classificação das partículas elementares em uma hierarquia de massa, fazendo com que a massa da

geração anterior seja sempre maior. Essa hierarquia de massa faz com que partículas de gerações mais altas decaiam para a primeira geração (BLUMHOFER e HUTTER, 1997). Os quarks são agrupados em três gerações, cada uma composta por dois quarks (BLUMHOFER e HUTTER, 1997).

A primeira geração inclui quarks up e down, a segunda, strange e charm, e a terceira, bottom e top.

8.5 Bárions.

Os quarks interagem através das interações fortes. As partículas formadas por quarks recebem a designação genérica de hádrons (SCOCCOLA, 2004). Há dois tipos principais de hádrons: bárions e mésons (EISBERG e RESNICK, 1979). Os bárions são feitos de três quarks com três cores distintas. Assim, associa-se ao bárion uma cor branca, união do verde, vermelho e azul (GROSS, 2004).

Existem ao todo, 216 bárions possíveis. Abaixo há uma tabela com apenas alguns dos bárions conhecidos (AMSLER et al, 2008).

Nome	Símbolo	Quarks	Massa de Repouso (MeV/c ²)
Próton	p, p^+, N^+	uud	938,272 0813(58)
Neutron	n, n^0, N^0	udd	939,566 4133(58)
Lambda	Λ^0	uds	1 115.686±0,006
Charmed Lambda	Λ_c^+	udc	2 286,46±0,14
Bottom Lambda	Λ_b^0	udb	5 619,6±0,17
Sigma	Σ^+	uus	1 189,37±0,07
Charmed Sigma	Σ_c^{++}	uuc	2 453,97±0,14
Bottom Sigma	Σ_b^+	uub	5 810,56±0,25

(tabela 6: Bárions.)

Bárions possuem spin semi-inteiro, tendo duas possibilidades de spin: $\frac{3}{2}$ (formado por três quarks de spin $\frac{1}{2}$) e $\frac{1}{2}$ (formado por dois quarks de spin $+\frac{1}{2}$ e um quark de spin $-\frac{1}{2}$). Por possuírem spin semi inteiro, os bárions são classificados como férmions (WONG, 1998).

Entre os bárions formados com spin $\frac{1}{2}$, estão os únicos estáveis, o próton e o nêutron. O próton é composto por dois quarks up e um down (uud), já o nêutron, por um quark up e dois down (udd).

Exemplos de bárions com spin $\frac{3}{2}$, os populares são o ômega, sigma e delta. O bárion ômega é formado por três quarks strange (sss). A partícula sigma é composta por dois quarks up e um strange (uus). A delta tem três quarks up (uuu).

A maior parte da massa da matéria comum vem dos dois bárions estáveis: o próton e o nêutron (GELL-MANN, 1984).

Cada bárion possui um antibarion, composto de antiquarks de seus bárions (GELL-MANN, 1984). Por exemplo, um antipróton é formado por dois antiup e um antidown.

8.6 Mésons

Mésons são constituídos de um quark e um antiquark, onde a cor e a anticor devem equilibrar-se, azul com antiazul, vermelho com antivermelho e verde com antiverde (EISBERG e RESNICK, 1979). Assim como os bárions, os mésons também têm cor branca (GROSS, 2004). Isso cria a possibilidade de dois spins possíveis, $1 (\frac{1}{2} + \frac{1}{2})$ ou $0 (\frac{1}{2} - \frac{1}{2})$. Isso faz com que os mésons possuam spin inteiro, logo, são classificados como bósons. É importante mencionar também que todos os mésons são instáveis.

Partícula	Símbolo	Anti-partícula	Constituição	Massa de repouso MeV/c ²
Píon	π^+	π^-	$u\bar{d}$	139,6
Píon	π^0	Ele mesmo	$\frac{u\bar{u} + d\bar{d}}{\sqrt{2}}$	135,0
Kaon	K^+	K^-	$u\bar{s}$	493,7
Kaon	K_S^0	K_S^0	$\frac{d\bar{s} - s\bar{d}}{\sqrt{2}}$	497,7
Kaon	K_L^0	K_L^0	$\frac{d\bar{s} + s\bar{d}}{\sqrt{2}}$	497,7
Eta	η^0	Ele mesmo	$\frac{u\bar{u} + d\bar{d} - 2s\bar{s}}{\sqrt{6}}$	548,8
Rho	ρ^+	ρ^-	$u\bar{d}$	770

(tabela 7: Mésons.)

É valioso mencionar a contribuição do físico brasileiro César M. G. Lattes, em 1947, quando trabalhava para a Universidade de São Paulo juntamente com Ugo Camirini e Gleb Wataghin, conseguiu detectar um novo Méson, o Méson Pi. Ao estudar os traços produzidos por reações nucleares em certas chapas fotográficas especiais, Lattes e sua equipe detectaram um grande número de traços deixados por mésons, que iam diminuindo de velocidade e parando. Estes mésons foram identificados como um novo méson (LATTES, 1984).

8.7 Léptons

Os léptons não se agrupam em partículas compostas por não serem afetados pela interação forte. Segue a tabela de léptons análoga àquela dos quarks, com massa, carga elétrica e spin.

e $\approx 0.511 \text{ MeV}/c^2$ -1 $1/2$ electron	μ $\approx 105.66 \text{ MeV}/c^2$ -1 $1/2$ muon	τ $\approx 1.7768 \text{ GeV}/c^2$ -1 $1/2$ tau
ν_e $< 1.0 \text{ eV}/c^2$ 0 $1/2$ electron neutrino	ν_μ $< 0.17 \text{ MeV}/c^2$ 0 $1/2$ muon neutrino	ν_τ $< 18.2 \text{ MeV}/c^2$ 0 $1/2$ tau neutrino

(tabela 8: Os léptons)

(Tabela retirada de PBS NOVA, Fermilab, Office of Science, United States Department of Energy, Particle Data Group, domínio público)

Léptons podem ser subdivididos em duas categorias, os léptons carregados e os neutrinos. Os léptons carregados são: o elétron (e^-), o múon (μ) e o tau (τ^-) (BUCHWALD e WARWICK, 2001). Suas cargas são iguais a -1 ; cada lépton tem um neutrino correspondente: o neutrino do elétron (ν_e), o neutrino do múon (ν_μ) e o neutrino do tau (ν_τ) (MOREIRA, 2009).

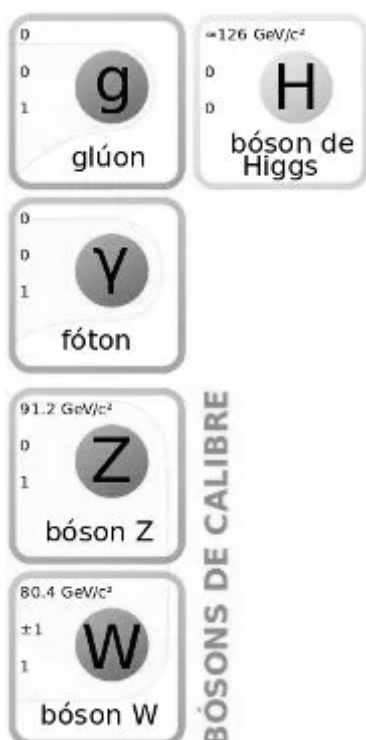
Os léptons, assim como os quarks, também subdividem-se em gerações. Tem-se na primeira geração de léptons o elétron e o neutrino do elétron, na segunda, múon e neutrino do múon, e na terceira, tau e neutrino do tau (NAVE, 2010).

8.8 Bósons e as 4 interações fundamentais

A classificação das partículas fundamentais bosônicas é feita de acordo com o spin: bósons de gauge e o bóson de Higgs. Os bósons de gauge ou bósons vetoriais possuem spin 1 (PAULI, 1940) e o bóson de Higgs, ou bóson escalar, tem spin 0.

Os bósons de gauge agem nas interações produzidas por três das quatro interações fundamentais: eletromagnética, forte e fraca. A interação gravitacional não é descrita pelo modelo padrão (MOREIRA, 2009). Essas interações fundamentais ocorrem como se férmions “trocassem” bósons entre si. Os bósons de gauge são os fótons, os glúons e as partículas W e Z (CARROLL, 2007). Os grávitons, os responsáveis pela interação gravitacional, não são descritos pelo

Modelo Padrão das partículas elementares. Até hoje os grávitons ainda não foram detectados.



(tabela 9: Os bósons.)

8.8.1 Fótons e a interação eletromagnética

Fótons são as partículas mediadoras da interação eletromagnética e possuem spin 1. A interação eletromagnética é responsável pela repulsão entre cargas elétricas de mesmo sinal e atração entre aquelas de sinais opostos (AMSLER, 2008).

Os fótons possuem massa de repouso 0 e, como já indicado anteriormente, movem-se na velocidade da luz no vácuo (GURALNIK, HAGEN e KIBBLE, 1964). Além disso, fótons não possuem carga elétrica e são partículas estáveis.

Muitos processos naturais emitem fótons. Por exemplo, durante uma transição molecular, atômica ou nuclear para um nível de energia mais baixo, moléculas, átomos e núcleos atômicos emitem fótons de várias energias, variando de ondas de rádio a raios gama (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2005). Quando uma carga é acelerada, ela também emite fótons. Como já mencionado, fótons são emitidos quando uma partícula e sua antipartícula correspondente são aniquiladas (FEYNMAN, 2014).

8.8.2 Glúons e a interação forte

As partículas mediadoras da interação forte são os glúons (NAVE, 2012). Assim como os fótons, glúons possuem spin 1 e massa 0 (GURALNIK, HAGEN e KIBBLE, 1964). Estes são responsáveis por manter os quarks juntos, formando hádrons (NAVE, 2012). Como já comentado anteriormente, assim como a interação eletromagnética está relacionada a dois tipos de carga, positiva e negativa, a interação forte associa-se a seis tipos de cargas, “azul”, “vermelho”, “verde”, “antiazul”, “antivermelho” e “antiverde” (NAVE, 2012).

Apesar da energia de repouso dos glúons ser nula, a massa dinâmica é alta devido às suas altas velocidades. A maior parte da massa dos bárions e mésons provém da massa dinâmica dos glúons (WATSON, 2004), não da soma das massas de repouso dos quarks. Por exemplo, as massas dos quarks up e down são respectivamente $2,2 \text{ MeV}/c^2$ e $4,7 \text{ MeV}/c^2$. No entanto, a massa do próton é $938,272 \text{ MeV}/c^2$, enquanto a massa de seus dois up e um down chegam a $2 \times 2,2 + 4,7 = 9,1 \text{ MeV}/c^2$. A diferença de massa entre o próton e seus quarks está na energia dos glúons.

8.8.3 Bósons W e Z e a interação fraca.

Os férmions emitem os bósons W e Z, conhecidos como bósons fracos. A interação envolvendo os bósons fracos é denominada “interação fraca” (AMSLER, 2008).

Todos os três bósons fracos possuem spin 1. No entanto, as massas dos bósons fracos não são nulas como os fótons e glúons (ver tabela 9).

Os bósons W^+ e W^- possuem, respectivamente, carga elétrica positiva e negativa. A antipartícula do bóson W^+ é o W^- e vice-versa. Já o Bóson Z^0 possui carga elétrica neutra e é sua própria antipartícula (LOPES, 1999).

W^+ e W^- são mais conhecidos pelo seu papel no decaimento do nêutron livre. Um nêutron pode ser convertido em um próton enquanto emite um elétron e um anti-neutrino do elétron (BERINGER, 2013).

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

Para gerar um próton, um dos quarks down do nêutron foi transformado em um quark up. No nível mais fundamental, então, a força fraca muda o sabor de um único quark:

$$d \rightarrow u + W^-.$$

É importante ressaltar a conservação da carga elétrica. O quark down tem carga elétrica de $-\frac{1}{3}$, enquanto a soma das cargas elétricas do up ($+\frac{2}{3}$) com o W^- (-1) também é $+\frac{2}{3} - 1 = -\frac{1}{3}$. Esse bóson W^- decai em um elétron e um neutrino,

$$W^- \rightarrow e^- + \nu_e^-.$$

Novamente, a carga elétrica se conservou porque o W^- e o elétron possuem a mesma carga elétrica -1 e o neutrino é neutro. O decaimento do quark down pode ser descrito com as etapas completas

$$d \rightarrow u + W^- \rightarrow u + e^- + \nu_e^-.$$

Como o nêutron é composto de dois quarks down e um up (ddu), o decaimento de um quark down corresponde à

$$ddu \rightarrow duu + W^- \rightarrow duu + e^- + \nu_e^-.$$

Omitindo o passo intermediário da reação, $duu + W^-$, e lembrando que o próton é formado por dois quarks up e um down, a reação acima fica

$$n^0 \rightarrow p^+ + e^- + \nu_e^-,$$

o que é o decaimento do nêutron (BERINGER, 2013). No entanto, grande parte da literatura omite o passo intermediário da reação onde aparece o bóson W^- .

8.8.4 Bóson de Higgs

O bóson de Higgs tem a importante propriedade de distribuir massa através de suas interações para todas as partículas, “originalmente” não massivas (STRASSLER, 2012). Por exemplo, os bósons de Higgs interagem com os bósons fracos, os quarks e os léptons, concedendo massa a estas partículas. No entanto, fótons e glúons não interagem com o bóson de Higgs e não têm massa de repouso (MOREIRA, 2009).

A ideia do bóson de Higgs como “criador” de massa deu origem ao seu apelido, “partícula de Deus” (LEDERMAN, L. TERESI, D. FIRESTONE, A. 1994). No

entanto, o bóson de Higgs não cria nada a partir do nada, mas segue todas as leis de conservação da Física. A forma como parte da mídia relaciona o bóson de Higgs com a espiritualidade merece uma pesquisa à parte.

De acordo com o chamado mecanismo de Higgs, as partículas W e Z se chocariam incessantemente com outras partículas presentes em todo o espaço, as partículas de Higgs, que explicariam suas massas. Ou seja, a massa das partículas W e Z seria dada pela massa das partículas com as quais estariam permanentemente chocando-se (MOREIRA,2009).

8.9 Comparação entre a Física e o filme

As PPs não são constituintes da matéria, mas elas têm papel na interação entre as partículas, alterando sua distância. Então, as PPs agem como partículas mediadoras, apresentando propriedades dos bósons. No entanto, o filme não faz nenhuma informação sobre o spin das PPs e nem de sua natureza bosônica.

Se os bósons de Higgs conferem massa às partículas através de colisões, as PPs poderiam aumentar a massa dos corpos junto com o tamanho? A pergunta não pode ser respondida porque o filme não informa isso. Ao contrário das PPs, os bósons de Higgs não alteram as distâncias entre as partículas. Além disso, o bóson de Higgs não retira massa das partículas, como ocorreria com a diminuição de massa junto com o volume. Então, mesmo com informações escassas dadas no filme, as PPs não podem ser identificadas com os bósons de Higgs.

Em capítulos anteriores, foi vista uma disparidade entre as falas das personagens e as cenas, as primeiras indicando uma conservação da massa, mas as outras, uma alteração massiva. A identificação das PPs com os bósons de Higgs resolveria o problema. No entanto, as PPs não são os bósons de Higgs e o filme continua com uma inconsistência.

8.9.1 O “Reino” Quântico

Em certo momento durante o filme (00:58:59), o Dr Hank Pym conta a história de como perdeu sua esposa Janet Van Dyne. Segundo ele, Janet propositalmente desregulou seu próprio traje para que pudesse encolher a um tamanho que lhe permitisse entrar em uma bomba e desarmá-la. Quando Hank explica o que aconteceu, ele diz que ao desregular o traje, Hope Van Dyne deu início a um evento

que a faria encolher para sempre, até alcançar um tamanho subatômico, onde, segundo ele, “tempo e espaço deixariam de fazer sentido”.

Provavelmente, o roteirista criou o conceito de Reino Quântico inspirado no comprimento de escala de Planck, uma escala menor do que as partículas fundamentais, cerca de $10^{-35} m$ (BAEZ, 1999) (CREWE, 2018). Abaixo desta escala, a descrição dos fenômenos dependeria de uma teoria que combinasse a Mecânica Quântica e a Teoria Geral da Relatividade, algo que ainda é impossível. Apesar do tema ser fundamental na Física, a discussão das incompatibilidades entre a Mecânica Quântica e a Teoria Geral da Relatividade foge dos objetivos deste trabalho porque o filme não discute essas duas grandes teorias detalhadamente (CREWE, 2018).

Posteriormente vemos Scott passar pela mesma situação, em que é forçado a desregular o próprio traje para que possa invadir o traje de seu inimigo e assim, derrotá-lo. Ao fazer isso, vemos a interpretação do filme do que aconteceria caso um corpo encolhesse pela eternidade. À medida que Scott encolhe cada vez mais, ele passa pelo ar ao lado de partículas de poeira, passa ao lado de tardígrados (também conhecido como urso d'água ou leitão de musgo) e depois em um espaço onde tudo parece quebrar a um ponto quase imperceptível (CREWE, 2018) (01:40:24). Geometria e imagens estranhas obscurecem a tela, e então Scott Lang está flutuando em um vazio quase escuro com apenas mechas azuis de energia iluminando bolsões de espaço próximos.

Até alcançar o dito “espaço entre os átomos”, as imagens que o filme mostra são bastante precisas em relação ao que tem-se registrado na literatura científica. As texturas ásperas das partículas de poeira e outras coisas que flutuam no ar parecem ser baseadas em imagens de um microscópio eletrônico, capturadas de partículas finas. Passa-se pelo que parecem ser cavernas e áreas semelhantes a montanhas ao redor. Vemos um tardígrado flutuando enquanto Scott encolhe menos que uma partícula de poeira, o que indicaria um tamanho menor que 5 micrômetros (CREWE, 2018).

Logo de início, há um conflito ao ler a frase “encolher a um tamanho menor do que os átomos”, uma vez que a personagem é feita de átomos. Se o

Homem-Formiga realmente se tornar subatômico, o que acontecerá com os átomos que estão construindo seu corpo e seu traje? Eles encolhem até um certo nível e então simplesmente se desintegram porque não podem descer mais? Além disso, quando você é menor que um único átomo, como seus pulmões respiram quando uma única molécula de ar for muitas, muitas vezes maior? Como ele enxergaria?

Caso o “reino” quântico esteja baseado na escala de Planck, há outra inconsistência. O espaço interatômico é muito maior do que o comprimento de Planck.

Infelizmente, o filme não discorre sobre nenhuma das especificidades mencionadas acima, utilizando-se do reino Quântico apenas como um artifício de roteiro para resolução de problemas.

O conceito de “reino” quântico foi explorado mais extensivamente nos filmes Homem-Formiga e Vespa (2018) e Vingadores: Ultimato (2019) (CREWE, 2019). Especialmente em Vingadores, o “reino” quântico é utilizado como um meio para uma viagem temporal ao passado. Porém novamente pouca explicação a respeito do assunto é fornecida. Tudo o que sabemos a respeito deste conceito fictício do “reino” quântico (voltado para a viagem no tempo) é o comentário de Scott Lang no longa a respeito de que os cinco anos que ele passou preso dentro do reino quântico pareciam apenas cinco horas (CREWE, 2019).

9. Discussão

A ciência do filme é contraditória em diversos momentos. Um exemplo disso é o problema da densidade e da massa do HF. Como descrito anteriormente, as falas indicam uma conservação da massa, enquanto as cenas, a conservação da densidade. Neste caso, não se trata apenas de uma diferença entre ficção e realidade, mas de uma inconsistência nas próprias concepções científicas desenvolvidas no filme. Não se pode concluir, a partir dos dados do próprio filme, se é a massa ou a densidade que se conserva.

As expansões e contrações provenientes das mudanças de temperatura descritas pela Física não se assemelham em nada com o conteúdo do filme. Portanto, não se pode relacionar as expansões e contrações descritas no filme e na Física.

Na Física, não existe nenhuma partícula que possua alguma semelhança às PPs. Apesar da possibilidade de traçar alguns paralelos entre as PPs e o bóson de Higgs, a discussão a respeito das partículas elementares é inexistente no filme.

Apesar dos erros conceituais e inconsistências do filme, existe um potencial na obra para sua utilização como ferramenta motivadora no ensino de ciências e na Divulgação Científica. Para que o filme tenha seus conceitos aproveitados em sala de aula ou na Divulgação Científica, um professor, pesquisador ou jornalista precisa exercer um papel de mediação, atribuindo ao filme uma figura meramente ilustrativa. A partir disso, o mediador pode trabalhar em instigar seu público a investigar conceitos apresentados no filme e utilizá-los como porta de entrada para estudos do currículo de física. Conforme analisado no trabalho, o filme possui um alcance vasto para uma análise voltada para densidade e pressão, relação entre volume de um corpo e temperatura e partículas fundamentais. No entanto, este trabalho não aborda como usar o filme em seu aspecto motivador nas formas mais variadas de educação.

É necessário salientar que a “ciência” do filme não pode ser rotulada como pseudociência. A “ciência” do filme deriva de uma obra de ficção científica, que,

conforme discutido anteriormente, não possui nenhum compromisso com a realidade. A pseudociência se diz fundamentada no método científico, mas não utiliza do método científico durante os seus processos de pesquisa. A ficção científica apenas se utiliza de elementos científicos para constituir narrativas fantásticas. Já a pseudociência é intencionalmente criada para confundir o público (HANSSON, 2015).

10. Conclusão

A discussão sobre educação formal, informal e não-formal mostra que o ensino de ciências não se restringe apenas à sala de aula. Apesar do papel essencial do ensino de ciências na formação do indivíduo, este não é suficiente para todas as mudanças e avanços do mundo atual.

A Divulgação Científica enquadra-se como uma forma de educação não-formal e funciona muito bem como um material complementar para a sala de aula. Esta possui um papel indispensável como facilitadora e transmissora do conhecimento científico para as massas, e esse papel é perfeito para complementar o ensino de ciências formal.

A ficção possui sua própria maneira de veicular ciência. Ela não se propõe a explicar a ciência ou conceitos científicos, embora isso aconteça. A ficção científica veicula questões que estimulam as pessoas em busca do conhecimento científico. Tais questões são relacionadas à ciência em si e ao seu contexto sócio-cultural.

No exemplo estudado neste trabalho, o material de ficção científica não pode ser utilizado diretamente na Divulgação Científica ou no ensino de ciências. Assim como outras obras de ficção científica, o filme “Homem-Formiga” não se compromete com o rigor científico e apenas conta uma história que apresenta uma situação com conceitos baseados em uma ciência, sem compromisso com a realidade. O filme apenas usa a ciência para pautar e gerar explicações rápidas a respeito de conteúdos fantásticos apresentados no longa. Há inconsistências profundas entre o filme e a Física. Estas inconsistências podem ser elencadas como:

- Não existe uma resposta concreta a respeito da conservação de massa. Em falas dos personagens do filme, é dito que a massa do corpo se conserva, porém, quando o personagem Homem-Formiga está em ação, o demonstrado é de que a massa não se conserva. Quando objetos inanimados são modificados com as Partículas Pym, o indicado pelas cenas é que a massa não se conserva, podendo aumentar ou diminuir de acordo com a mudança de tamanho.

- Os sólidos do filme se dilatam em escalas muito maiores das descritas na termodinâmica.
- Apesar de ser constituído de átomos, Scott diminui e fica menor do que os átomos.

Apesar da falta de rigor científico, o filme Homem-Formiga possui um grande potencial para estimular a curiosidade e discussões a respeito de todos os conceitos discutidos neste trabalho, como conservação da massa, a força que um ser poderia aplicar no tamanho de uma formiga, a dilatação dos materiais sólidos devido à variação de temperatura, a pressão e a densidade que um corpo com sua massa concentrada em um tamanho diminuto possuiria, a expansão e contração devido às variações de temperatura e as partículas elementares.

Neste contexto, se conclui que a ficção não é um recurso paradidático em si mesmo e não é fácil de ser incorporada na Divulgação Científica e no ensino de ciências diretamente. É necessário a presença de um mediador entre o material de ficção científica e o público que deseja compreensão da ciência, seja na Divulgação Científica, seja no ensino de ciências. O papel do mediador entre o filme “Homem-Formiga” e o público, seja professor, jornalista ou divulgador, é duplo: manter o encanto dos conceitos levantados pela obra e um desencanto com as explicações ficcionais.

A ficção científica, a divulgação científica e o ensino de ciências podem se unir e abrir um novo leque de materiais para a educação formal e não-formal, auxiliando na compreensão e na disseminação das ciências.

11. Referências

- ALBAGLI, S. Divulgação científica: informação científica para a cidadania? Ci. Inf., Brasília, v.25, n. 3, p. 396-404, set. 1996.
- ALEXANDRIA Revista de Educação em Ciência e Tecnologia, v.5, n.1, p.3-31, maio 2012 ISSN 1982-1533 Textos de Divulgação Científica no Ensino de Ciências: uma revisão.
- ALMEIDA, F. R. A ficção científica na ficção escolar: investigando as potencialidades do gênero no ensino de física. 2008. 87 p. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência e o Ensino de Matemática) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.
- AMSLER, C.; et al. Review of Particle Physics, Physics Letters B, Vol 667, No 1–5, p. 1-6, 2008.
- ARROIO, A. Context Based Learning: A Role for Cinema in Science Education. In: Science Education International, v21 n3 p.131-143, setembro 2010.
- ASHLEY, M. The Time Machines: The Story of the Science-Fiction Pulp Magazines from the beginning to 1950. Liverpool University Press. Liverpool. 2000.
- ASHTEKAR, A. MAGNON-ASHTEKAR, A. On conserved quantities in general relativity. Journal of Mathematical Physics. AIP Publishing Vol 20, No 5. p.793-800. 29 jul. 2008.
- ASIMOV, I. Social Science Fiction. In: BRETNOR, R. Modern science fiction: its meaning and its future. New York: Coward-McCann, 1953. p. 168.
- AUSTERN, M. What is the mass of a photon? Disponível em <https://math.ucr.edu/home/baez/physics/ParticleAndNuclear/photon_mass.html> Atualizado em 2008. Acesso em 18 Jun. 2022
- BAALBAKI, A. C. F. A divulgação científica e o discurso da necessidade. Letras, Santa Maria, v. 24, n. 48, p. 379-396, jan./jun. 2014.
- BAEZ, J. The Planck Length. 1999. Disponível em <<https://math.ucr.edu/home/baez/planck/node2.html>> acesso em 15 Jun. 2022.
- BALDESSIN, M. G. S. A ficção científica como derivação da utopia - a inteligência artificial. Unicamp. Campinas, p. 151. 2006. Dissertação de Mestrado
- BAUBIER, A. S. M. A.; SOUZA, R. F. de; PINHEIRO, L. V. R. Classificação e representação do conhecimento em CT&I no contexto da divulgação científica em fontes de informação digitais. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO, 15., 2014. Belo Horizonte, p.975-993. 2014.

BERINGER, J.; et al. "Gauge and Higgs bosons". Physical Review D. 2012 Review of Particle Physics. 7 Dez. 2013.

BERGMANN, T. S. Gravitação e princípio da equivalência. Cosmologia e Relatividade, UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2012.

BOOKER, M. K. Comics through Time: A History of Icons, Idols, and Ideas, Santa Barbara, California. 28 out. 2014.

BLUMHOFER, A. HUTTER, M. "Family structure from periodic solutions of an improved gap equation". Nuclear Physics B. Vol 484, No 1, p. 80-96. 1997.

BOUWHUIS, T.. Time Travelers from (the) Dark: the entanglement of the scientific and the occult in a Netflix series.

BRASIL, N. I. do. Introdução à Engenharia Química. Interciência, 3ª Edição. Rio de Janeiro. 2013.

BUCHWALD, J. Z.; WARWICK, A. Histories of the Electron: The Birth of Microphysics. MIT Press. p.195–203. (2001).

BUENO, W.C. da C. Jornalismo Científico. In Ciência e Cultura. p. 1420-1427, 37 , setembro, 1985.

BUENO, W. C. Comunicação científica e divulgação científica: aproximações e rupturas conceituais. 2010. Londrina, PR.

BUENO, W. da C. B. Jornalismo científico: revisitando o conceito. In: VICTOR, C.; CALDAS, G.; BORTOLIERO, S. (Org.). Jornalismo científico e desenvolvimento sustentável. São Paulo: All Print, 2009. p.157-78. 2009.

BYRNE, J. MICHELINIE, D. LAYTON, B. Avengers No 181. 1979.

CARROLL, S. Guidebook. Dark Matter, Dark Energy: The dark side of the universe. The Teaching Company. The Great Courses; 2007th edition. p. 43. Jan. 2007.

CARVALHO, F. B. DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA E ENSINO DE CIÊNCIAS NUMA PERSPECTIVA INCLUSIVA POR MEIO DE HISTÓRIAS EM QUADRINHOS E LÍNGUA BRASILEIRA DE SINAIS - LIBRAS. Revista Valore, Volta Redonda, Vol 6 (Edição Especial): p.706-720, 2021.

CASCAIS, M. das G. A.; TERÁN, A. F. Educação formal, informal e não formal na educação em ciências. Ciência em tela. Vol 7. No 2. 2014.

CERN. "New results indicate that particle discovered at CERN is a Higgs boson". Disponível em: <<https://home.cern/news/press-release/cern/new-results-indicate-particle-discovered->

cern-higgs-boson#:~:text=New%20results%20indicate%20that%20particle%20discovered%20at%20CERN%20is%20a%20Higgs%20boson,-14%20March%2C%202013&text=Geneva%2C%2014%20March%202013.,the%20particle%20discovered%20last%20year.> Visitado em 19 Jun. 2022.

CHASSOT, A. Alfabetização Científica: uma possibilidade para a inclusão social. Revista Brasileira de Educação, p. 89- 100, jan./abr. 2003.

CREWE, D. Cinema Science ASSEMBLING THE OPERATIONS OF AVENGERS: ENDGAME. Screen Education No 95, p. 56-63. Disponível em <<https://pt.scribd.com/article/451088623/Cinema-Science-Assembling-The-Operations-Of-Avengers-Endgame>> Acesso em: 15 Jun. 2022

CREWE, D. CINEMA SCIENCE THE SMALL WONDERS OF ANT-MAN AND THE WASP. Screen Education No 92, p. 22-29. Disponível em <<https://pt.scribd.com/article/451088740/Cinema-Science-The-Small-Wonders-Of-Ant-Man-And-The-Wasp>> Acesso em: 15 Jun. 2022

DANIELS, L. (1991). Marvel: Five Fabulous Decades of the World's Greatest Comics. Nova Iorque: Harry N. Abrams. 27, 32–33 p.

DARK, M. (2005). Using Science Fiction Movies in Introductory Physics. The Physics Teacher. 43. 463-465. 10.1119/1.2060648.

DUBCEK, L. W. et al. Finding Facts in Science Fiction Films. Sci. Teach., Apr. 1993 p.48

EINSTEIN, A. A inércia de um corpo depende da sua quantidade de energia? Anais de Física. Vol 18, p.639-643. 1905.

EISBERG, R. RESNICK, R. Física Quântica. GEN LTC; 1ª edição. p. 818-821. 30 Jul. 1979

FÁVERO, Osmar. Educação Não Formal: contextos, percursos e sujeitos. Educ. Soc., Campinas, v.28, n.99, p. 614-617, maio/ago. 2007.

FERREIRA, J. C. D. Ficção científica e ensino de ciências: seus entremeios. Curitiba, 2016. 189 f.

FEYNMAN, R. P. et al. Feynman Lectures on Gravitation. Addison-Wesley. 1995.

FEYNMAN, R. P. The reason for antiparticles. Cambridge University Press. Jan. 2014.

FEYNMAN, R. P. The Feynman Lectures on Physics Vol 1. 50th New Millennium ed. edição de 2011.

FONTANELLA, D.; MELGLHIORATTI, F.; A Divulgação Científica e o ensino de Ciências: Análise das pesquisas. Editora CESUMAR Maringá, Paraná. 2013.

GASPAR, A. Física - Série Brasil. 1ª Edição, Editora Ática. 1 Jan. 2004.

GELL-MANN, M. A schematic model of baryons and mesons. Physics letters Vol 8, No 3. p. 214-215. 1984.

GERNSBACK, H. "A New Sort of Magazine", Amazing Stories, Vol. 1, No. 1 (April 1926), p. 3.

GOHN, M. da G. Educação não-formal, participação da sociedade civil e estruturas colegiadas nas escolas. Ensaio: aval. pol. públ. Educ., Rio de Janeiro, v.14, n.50, p. 27-38, jan./mar. 2006.

GOMES-MALUF, M. C.; SOUZA, A. R. de; A ficção científica e o ensino de ciências: o imaginário como formador do real e do racional. Ciência & Educação (Bauru) [en linea]. 2008, 14(2), 271-282 [fecha de Consulta 26 de Julio de 2021]. ISSN: 1516-7313.

GRADVOHL, A. L. S. Influences of science fiction in science dissemination. Dissertation (Lato Sensu degree in Scientific Journalism). Advanced Journalism Studies Laboratory. State University of Campinas. Campinas, 2010.

GREENE, B. The Fabric of the Cosmos : Space, Time, and the Texture of Reality. [S.l.]: Vintage. ISBN 0375727205. 2005

GROSS, D. J. The discovery of asymptotic freedom and the emergence of QCD. Kavli Institute for Theoretical Physics, UCSB, Santa Barbara, California, USA. 8 Dez. 2004.

GÜNTER, H.; MÜLLER, V.; "Einstein's Energy–Mass Equivalence", The Special Theory of Relativity: Einstein's World in New Axiomatics, Singapore: Springer, p. 97–105. 2019.

GURALNIK, G. S. HAGEN, C. R. KIBBLE, T. W. D. Global Conservation Laws and Massless Particles. American Physical Society. Phys. Rev. Vol 13, No 20. p.585-587. Nov. 1964.

HAMILTON, J. The Golden Age and Beyond: The World of Science Fiction. ABDO Publishing Company. 2007.

HANSSON, S. O. Science and Pseudo-Science. Stanford Encyclopedia of Philosophy. 2015.

HALDANE, J. B. S. On Being the right size. Oxford University Press. Harper's Magazine, p 424-427. 1926.

HALLIDAY, D. RESNICK, R. WALKER, J. Fundamentals of physics, 7ª edição. Hoboken, NJ. 2005.

HAYWARD, P. (1993). Future Visions: New Technologies of the Screen. [S.l.]: British Film Institute. pp. 180–204.

HERNANDO, M.C. Civilización tecnológica y información – El periodismo científico: misiones e objetivos. Barcelona, Mitre, 1982.

IBACH, H. LÜTH, H. Solid-State Physics: An introduction to theory and Experiment. New York: Springer-Verlag, John Wiley & Sons 8ª edição. 11 Nov. 2004

JAMES, O. et al. Gravitational lensing by spinning black holes in astrophysics, and in the movie Interstellar. Classical and Quantum Gravity, v. 32, n. 6, p. 065001, 2015.

KAWAMURA, M.R.D., SALEM, S. O texto de divulgação e o texto didático: conhecimentos diferentes? São Paulo, IFUSP, 1996.

KRASILCHIK, M. Reformas e Realidade: o caso do Ensino de Ciências. São Paulo em Perspectiva, São Paulo, v.14, n.1., jan./mar. 2000.

KROME, F. "Introduction to 'Hugo Gernsback and World War I'", in Krome, ed., Fighting the Future War: An Anthology of Science Fiction War Stories, 1914–1945. London: Routledge, 2012.

LABARBERA, M. C. The Biology of B-Movie Monsters. Fathom Archive. The University of Chicago, Chicago, 2003.

LAROCQUE, L. de; KAMEL, C.; A literatura de ficção científica como veículo de divulgação científica na educação informal em ciência: Questões de ética e gênero em discussão em Oryx e Crake, de Margaret Atwood. 2007.

LATTES, C. M. G. My work in meson physics with nuclear emulsions. BELLANDI FILHO, José & PEMMARAJU, Ammiraju (eds.) Topics in cosmic rays. 2 vols. Campinas. Editora UNICAMP. Vol 1. p. 1-5. 1984.

LEDERMAN, L. TERESI, D. FIRESTONE, A. The God Particle: If the Universe Is the Answer, What Is the Question? American Journal of Physics p62 - 191. New York, 1994.

LEONARDO, E. M. A Ficção Científica no Brasil nas décadas de 60 e 70 e Fausto Cunha. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, p. 104. 2007. Dissertação de Mestrado.

LOPES, J. L. Forty years of the first attempt at the electroweak unification and of the prediction of the weak neutral boson Z⁰. Braz. J. Phys. [online]. vol.29, n.3, p.574-578. Set. 1999.

MARANDINO, M.; SELLES, S. E.; FERREIRA, M. S. Ensino de Biologia: histórias e práticas em diferentes espaços educativos. São Paulo, SP: Cortez. Acesso em: 06 jun. 2022. 2009.

MARANDINO, M.; ISZLAJI, C.; CONTIER, D.; A DIVULGAÇÃO DA CIÊNCIA POR MEIO DA MÍDIA: ANÁLISE TEXTUAL DE WEBSITES. XIV Reunião Bienal da Rede de Popularização da Ciência e Tecnologia da América Latina e do Caribe (REDPOP – UNESCO) Medellín, Colombia. Maio 2015.

MARSHALL, J. PLUMB, R. A. Atmosphere, ocean, and climate dynamics: an introductory text. 2008.

MARTINS, T. M. A ficção científica na escola: Perspectivas para o ensino das ciências. Ijuí, Rio grande do sul, 2018. 110 f.

MARTINS, M. F. e GALLO, S. M. L. A Divulgação Científica como Produto do Discurso Acadêmico. Foro Ibero Americano de Comunicação e Divulgação Científica. Anais. 2015.

MOREIRA, M. A. O Modelo Padrão da Física de Partículas. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 31, n. 1, 1306. 2009.

MOREIRA, I. C.; MASSARANI, L. Human cloning: A soap opera as a science communication tool. Trabalho apresentado na. Vol 7. 2002.

MOSKOWITZ, S. John W. Campbell: The Writing Years". Amazing Stories. Ziff-Davis Publishing. 1963. Reimpresso em MOSKOWITZ, S. Seekers of Tomorrow, Masters of Modern Science Fiction. New York: Ballantine Books. 1967.

MOHR, P. J.; TAYLOR, B. N.; NEWELL, D. B. "CODATA Recommended Values of the Fundamental Physical Constants: 2006". Rev. Mod. Phys. 80 (2): 633–730. 2008.

MUELLER, S. P. M. (2006). A comunicação científica e o movimento de acesso livre ao conhecimento. Ci. Inf., Brasília, v. 35, n. 2, p. 27-38, maio/ago. 2006.

MURPHY, R. R.; WOODS, D. D. Beyond Asimov: The Three Laws of Responsible Robotics. IEEE intelligent systems. 24, no. 4. julho. 2009. p. 14-20. Disponível em: <<http://www.inf.ufrgs.br/~prestes/Courses/Robotics/beyond%20asimov.pdf>>

NAUMAN, A. K.; SHAW, E. Sparking Science Interest through Literature: Sci-Fi Science. Science Activities. Vol 31, No. 3. p. 18. 1993

NAVE, C. R. Leptons, Hyperphysics. Georgia State University. 2010. Disponível em <<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Particles/lepton.html>> Acesso em 18 jun. 2022.

NAVE, C. R. The Color Force. HyperPhysics. Georgia State University, Department of Physics. Recuperado em 2 Abril 2012. Disponível em <<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Forces/color.html>> Acesso em 19 Jun 2022.

OERTER, R. HOLSTEIN, B. R. The Theory of Almost Everything: The Standard Model, the Unsung Triumph of Modern Physics. Physics Today, Vol 59, No 7. p 49-50. Jul. 2006

OHANIAN, H. C. Physics, Vol. 1, W. W. Norton & Company international student edition. New York, 1985.

PAULI, W. The Connection Between Spin and Statistics. American Physical Society. Phys. Rev. Vol 58, No 8. p.716-722. Out. 1940.

Percepção pública da C&T no Brasil - 2019. Disponível em: <https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/CGEE_resumoexecutivo_Percepcao_pub_CT.pdf> Acesso em 10 jun 2022.

PENDLE, G. Popular Science Feature - When Science Fiction is Science Fact. Arquivado em 14 fev. 2006

PIASSI, L. P. de C. Contatos, a ficção científica no ensino de ciências e um contexto sócio cultural. Universidade de São Paulo, São Paulo. 2007.

RESNICK, M. The Literature of Fandom. Mimosas No 21. AMNH (Museu Americano de História Natural) 1997.

RESNICK, R. HALLIDAY, D. KRANE, K. S. Física 1, Quarta edição. Editora LTC. 2 jan. 1996.

RESNICK, R. HALLIDAY, D. KRANE, K. S. Física 2, Quinta edição. Editora LTC. 2 jun. 2003.

ROBERTS, A. The History of Science Fiction, p 195, New York: Palgrave Macmillan, 2006

ROCHE, J. What is Mass? European Journal of Physics, Vol 26, No 2. p.225. 2005.

RODARME, S., DOES THE SCIENCE OF SCIENCE FICTION MATTER?. 26 Jan. 2015. Book Riot. Disponível em <<https://bookriot.com/science-science-fiction-matter>> Acesso em 18 Maio 2021.

ROJO, R. O letramento escolar e os textos da divulgação científica - a apropriação dos gêneros de discurso na escola. Linguagem em (dis)curso, v.8, n.3, p.581-612, 2008.

RÖTTGER, K.; et al; Lattice constants and thermal expansion of H₂O and D₂O ice Ih between 10 and 265 K. *Acta Crystallographica Section B*. Vol 50, No 6. p. 644–648. 1994.

RUDD, P. MCKAY, A. WRIGHT, E. Ant-Man. Marvel Studios. 16, jul. 2015.

SAGAN, C. Growing Up With Science Fiction. *New York Times*. New York. 28 de maio de 1978. SM. p. 7. Disponível em: <<https://www.nytimes.com/1978/05/28/archives/growingup-with.html>>. Acesso em 22 Jun. 2022.

SANTOS, LEONARDO S. F.. The energy density distribution of an ideal gas and Bernoulli's equations. *EUROPEAN JOURNAL OF PHYSICS*, v. 39, p. 035102, 2018.

SEEDHOUSE, E. *SpaceX: Making Commercial Spaceflight a Reality*. Springer Books. Ontario, Canada. 2013.

SINGER, P. W. What Inspires Them: Science Fiction's Impact on Science Reality. *Wired for War: The Robotics Revolution and Conflict in the 21st Century*. Acadia, Vol 9. p.32-42. 2009.

SCOCOLA, N. N. PENTAQUARK: UMA NOVA PARTÍCULA SUBATÔMICA? *Revista Ciência Hoje*. 01 Nov. 2004. Disponível em: <<https://cienciahoje.org.br/artigo/pentaquark-uma-nova-particula-subatomica/>> Acesso em 18 Jun. 2022

SERRA, G. M. D.; ARROIO, A. (2008). The environment portrayed in the film and the science education. XIII IOSTE Symposium Proceedings: The use of Science and Technology Education for Peace and Sustainable Development, 1185-1191. Kusadasi, Turkey.

SILVA, G. Ensino, pesquisa e extensão: o que são e como funcionam? Texto da internet da página "Educa Mais Brasil". Disponível em <<https://www.educamaisbrasil.com.br/educacao/noticias/ensino-pesquisa-e-extensao-o-que-sao-e-como-funcionam>>. Acesso em 24/09/2020.

SILVA, J. A. da; KAWAMURA, M. R. D. A NATUREZA DA LUZ: uma atividade com textos de divulgação científica em sala de aula. *Cad. Cat. Ens. Fís.*, v. 18, n. 3, p. 316- 339, ago. 2001.

STRASSLER, M. The Higgs FAQ 2.0. 12 Out.2012. Disponível em <<https://profmattstrassler.com/articles-and-posts/the-higgs-particle/the-higgs-faq-2-0/>> Acesso em 19 Jun. 2022.

SUPPIA, A. L. P. de O. A divulgação científica contida nos filmes de ficção. *Cienc. Cult.*, São Paulo, v. 58, n. 1, p. 56-58, Mar. 2006.

TIPLER, P. A.; MOSCA, G. Physics for Scientists and Engineers - Volume 1 Mechanics/Oscillations and Waves/Thermodynamics. New York, NY: Worth Publishers. 2008.

TUCKERMAN, M. E. Statistical Mechanics: Theory and Molecular Simulation, 1ª Edição. p.86. 2010.

VALKENBURG, P. M. PETER, J. WALTHER, J. B. "Media Effects: Theory and Research". Annual Review of Psychology. Vol 67.No 1. p,315–338. 4 Jan. 2016.

VIEIRA, V.; BIANCONI, M. L.; DIAS, M. Espaços não-formais de ensino e o currículo de ciências. Ciência e Cultura, São Paulo, n. 4, Oct./Dec. 2005.

WALSH, K. M.; GENZER, P. New Precision Measurement of Top Quark Mass. Brookhaven National Laboratory News. Jun. 2004

WATSON, A. The Quantum Quark. Cambridge University Press, 1ª Edição. p.285-286. 2004.

WEINBERG, S. The Quantum Theory of Fields. Cambridge: Cambridge University Press. Maio 1995.

WHITAKER, R. D. An Historical note on the Conservation of Mass. Journal of Chemistry Education Vol 52, p.658-659. Out. 1975.

WONG, S. S. Introductory Nuclear Physics. 2ª Edição. Set. 1998.

YATES, F. A. The Rosicrucian Enlightenment, Routledge; Nova edição. 1 out. 1986.