

# O uso do Homem-Formiga no Ensino de Mecânica Quântica: Análise de material introdutório com ênfase no Princípio da Incerteza

## The use of Ant-Man in the Teaching of Quantum Mechanics: Analysis of introductory material with emphasis on the Uncertainty Principle

**André Luiz Sartori Gomes**

Universidade do Estado de Santa Catarina  
andresartorigomes@gmail.com

**Carlos Raphael Rocha**

Universidade do Estado de Santa Catarina  
carlos.rocha@udesc.com.br

### Resumo

A atualização curricular de física é um tema tido como importante há muito tempo. Mesmo com muitos artigos publicados sobre o assunto nas últimas décadas, pouco se mudou no ensino de física no Ensino Médio. Partindo disso, observamos a necessidade de criar uma sequência de atividades visando a inserção de temas relacionados à Física Moderna e Contemporânea, mais precisamente, à área da Mecânica Quântica. O gênero de filmes com temáticas de super-heróis está presente na cultura audiovisual dos brasileiros e o herói Homem-Formiga se mostra a ponte ideal entre tal gênero e a Mecânica Quântica. Tendo esse conjunto em vista, tomamos por objetivo criar e analisar um material com atividades capazes de apontar como o uso do universo cinematográfico com super-heróis propicia o primeiro contato dos estudantes com os conceitos da Mecânica Quântica, em especial, o princípio da incerteza.

**Palavras chave:** Homem-Formiga, Ensino de Mecânica Quântica, Princípio da Incerteza, Aprendizagem Significativa Crítica (Subversiva).

### Abstract

Updating physics curricula has long been an important topic. Even with many articles published in the last decades, little has changed in the teaching of Physics in High School. With this in hand, we aim to create a sequence of activities focusing at the insertion of themes related to Modern and Contemporary Physics, precisely Quantum Mechanics. The genre of movies with superhero themes is present in the audiovisual culture of Brazilians and the hero Ant-Man seems to be the ideal link between this genre and Quantum Mechanics. Regarding this subject, we intend to create and analyze a material with activities able to indicate how the use of the

cinematic universe with superheroes provides the first contact of students with the concepts of Quantum Mechanics, especially the uncertainty principle.

**Key words:** Ant-Man, Quantum Mechanics teaching, Uncertainty Principle, Critical (Subversive) Meaningful Learning.

## Introdução

A atual realidade brasileira, frente ao ensino de física, segundo Moreira (2018), resume-se a ensinar física como se fosse um vasto conjunto de fórmulas e respostas corretas. Carvalho e Sasseron (2018) lembram que a concepção que se tinha é que os alunos aprendiam quando sabiam reproduzir na prova de avaliação o que o professor tinha explicado em sala, ou seja, o que havia sido decorado por meio dos livros, cadernos e apostilas, sendo o aluno um mero agente passivo. Na contramão desta realidade, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) visa um ensino com o aluno sendo o protagonista da construção do seu conhecimento. Como lembra Silva (2020), o conhecimento, segundo a BNCC, deve ser construído de forma global, e não fragmentada, em que as disciplinas dialoguem e convirjam para um tema em comum. É nesse contexto que trazemos essa proposta de criar e analisar um material com atividades capazes de apontar como o uso do universo cinematográfico com super-heróis propicia um primeiro contato dos estudantes com conceitos da Mecânica Quântica, em especial, o princípio da incerteza.

No século passado, Terrazzan (1992) fez questão de lembrar uma frase do professor João Zanetic em que afirma que devemos "ensinar a física do século XX antes que ele acabe". Pinto e Zanetic (1999) mostraram que é sim possível ensinar física moderna no ensino médio ainda no século XX e Moreira (2018) relata que os conteúdos curriculares não vão além da Mecânica Clássica e são abordados da maneira mais tradicional possível. As colocações de Moreira (2018) e de Zanetic, citada por Terrazzan (1992), são separadas por 26 anos e mostram que ainda há muito trabalho a ser feito para mudar o panorama do ensino de física moderna no país, mesmo com boas pesquisas e bons trabalhos feitos nesse período. A revisão de Rocha, Herscovitz e Moreira (2017) mostra que, entre 1970 e 2016, foram publicados mais de 350 artigos sobre Mecânica Quântica. Destes, 34 trabalhos são relativos ao Ensino Médio ou com implicações para ele. O que explica então tal defasagem? Ostermann e Moreira (2001) afirmam que, apesar de existirem muitos materiais, muitas vezes eles pecam por serem muito densos e demandarem conhecimentos prévios que, em geral, o público-alvo não possui (professores de Ensino Médio, pesquisadores em ensino, não especialistas nas áreas). Tal colocação deve ser tomada como relevante, mas não somente. Mesmo tendo domínio dos conceitos, o sistema de ensino por vezes não favorece esse tipo de inserção. Além disso, muitas áreas importantes de Física Moderna e Contemporânea são pouco exploradas nas publicações e ainda não há consenso sobre quais tópicos deveriam ser contemplados na escola de nível médio.

O aparato matemático utilizado para descrever inúmeros fenômenos referentes à mecânica quântica pode ser um problema visto que, como mostram Netto, Cavalcanti e Ostermann (2019), existe uma defasagem significativa na área de física moderna na formação dos professores. Frota, Xeres e Parentes (2020) lembram que os alunos de Ensino Médio também têm, em sua maioria, dificuldades em fazer uso de relações matemáticas. Logo, fazer uso de aparatos matemáticos para introduzir mecânica quântica no Ensino Médio parece se mostrar uma barreira a ser transposta. Gingras (2001) indica que a matemática não é somente uma barreira, mas que pode se constituir em um fator excludente, visto que quem não a domina,



consequentemente vem a não dominar a física, especialmente aquela produzida depois de Newton. Todavia, Gingras (ibid.) também mostra que é possível dominar conteúdos físicos sem necessariamente dominar aparatos matemáticos muito avançados. A matemática é fundamental e claramente tem seu valor frente ao desenvolvimento da física, como bem apresenta Pietrocola (2002), entretanto, pode existir física sem matemática. Tal visão permite uma abordagem conceitual da mecânica quântica sem prejuízos aos conceitos pelo fato de o ferramental matemático ser minimamente utilizado.

## **Os super-heróis no Ensino de Física**

Esser, Schneider e Pereira (2021) lembram que obstáculos verbais são observados quando uma única imagem ou, até mesmo, uma única palavra constitui toda uma explicação. São criadas analogias e metáforas por meio de uma imagem generalizada para definir fenômenos diversos. A mecânica quântica, por não possuir (em geral) fenômenos macroscópicos ou não respeitar as leis que regem a realidade macroscópica observada, acaba por ir ao encontro de tal obstáculo. Para transpor tal obstáculo, propomos a utilização de filmes que, por sua vez, possuem recursos audiovisuais mais complexos. Entretanto, existem inúmeros gêneros de filmes e, dentre eles, destacamos os de super-heróis.

De acordo com Bocheco e Marquez (2019), filmes com a temática de super-heróis geralmente são blockbusters (“arrasa-quarteirão”, em livre tradução), o que significa filmes com orçamentos astronômicos e com enormes bilheterias, portanto populares e presentes. Cinco filmes com a temática específica de super-heróis estão entre os dez com maior bilheteria da história do cinema mundial, segundo a Box Office Mojo (IMDb), o que enaltece o sucesso desta temática.

Se olharmos apenas para a realidade brasileira, o sucesso dos filmes deste tema ganha proporções ainda maiores. Segundo dados de 2022 da Agência Nacional do Cinema (ANCINE), sete das dez primeiras colocações são do gênero, sendo cinco especificamente do Universo Cinematográfico da Marvel (UCM). Esses dados não só mostram sucesso, mas também como os filmes de super-heróis já fazem parte da cultura audiovisual brasileira.

Segundo Fitzgerald (2018a), estamos em uma época em que filmes de super-heróis são imensamente populares com vários filmes dessa temática com lançamento previsto para os próximos anos e a Marvel Studios é uma das principais geradoras dessa cultura dos super-heróis no cinema. É importante frisar que o sucesso do gênero nos cinemas pode ser recente (últimas duas décadas), mas quadrinhos e desenhos animados de super-heróis já existem há mais de sessenta anos, o que proporcionou a base para a criação dos roteiros dos filmes de grande sucesso. Dito isto, em 2008 a Marvel Studios deu início ao gigantesco projeto nunca visto antes na história do cinema: um universo cinematográfico compartilhado por inúmeros personagens, com dezenas de heróis e vilões. Desde então foram mais de quarenta produções, todas interligadas e coerentes entre si. Muitos super-heróis foram introduzidos no UCM por meio de filmes solos, ganhando maior visibilidade, como Homem de Ferro, Homem-Aranha, Doutor Estranho, Capitã Marvel, Pantera Negra, Viúva Negra, Shang Chi, Homem-Formiga e Thor. A partir de 2021, a Disney+ iniciou o lançamento de séries, popularizando ainda mais os heróis da Marvel: WandaVision, Falcão e Soldado Invernal, Loki, What if, Gavião Arqueiro, Miss Marvel e Cavaleiro da Lua. Para esta década, dezenas de filmes e séries estão em produção, mostrando que tal sucesso não deve ser momentâneo, mas sim se perpetuar ao longo dos anos.

As aventuras dos super-heróis, segundo De Oliveira e Ferreira (2019), acabam por se tornar grandes veículos de divulgação científica, mesmo não objetivando contar uma história extraída da realidade. Fitzgerald (2018b) lembra que:

A comunicação de conceitos difíceis na sala de aula de física pode ser negativamente afetada pela ausência de uma forte ligação entre o conteúdo de física e as experiências ou interesses dos alunos. Um método possível para abordar esta questão é motivar o conteúdo de física com referência a figuras da cultura, como os super-heróis.

Uma dúvida que pode surgir é: Será que todos os alunos assistiram os filmes? Ou ainda: Será que todos os alunos conhecem os super-heróis? Frente a este questionamento, Fitzgerald e Plotz (2020) lembram que, por serem filmes de sucesso mundial, muitos alunos terão visto esses filmes ou, pelo menos, eles estarão familiarizados com vários personagens de super-heróis. Portanto, Zehr (2014) afirma que não é surpreendente que muitas pessoas não apenas desejam atingir esses poderes, mas também aprender sobre uma eventual acessibilidade científica desses poderes.

A partir desta relevância dos super-heróis na cultura audiovisual e na atualização curricular necessária previamente discutida, buscamos super-heróis, da Marvel, com destaque nos filmes, para aproximar a mecânica quântica da realidade do aluno. Para tanto, escolhemos o super-herói Homem-Formiga que se mostrou promissor ao abordar temas relacionados à mecânica quântica ao longo dos filmes. Segundo Paulo e Moreira (2004), os conceitos-chave da mecânica quântica são probabilidade, dualidade, incerteza e complementaridade. Portanto, visando abordar um conceito fundamental da mecânica quântica e que fosse promissor tendo em vista o Homem-Formiga, optamos pelo conceito da incerteza.

## Fundamentação Teórica

Para produzir uma atividade sobre o universo ligado ao Homem-Formiga, buscamos um referencial que não resultasse em metodologias baseadas no modelo tradicional de ensino, mas sim em visões críticas de ensino. Além disso, mostra-se relevante dizer quem é o super-herói Homem-Formiga, visto que será ele o centro da problematização realizada, bem como o que é o princípio da incerteza dentro da mecânica quântica. Tendo essa perspectiva como foco, optamos pelo uso da Aprendizagem Significativa Crítica (Subversiva) apresentada por Moreira (2000).

A Aprendizagem Significativa Crítica (Moreira, 2000) propõe alguns princípios, ideias ou estratégias facilitadoras que são norteadores e não propostas fechadas e que tem por objetivo serem viáveis e buscarem uma aprendizagem em todos os contextos observados dentro de uma sala de aula. Moreira (2017) elenca nove conceitos, mas apresentaremos apenas os que tem relação direta com as atividades propostas neste trabalho. O Princípio da interação social e do questionamento, também tido como ensinar/aprender perguntas ao invés de respostas, é um dos principais pilares desta teoria. Segundo Moreira (2017), a interação social é indispensável para uma aprendizagem significativa crítica porque é preciso que existam diálogos, com perguntas e respostas entre professor/estudante e estudante/estudante.

“Quando o aluno formula uma pergunta relevante, apropriada e substantiva, ele utiliza seu conhecimento prévio de maneira não-arbitrária e não-literal e isso é evidência de aprendizagem significativa.” (MOREIRA, 2000, p. 8)

Na atividade proposta neste trabalho, o princípio da interação social e do questionamento fica explícito. A interação social é promovida de modo constante, com mais ênfase entre os estudantes. Todavia, a interação entre o meio de convívio dos estudantes e a sala de aula também é relevante, pelo fato de os filmes fazerem parte de um contexto externo a sala de aula do qual os estudantes fazem parte. Tais interações se fazem fundamentalmente em torno de responder perguntas centrais que são pensadas para gerar questionamentos periféricos. Com isso, os aprendizes se voltam a formular as perguntas ideais de forma conjunta e com um mesmo objetivo. As perguntas formuladas são inéditas aos alunos e ao professor, considerando que a pergunta central é aberta. Por ora, isso se torna um desafio, tanto ao professor ao tentar mediar sem interferir no pensamento dos estudantes, quanto para os alunos, pois as perguntas não têm uma resposta necessariamente e, quando tem, podem ter várias respostas. Todavia, tendo em mente o princípio do questionamento, encontrar a resposta certa não é o objetivo, mas sim que os alunos questionem e ponderem sobre isso, escolhendo uma das possíveis respostas para os problemas. Tal escolha deve ser baseada nos argumentos oriundos das respostas obtidas dos questionamentos periféricos.

## **O Homem-Formiga**

Este trabalho tem por objetivo fazer uso do universo cinematográfico e não do universo presente nos quadrinhos da Marvel. O Homem-Formiga existe desde 1962 nos quadrinhos, possuindo inúmeras histórias em inúmeros arcos diferentes e até em universos diferentes, mas aqui focaremos no Homem-Formiga que surge em 2015 no UCM, com o filme que leva seu nome. Todavia, conhecer toda a trajetória dos super-heróis da Marvel até aqui não se faz necessário para entender quem é o Homem-Formiga. Com isso, os próximos parágrafos têm o objetivo de apresentar o herói, sem ênfase no contexto em que ele está inserido.

Scott Lang era um ladrão de casas que conhece o físico Hank Pym, criador do traje do Homem-Formiga. O próprio Hank usou o traje no passado, trabalhando para o governo americano. Basicamente a roupa é equipada com partículas Pym que, segundo explicado no filme, são capazes de diminuir ou aumentar a distância entre os átomos, fazendo com que quem esteja dentro do traje fique muito pequeno ou muito grande. O menor tamanho seria a escala de Planck, em que a pessoa que usa o traje chega no dito Reino Quântico, e o maior tamanho nos filmes, até agora, é de vinte metros, conforme dito no filme “Homem-Formiga e Vespa” (2018).

Além disso, o capacete, que faz parte do traje, possui um transmissor capaz de fazer com que o usuário se comunique com formigas e use formigas voadoras para se locomover. Apesar do Homem-Formiga possuir dois filmes, ele ganha protagonismo no filme “Vingadores: Ultimato” (2019). Nessa etapa do UCM, os Vingadores, que são os heróis mais poderosos da Terra, foram derrotados por um super vilão chamado Thanos. Ao derrotar os Vingadores, Thanos usa as Joias do Infinito para cometer um genocídio em escala universal, acabando aleatoriamente com metade dos seres vivos do universo. Como Scott estava no Reino Quântico, ele não foi afetado por essa ação de Thanos e, por acaso, ele acaba voltando para o mundo macroscópico e descobre que o tempo transcorre diferente quando estamos tratando de partículas quânticas. Com posse dessa informação, ele ajuda os Vingadores a voltarem no

tempo pelo Reino Quântico, visto que, segundo o que é dito nos filmes, o tempo e o espaço são relativos lá. A partir disso, eles derrotam Thanos e salvam o universo.

“Vingadores: Ultimato” foi o final da saga Infinito como são chamadas a primeira, segunda e terceira fases do UCM e detém a segunda maior bilheteria mundial da história do cinema, o que torna ainda mais relevante o herói escolhido. Em 2021, um novo vilão foi inserido no UCM com a série Loki: Kang, o Conquistador. Este novo super vilão é extremamente inteligente e perigoso e deve ser o vilão do próximo filme do Homem-Formiga, intitulado “Homem-Formiga e Vespa: Quantumania”, com lançamento previsto para julho de 2023 e que deixa novamente o mundo quântico em destaque. Essas situações apontam que este super-herói não só é uma boa escolha para trabalhar aspectos da mecânica quântica com os alunos de Ensino Médio, mas que também será relevante para a construção do UCM por muitos anos, o que torna a temática relevante em um contexto audiovisual por um longo período.

## Metodologia

A atividade foi aplicada em uma turma de primeira série do Ensino Médio de uma escola pública da cidade de Joinville, no estado de Santa Catarina, no período noturno. A disciplina era eletiva, chamada Conhecimento da Ciência da Natureza, e dezoito estudantes participaram da aplicação, formando seis grupos.

### O Homem-Formiga Fora do Reino Quântico

O professor apresentou a atividade aos alunos, enfatizando que se trata de uma sequência de atividades relacionada à mecânica quântica, expressão que pode ser de conhecimento deles, mesmo que apenas seu nome. O objetivo desta etapa é que os alunos sejam levados a pensar de forma a utilizar conceitos que atribuem à Mecânica Quântica em suas respostas. Os princípios da interação social e do questionamento proposto por Moreira (2000) se aplicam diretamente aqui, visto que direcionamos o pensamento do aluno por meio da interação social, para que ele foque em gerar perguntas compatíveis com o tema proposto.

A atividade foi iniciada com o professor mostrando aos alunos a cena entre os minutos 30:10 e 30:40 do filme “Homem-Formiga” (2015). Para replicar esta proposta, este é um problema técnico que pode ser contornado facilmente, pois o filme é de propriedade da Disney e pode ser acessado pela plataforma de streaming Disney+, caso o professor tenha acesso a essa plataforma e haja internet na escola. Porém, caso isto não seja viável, sugerimos baixar o vídeo diretamente de plataformas de vídeo gratuitas na internet, como o YouTube, pois todas as cenas presentes neste trabalho estão disponíveis gratuitamente, mesmo que não sejam os meios oficiais. Após a exibição do vídeo, o professor dividiu as equipes, baseado no princípio da interação social de Moreira (2000), buscando gerar um ambiente propício para discussões e consequentemente a formulação de perguntas. Os grupos tiveram até três alunos, para minimizar as chances de algum aluno ficar completamente de fora das discussões e, consequentemente, não participar da atividade ativamente.

Formados os grupos, o professor apresentou a problematização central da atividade: “Como o Homem-Formiga consegue diminuir?”. Essa pergunta foi pensada com mais de um objetivo, cujo primeiro é iniciar o processo de discussão dos alunos direcionado à mecânica quântica, pois é um questionamento que remete a coisas pequenas. Em outra perspectiva, esse questionamento visa trazer para os estudantes a ideia de que não há uma única resposta ou



solução para o problema, mas sim um leque de possibilidades, e o intuito é justamente explorar isso com as perguntas. Durante as discussões entre os alunos, cabe ao professor instigar os alunos com novos questionamentos. É esperado que os alunos perguntem se determinada explicação está certa e os questionamentos feitos pelo professor devem gerar novas perguntas como: “não sei se está certo, mas como vocês explicam ‘tal coisa?’” ou ainda “essa explicação responde a pergunta central?”. As respostas dos alunos devem ser escritas em uma folha sulfite branca, possibilitando representações escritas ou também em forma de desenho. A atividade foi realizada em duas aulas, cada uma com 45 minutos de duração.

A análise desta primeira atividade se deu por meio dos materiais produzidos pelos alunos na folha sulfite. Por se tratar de um primeiro contato, esperava-se que os resultados obtidos fossem superficiais, apenas a título de levantamento, e que os estudantes falassem de conceitos já observados pelos alunos no seu dia a dia. Esperávamos que houvesse conhecimentos prévios por parte dos alunos, mas um conhecimento distorcido frente a realidade da mecânica quântica.

## **Análise e Discussão**

Os grupos não tiveram identificação, mas, para facilitar a análise, identificamo-los arbitrariamente de um a seis, para apresentar a transcrição das frases presentes nas explicações dos alunos.

A turma mostrou grande entusiasmo quando foi informada que iria ver um vídeo do Homem-Formiga. Após o vídeo, o professor apresentou a pergunta central e os grupos iniciaram as discussões. De maneira geral, a pergunta mais ouvida pelo professor inicialmente foi: “Está certo?”, ao mesmo tempo que os alunos mostravam a resposta em elaboração pelo grupo. Esse comportamento dos alunos era esperado, frente à perspectiva de um ensino tradicional, que visa a reprodução e não a aprendizagem. Isso nos levou a ressaltar para toda a turma que eles não deviam colocar o que achavam que o professor esperava, mas sim suas próprias propostas para solucionar o problema. Durante as discussões, alguns alunos perguntavam ao professor sobre suas teorias, ao dizerem coisas como “Professor, é mesmo a molécula que diminui?”. O professor respondia com novas perguntas e pedia que os alunos escrevessem na folha os questionamentos dos quais não tinham como comprovar ou testar.

Ao finalizar a atividade, o professor fez o seguinte questionamento aos alunos: “O que vocês mais gostaram desta atividade?” e em torno de quinze alunos responderam. Todos concordaram que o tema foi muito legal e instigante, mas uma aluna ressaltou e teve respaldo dos colegas: “Nós tivemos que pensar demais.” Consideramos esta colocação muito válida, mostrando que o objetivo de fazer os alunos refletirem sobre o tema foi alcançando.

De imediato, o que nos chamou a atenção ao observar o conteúdo das respostas produzidas pelos alunos para expor suas ideias foi o fato de a folha estar preenchida quase que inteiramente. Cinco dos seis grupos fizeram uso de todo um lado da folha e o outro utilizou os dois lados. Isso chamou nossa atenção visto que não esperávamos tamanha exposição de ideias por parte dos alunos, haja vista que o sistema tradicional de ensino que não fomenta a apresentação e estruturação de ideias. Outro ponto que se mostrou comum a todos os trabalhos foi a dificuldade de os alunos externalizarem o que pensavam de forma escrita, havendo muitas frases com gírias e vícios de linguagem na tentativa de descrever um conceito como, por exemplo, “tipo assim” e “sei lá”.



Nos materiais entregues, o que pôde ser observado foi uma tendência de os alunos utilizarem conhecimentos prévios de coisas pequenas como células, moléculas e átomos. Tais conceitos foram abordados em disciplinas com física, química e biologia e retomados pelos aprendizes nas explicações. Podemos dividir as explicações dadas pelos alunos nas respostas em três grandes grupos predominantes, sendo que nem todos os grupos expressaram apenas uma resposta para o problema. Dividimos as respostas em respostas de origem: celular/biológica, atômica e clássica.

O Grupo 1 escreveu que: “[...] o traje tem fórmulas físicas que fazem as células encolherem, [...] elas não se juntam, mantém uma distância”. O Grupo 4 diz que: “[...] o Homem-Formiga nasceu com uma genética diferenciada, através de um vírus, [...] entrando em contato com suas células (o vírus) alterando e diminuindo”. O Grupo 3 diz entre outras coisas que “[...] existem fórmulas que estudam as suas moléculas para que elas diminuam e cresçam”. Observa-se aqui uma tendência de correlacionar o fenômeno do encolhimento do herói a algo biológico. Consideramos essas três explicações partes do grupo de explicações de origem celular/biológica. Ainda assim, nota-se que os alunos correlacionaram o fenômeno a algo muito pequeno, apontando que a abordagem os induziu os grupos a refletir sobre a natureza ontológica de um fenômeno e tal reflexão não os direcionou ao “mundo macroscópico”.

O Grupo 2, por sua vez, apresenta uma visão Atômica sobre o problema dizendo que “*Há um mecanismo presente no traje que faz com que a quantidade de átomos presentes no próprio traje e na pessoa que o usa diminua, [...] é como se muitos átomos fossem inúteis [...] que se soltam e misturam com o ar*”. O Grupo 5 mostra um conhecimento de estrutura atômica mais completo: “[...] para ele diminuir de tamanho, os átomos têm que ser reduzidos. [...] Os átomos não podem ser divididos, porque pode acontecer a fissão nuclear”. Esses dois grupos partem para uma visão de átomo como um único objeto. Não há menção a partes do átomo ou algo do gênero. Entretanto, o Grupo 6 afirma que: “*Não sei ao certo, mas o que pode quebrar partículas são prótons, nêutrons e ou negócio que esqueci o nome mas vi isso em química*”. Essa frase evidencia um conhecimento prévio dos alunos sobre o assunto. As demais falas também podem indicar tal conhecimento, mas a menção à matéria deixa isto ainda mais destacado. Os alunos selecionaram conhecimentos que já tinham sobre o mundo microscópico para resolver o problema proposto.

Todavia, nos grupos 2, 4 e 6 não houve apenas uma explicação para o fenômeno. Outra explicação dada pelo grupo fez uso de conceitos da física clássica como gravidade e pressão. No Grupo 2, temos que: “[...] uma força da gravidade presente no traje que faz pressão numa intensidade necessária para que o indivíduo encolha a partícula”. O Grupo 4 apresenta que “*A massa do indivíduo é adulterada por radiação que altera as células*”. Já o Grupo 6 afirma que: “*o traje usa a gravidade para aumentar ou diminuir as partículas*”. Ainda assim, o fenômeno é atribuído a coisas muito pequenas.

Ao observar as respostas como um todo, nota-se indícios do princípio da desaprendizagem apresentado por Moreira (2000). Quando os estudantes abandonam as explicações referentes à mecânica clássica e fazem uso de argumentos que envolvem estruturas não-clássicas, os aprendizes estão selecionando certos conceitos dos quais não entendem como relevantes para solucionar tal problema. A seleção desses conceitos por parte dos estudantes é um indício do princípio da desaprendizagem. A discussão entre os estudantes fica evidenciada em alguns pontos como, por exemplo, nos grupos 2, 4 e 6 que não conseguiram nem entrar em consenso, indicando que houve uma discussão. Essa situação é típica de um indício da presença do princípio da interação social.

## Conclusão

Com o objetivo de compreender como o uso do universo cinematográfico com super-heróis propicia um primeiro contato dos estudantes com os conceitos da Mecânica Quântica, podemos afirmar que existem indícios de que a atividade utilizada fomentou a discussão frente a um mundo macroscópico diferente do observado diariamente. Ao observar estes resultados à luz do referencial teórico, observamos um apontamento para o alcance do objetivo desta etapa da pesquisa. Quando se observa as discussões, nota-se, além das relações com os princípios propostos por Moreira (2000) para gerar uma Aprendizagem Significativa Crítica, que houve o uso de recursos não-clássicos para responder à pergunta central. A atividade mostrou que o uso do universo cinematográfico com heróis não só se mostrou eficiente no sentido de gerar discussões, mas também de deixar os alunos interessados pela problemática. O objetivo foi atingido, sendo que os conhecimentos prévios dos alunos não se mostraram completos, mas fragmentados. Alguns pontos da aprendizagem significativa crítica também estiveram presentes na discussão apresentada, na utilização de conceitos prévios, na necessidade de desaprender conteúdos, etc., destacando a importância do referencial. Por fim, podemos concluir que, além de alcançar os objetivos, a atividade se mostrou muito promissora para futuras análises em outras perspectivas, como, por exemplo, avaliar quais as interpretações da mecânica quântica estão presentes nos discursos dos alunos.

## Referências

- BOCHECO, Otávio; MARQUEZ, Vinicius. Conceito de Inércia com Auxílio de Filmes de Super-heróis. **Caderno de Física da UEFS**, v. 17, n. 01, 2019.
- CARVALHO, Anna; SASSERON, Lúcia Helena. Ensino e aprendizagem de Física no Ensino Médio e a formação de professores. **Estudos Avançados**, v. 32, p. 43-55, 2018.
- DE OLIVEIRA, Letícia Maria; FERREIRA, Kassiano Ademir Amorim. A Física e os super-heróis: uma forma divertida de falar de Ciência. **Revista Ciências & Ideias**, v. 9, n. 3, p. 169-182, 2018.
- ESSER, Larissa; SCHNEIDER, Renata; PEREIRA, Kariston. Contribuições da epistemologia de Gaston Bachelard para o ensino de Física: uma revisão sistemática. **Revista Ciência e Educação**, n. 48, p. 1-18, 2021
- FITZGERALD, Barry. Using Hawkeye from the Avengers to communicate on the eye. **Advances in physiology education**, v. 42, n. 1, p. 90-98, 2018.
- FITZGERALD, Barry. Using superheroes such as Hawkeye, Wonder Woman and the Invisible Woman in the physics classroom. **Physics Education**, v. 53, n. 3, p. 035032, 2018.
- FITZGERALD, Barry.; PLOTZ, Thomas. How to teach the electromagnetic spectrum with superheroes. **The Physics Teacher**, v. 58, n. 8, p. 577-580, 2020.
- FROTA, Joseany da Silva; XEREZ, Leonardo Mendes Pereira; PARENTE, Nórliã Nabuco. A motivação e desmotivação no processo de aprendizagem do Ensino de Física. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 62802-62816, 2020.

GINGRAS, Yves. What did mathematics do to physics? **History of science**, v. 39, n. 4, p. 383-416, 2001.

MOREIRA, Marco Antonio. Aprendizagem significativa crítica. In: **III INTERNATIONAL MEETING ON MEANINGFUL LEARNING**. p. 47, 2000.

MOREIRA, Marco Antonio. Ensino de Física no século XXI: desafios e equívocos. **Revista do Professor de Física**, Brasília, v.2, n.3, 2018.

MOREIRA, Marco Antonio. Grandes desafios para o ensino da física na educação contemporânea. **Revista do Professor de Física** v.1, n.1, 2017.

MOREIRA, Marco Antonio; AXT, Rolando. O livro didático como veículo de ênfases curriculares no ensino de Física. **Revista de Ensino de física**. v. 8, n. 1, p. 33-48, 1986.

NETTO, Jader da Silva; CAVALCANTI, Claudio José de Holanda; OSTERMANN, Fernanda. Dificuldades e estratégias para compreensão do conceito de emaranhamento quântico: um estudo na formação inicial de professores de Física. **Revista brasileira de pesquisa em educação em ciências**. Porto Alegre. v. 19, p. 1-36, 2019.

OSTERMANN, Fernanda; MOREIRA, Marco Antonio. Atualização do currículo de física na escola de nível médio: um estudo dessa problemática na perspectiva de uma experiência em sala de aula e da formação inicial de professores. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 18, n. 2, p. 135-151, 2001.

PAULO, Iramaia Jorge Cabral de; MOREIRA, Marco Antonio. Abordando conceitos fundamentais da mecânica quântica no nível médio. **Revista brasileira de pesquisa em educação em ciências**. Porto Alegre. v. 4, n. 2, p. 63-73, 2004.

PEREIRA, Patrícia do Nascimento; GUERINI, Silvete Coradi; SÁ-SILVA, Jackson Ronie. Os conteúdos de Física Moderna em livros didáticos de Física do Ensino Médio. **Debates em Educação**, v. 11, n. 24, p. 106-124, 2019.

PIETROCOLA, Maurício. A matemática como estruturante do conhecimento físico. **Caderno brasileiro de ensino de física**, v. 19, n. 1, p. 93-114, 2002.

PINTO, Alexandre Custódio; ZANETIC, João. É possível levar a física quântica para o ensino médio? **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 16, n. 1, p. 7-34, 1999.

ROCHA, Carlos Raphael; HERSCOVITZ, Victoria Elnecave; MOREIRA, Marco Antonio. Uma revisão da literatura em publicações de 2010 a 2016 sobre o ensino de conceitos fundamentais de Mecânica Quântica. **Latin-American Journal of Physics Education**, v. 12, n. 1, p. 6, 2017.

SILVA, Cristina Evaristo. Energia através de perspectiva interdisciplinar entre Física e Química. **Dissertação (Mestrado Profissional)** - Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Ensino de Física, Blumenau, 2020.

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

ZEHR, Paul. Avengers Assemble! Using pop-culture icons to communicate science. **Advances in physiology education**, v. 38, n. 2, p. 118-123, 2014.