

A física dos relâmpagos – Uma sequência didática referenciada na aprendizagem significativa de Ausubel



Daniele da S. F. Medeiros¹, Paulo Victor S. Souza¹, Marcelo M. F. Saba²,
Lígia Valente de Sá Garcia¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Estado do Rio de Janeiro,
Campus Volta Redonda, Volta Redonda, RJ, Brasil.

²Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil.

E-mail: paulo.victor@ifrj.edu.br

(Recibido el 12 de diciembre de 2018, aceptado el 25 de febrero de 2019)

Resumo

O fenômeno dos relâmpagos na atmosfera é riquíssimo do ponto de vista conceitual. Para descrevê-lo, ainda que em nível básico, é preciso compreender a relação entre uma série de conceitos de física. Ainda assim, o tema é ausente ou tratado de forma periférica em boa parte dos livros didáticos mais utilizados no Brasil no ensino médio. Diante disso, apresentamos neste trabalho uma sequência didática para abordar este tema que se ancora na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel e utiliza como ferramenta didática um texto didático sobre a física dos relâmpagos na atmosfera especialmente desenvolvido para este fim. Este texto didático também é apresentado neste trabalho. Haja vista que a sequência foi sistematicamente aplicada em turmas do ensino médio do Instituto Federal do Rio de Janeiro, resultados e conclusões são também apresentados e discutidos. Estes sugerem que a sequência pode promover um aprendizado significativo do tema em questão e pode ser ajustada às mais diversas realidades escolares.

Palabras clave: Relâmpago; Teoria da aprendizagem significativa; Ensino de física.

Abstract

The phenomenon of lightning in the atmosphere is very rich from a conceptual point of view. To describe it, even at the basic level, one must understand the relationship between several concepts of physics. Even so, the theme is absent or dealt with peripherally in most of the Physics High School textbooks used in Brazil. Therefore, we present in this work a didactic sequence to deal with this theme that is anchored in Ausubel's Theory of Meaningful Learning and it uses a text about the physics of lightning in the atmosphere as a didactic tool. This didactic text is also presented in this work. Since the sequence was systematically applied in several High School classes of the Instituto Federal do Rio de Janeiro, results and conclusions are also presented and discussed. These suggest that the sequence can promote a meaningful learning of the theme and it can be adjusted to the most diverse school realities.

Keywords: Lightning; Meaningful learning theory; Physics teaching.

PACS: 41.20.Jb, 01.40.ek, 01.40.gb

ISSN 1870-9095

I. INTRODUÇÃO

Para os antigos gregos, Zeus, era o deus dos trovões. Na mitologia romana, Júpiter, o deus dos céus e do trovão, tinha os mesmos poderes de Zeus. Entre os nórdicos, Thor era conhecido como o deus do trovão, dos raios. Os índios brasileiros pré-colombianos acreditavam que Tupã lançava seus raios sobre os homens dominados por maus espíritos. Essas lendas e crendices antigas refletem o profundo interesse do homem em entender e explicar o fenômeno dos relâmpagos na atmosfera, um dos mais belos fenômenos observados na natureza e que, desde o aparecimento da civilização humana, temos contemplado vivenciando um

misto de sensações e sentimentos que vão do temor ao fascínio.

Na era moderna, com o desenvolvimento da teoria clássica do eletromagnetismo e os subsequentes avanços do tecnológicos obtidos no século XX, o conhecimento humano sobre as descargas elétricas na atmosfera se expandiu muitíssimo e finalmente foi possível descrever o fenômeno de maneira cientificamente satisfatória. Atualmente, a física dos raios ainda se constitui em um tema de intensa investigação científica, tanto no campo teórico quanto no campo experimental [1].

À despeito da ênfase que se tem dado ao ensino do eletromagnetismo com múltiplos enfoques nos últimos anos [2, 3, 4, 5] e, embora exista bastante material de divulgação

sobre o assunto disponível na literatura (veja, por exemplo, a referência [6]), a física dos raios ocupa, na melhor das hipóteses, um espaço periférico nos principais livros didáticos de física mais utilizados no ensino médio no Brasil. Para exemplificar, dentre os quatorze livros didáticos de física aprovados no PNLD de 2015, apenas três deles discutem a formação dos relâmpagos (veja, por exemplo, as referências [7, 8, 9]). Tendo em vista, sob diversas perspectivas diferentes, a riqueza do tema, não entendemos que este cenário se justifique de qualquer modo. Trocando em miúdos, a física dos relâmpagos pode ser usada como tema norteador para a discussão de vários conceitos fundamentais em física, conceitos estes que fundamentam o funcionamento de diversos dispositivos tecnológicos presentes no mundo atual.

Concordemente, apresentamos neste trabalho um texto didático sobre a física dos relâmpagos. Além disso, apresentamos uma sequência didática para a abordagem do tema que utiliza o texto como ferramenta didática. A sequência, que se refere à teoria da aprendizagem significativa de Ausubel e utiliza questionários e mapas conceituais como ferramentas de avaliação, tem como objetivo fundamental o ensino do tema relâmpagos na atmosfera de maneira mais profunda e integrada do que a usual.

A sequência foi sistematicamente aplicada em diferentes turmas do ensino médio técnico do curso de automação industrial do Instituto Federal do Rio de Janeiro, campus Volta Redonda. Os resultados da aplicação, que também são apresentados e discutidos, indicam que a sequência didática é capaz de promover a aprendizagem significativa de um tema riquíssimo e que, amiúde, é subestimado.

Este texto está estruturado da seguinte maneira. Inicialmente, realizamos uma breve revisão dos fundamentos metodológicos que suportou o desenvolvimento da sequência didática. Em seguida, apresentamos o texto didático que desenvolvemos para instrumentar a implementação da sequência. A sequência didática é apresentada na seção seguinte. Os resultados obtidos com a aplicação da sequência são também apresentados e discutidos. Alguns comentários finais encerram o texto.

II. METODOLOGIA DIDÁTICA

O pressuposto teórico que embasa a sequência apresentada neste texto é a Teoria da Aprendizagem Significativa. O conceito de aprendizagem significativa foi proposto por David Ausubel, em meados da década de 60 [10]. Para Ausubel, a aprendizagem significativa é a maneira de o ser humano adquirir, organizar logicamente e armazenar de forma permanente ideias e informações presentes nos mais diversos campos do conhecimento. A teoria de Ausubel apregoa a importância de levar em conta a história pregressa do sujeito que aprende e apresenta o professor como alguém que propõe situações que favoreçam a aprendizagem. Dentro desta perspectiva, à medida que o conhecimento prévio serve de base para a atribuição de significados à nova informação, ele também se modifica, se

diferencia, se torna mais robusto, estável e intrincado. Assim, durante a aprendizagem significativa, na medida em que a estrutura cognitiva do sujeito se reestrutura, o novo conhecimento vai sendo construído [11].

Portanto, a sequência didática apresentada neste texto incorpora, tanto quanto possível, esses pressupostos para que se promova, não uma mera acumulação de informações com uma abordagem superficial mas, uma aprendizagem em que os novos conhecimentos são atrelados aos precedentes assumindo assim um significado concreto e amplo.

Além disso, cabe-nos salientar o importante papel exercido pelos mapas conceituais enquanto ferramentas didáticas capazes de subsidiar à prática do professor e permitir que um processo de ensino-aprendizagem significativo ocorra. Mapas conceituais são diagramas que indicam relações entre conceitos, buscando refletir a organização conceitual de uma disciplina ou parte dela [12]. Tais mapas são frequentemente utilizados para identificar os conhecimentos prévios dos alunos, para acompanhar o processo de mudança conceitual ao longo da instrução, para verificar a organização dos conceitos numa disciplina e para avaliar grades curriculares. Além disso, podem ajudar no processo de arquivamento e compartilhamento de informações obtidas. É notável ainda o fato de que a aparente facilidade na elaboração do mapa conceitual é atraente para os iniciantes e pode ajudar a explicar o aumento da popularidade do mapeamento conceitual. O exercício de elaborar mapas conceituais estimula a busca por relações significativas e diminui a chance da ocorrência da aprendizagem mecânica [13]. Ademais, conforme Ruiz-Moreno *et al.* [14], mapas conceituais podem ser usados como ferramentas para organizar e comunicar conhecimentos, para introduzir conceitos e realizar novas sínteses. Como instrumento de avaliação, os mapas conceituais podem ser utilizados para detectar o que o aluno já sabe – o que é absolutamente relevante de acordo com a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel. Durante a construção do mapa pelo aluno, o professor pode intervir em tempo real auxiliando-o na superação de equívocos e dúvidas e, por sua vez, o estudante poderá identificar aspectos nodais em sua aprendizagem, bem como, poderá desenvolver habilidades e competências. Segundo os autores, estas avaliações não são necessariamente verificadoras, podem ser também instrumentos compromissados com uma avaliação formativa, principalmente em decorrência da possibilidade de efetivar uma aprendizagem significativa [15].

III. UM TEXTO DIDÁTICO SOBRE A FÍSICA DOS RELÂMPAGOS

Nesta seção apresentamos o texto didático que subsidia a implementação da sequência didática. O texto trata de aspectos fundamentais da física dos relâmpagos de maneira didática e integrada.

A. O texto didático

Para os antigos gregos, os raios eram lanças produzidas pelos gigantes Ciclopes. Eram utilizadas por Zeus, o rei dos deuses, que as atirava sobre os homens pecadores e arrogantes. Como a mitologia grega migrou e adaptou-se à romana, a interpretação dada aos raios não sofreu muita alteração entre os romanos. O rei dos deuses, Júpiter, também tinha o hábito, como Zeus, de enviar raios (lanças) sobre os homens. Minerva, a deusa da sabedoria, no lugar de Ciclopes, era quem abastecia Júpiter com esta poderosa arma. Entre os nórdicos, que viviam no norte da Europa, Thor era o deus do trovão e dos raios. O som do trovão era provocado pelo movimento das rodas de sua carruagem e os raios podiam ser vistos quando Thor arremessava seu martelo. Entre os índios brasileiros, os raios significam sinais de proteção divina. Segundo a crença Tupi-Guarani, Tupã lançava seus raios sobre os homens dominados por maus espíritos. Sendo assim, se um raio caísse em alguém, a aldeia estava sendo protegida. Funcionava como um amuleto da sorte ou talismã. A figura 1 retrata algumas dessas divindades mitológicas.



FIGURA 1. À esquerda o deus dos deuses, Zeus [16], ao centro Thor, deus do trovão e dos raios [17] e à direita Tupã, manifestação dividida na cultura Tupi-Guarani [18].

O sempre presente e atemporal interesse dos homens nos relâmpagos manifesta-se não apenas em sua cultura e religião, mas também em sua ciência e tecnologia. Em relação ao fenômeno dos raios na atmosfera, algumas perguntas são naturais e pertinentes, a saber: de onde vêm os raios? como se formam? quais são os tipos de raios existentes? um raio pode cair duas vezes no mesmo lugar? existe alguma forma de proteção contra os raios? Antes de nos concentrar nestas perguntas, comecemos como uma questão prévia e necessária para entendermos melhor os raios. Esta questão diz respeito à origem das nuvens.

Como as nuvens são formadas? O calor que é irradiado pelo sol, atinge a superfície do planeta e vaporiza a água das roupas estendidas no varal, das águas dos lagos, rios e mares. Este vapor de água, por ser menos denso que o ar sobe, e ao penetrar em regiões com temperaturas mais frias na atmosfera, se condensa e forma minúsculas gotinhas de água. Que por sua vez, formam as nuvens [6]. Veja a fig. 2a.

Como são formados os relâmpagos? Os relâmpagos estudados neste texto, são provenientes de nuvens de tempestades, as quais chamamos de Cumulonimbus. Elas

se caracterizam por apresentarem grande extensão vertical, cerca de uma dezena de quilômetros de altura, e uma longa expansão horizontal em seu topo devido aos ventos e ao limite imposto pela estratosfera. [19, 20]. Uma nuvem do tipo Cumulonimbus gera chuvas intensas, raios e, ocasionalmente chuva de granizo. É mostrada na figura 2b.



FIGURA 2. Em (a), à esquerda, retratamos uma nuvem típica, formada pela reunião de uma infinidade gotinhas de água condensadas. Em (b), à direita, uma nuvem do tipo Cumulonimbus é retratada. Imagens do arquivo pessoal dos autores.

Dentro das nuvens existem gotinhas de água, cristais de gelo, gotas superesfriadas, flocos de neve e granizo. Devido à grande velocidade dos ventos dentro das nuvens, gelo e granizo se chocam e, através da transferência de cargas elétricas entre elas, acabam eletrificando a nuvem [6]. As cargas elétricas geradas são abundantes e produzem um campo elétrico forte, fora e dentro da nuvem.

Esse campo por sua vez, também induz cargas elétricas no solo. Quando o campo elétrico na nuvem é intenso ocorre a quebra da rigidez dielétrica do ar e a formação dos relâmpagos [21]. A fig. 3 retrata o desenvolvimento de uma nuvem Cumulonimbus.

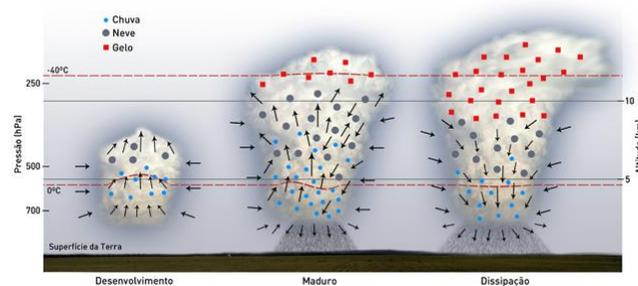


FIGURA 3. Estágios de uma nuvem de tempestade. As linhas vermelhas, são as isotermas de 0° e -40° C. [22].

Mas, o que é o relâmpago? Com o aumento do campo elétrico ocorre uma quebra da rigidez dielétrica do ar (a capacidade de isolamento do ar), há a formação de descargas bidirecionais que se propagam dentro das nuvens. Estas descargas podem iniciar um caminho de descida em direção ao solo com uma velocidade na ordem 10^5 m/s (100 vezes maior que a velocidade de um caça F-22). Sua trajetória é tortuosa e muito rápida para ser visualizada a olho nu [6].

A corrente elétrica produzida pelo relâmpago, gera um aquecimento brusco e expansão supersônica do ar, produzindo uma forte pressão que dá origem a uma onda de choque que gera um som: o trovão [23]. Existem dois tipos

Daniele da S. F. Medeiros et al.

de relâmpagos: os que não tocam o solo, chamados de relâmpagos intranuvem, fig. 4a, e os que tocam o solo, chamados simplesmente de raios. Que podem ser identificados como: descendentes, fig. 4b e ascendentes, fig. 4c. Os raios também podem ser classificados segundo a sua polaridade, os raios negativos transferem cargas negativas para o solo enquanto que os positivos transferem cargas positivas. [24].



FIGURA 4. Em (a), à esquerda, é apresentado um relâmpago intranuvem; em (b), ao centro, apresentamos um raio descendente e, em (c), à esquerda, apresentamos um raio ascendente. Imagens do arquivo pessoal dos autores.

No raio descendente a descarga vem da nuvem em direção ao solo e se conecta na maioria dos casos, como uma pequena descarga ascendente de polaridade oposta proveniente de uma estrutura alta. Na figura 5, podemos visualizar uma descarga de descida e no primeiro quadro da imagem, uma pequena descarga na ponta do para-raios. Conforme olhamos para os outros quadros, podemos perceber que essa pequena descarga evolui e sobe em direção à descarga que desce. Essa descarga que sobe da ponta do para-raios, chamamos de líder ascendente conectivo. No último quadro, ocorre a conexão entre os dois raios.



FIGURA 5. Sequência de imagens obtida por uma câmera de alta velocidade ilustrando a conexão de um raio descendente com o líder ascendente conectivo, a partir do sistema de proteção contra descargas atmosféricas de dois edifícios de 14 andares na cidade de São Paulo. Imagem reproduzida da referência [25].

Além dos raios que descem, existem raios que sobem? Sim! Isso mesmo! Um raio pode “cair” para cima!!! Mesmo raros, os raios ascendentes puderam ser visualizados pela primeira vez no Brasil em 2012, por um grupo de pesquisadores brasileiros do Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Este tipo de relâmpago ocorre a partir de torres e prédios altos e não aconteceriam se essas estruturas

não estivessem presentes. Os raios ascendentes se iniciam quando o campo elétrico na ponta das estruturas se intensifica e gera uma descarga pra cima em direção a nuvem.

O acúmulo de cargas é mais intenso se a estrutura for pontiaguda, uma consequência direta do que chamamos de poder das pontas, o que torna o campo elétrico nessas regiões mais intenso do que nas regiões mais planas. Este fenômeno ocorre nos para-raios, criando um campo elétrico na atmosfera maior do que outros objetos ao seu redor, tornando assim mais provável que a capacidade dielétrica do ar seja superada exatamente em sua direção. Ao atingir o para-raios, a corrente elétrica da descarga é conduzida para o aterramento, propiciando um “caminho seguro” para as edificações durante as tempestades [6]. Um esquema típico de instalação do para-raios e uma imagem de sua haste vertical podem ser visualizados respectivamente nas figuras 6a e 6b.

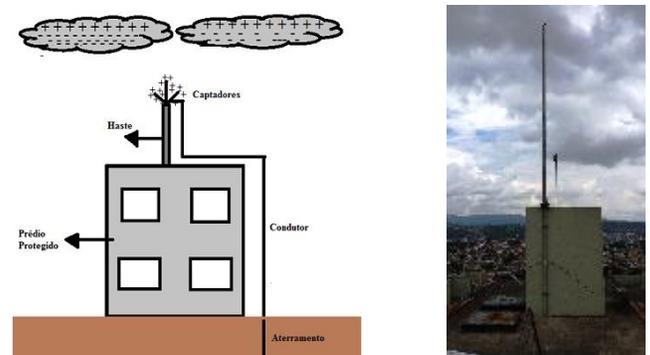


FIGURA 6. Em (a), à esquerda, apresentamos o esquema de um para-raios [26] e, em (b), à direita, apresentamos a imagem da haste vertical do para-raios. Imagem do arquivo pessoal dos autores.

Há um ditado popular que afirma que “um raio não pode cair duas vezes no mesmo lugar”. Será isso verdade? A resposta é um solene “não”! Considere apenas um contra exemplo: a estátua do Cristo Redentor localizada no topo do morro do Corcovado na cidade do Rio de Janeiro (RJ) atrai cerca de dois milhões de turistas a cada ano e é considerada uma das Sete Maravilhas do Mundo Moderno. Devido ao seu tamanho e ao fato de estar no topo de uma montanha de 710 metros, o Cristo Redentor é frequentemente atingido por raios [27]. Os para-raios auxiliam na prevenção para que a maioria dos raios não caíam diretamente sobre a sua superfície, mas apesar dessas medidas de segurança, a estátua é atingida em média seis vezes por ano [28]. A fig. 7 mostra um raio atingindo o Cristo Redentor.



FIGURA 7. Raio atinge mão do Cristo Redentor em 2014. Imagem reproduzida da referência [29].

Como se proteger dos raios? Estudos realizados nos últimos anos afirmam que aproximadamente, 50 milhões de raios caem todos os anos no Brasil e a cada 50 mortes no mundo por raios, 1 morte ocorre no Brasil. O número de vítimas registradas num período de 2000 até 2014 somam um total de 1790 mortes. As circunstâncias dessas fatalidades são: 25% em atividades rurais, 19% dentro de casa, 11% próximo a um veículo, 8% embaixo de árvores, 8% jogando futebol, 5% sob coberturas (varandas, toldos, deques), 5% na praia e 19% outros [30]. Deste modo, devemos adotar alguns cuidados durante uma tempestade com relâmpagos: quando estiver em campo aberto, como praia, campo de futebol, deve-se procurar um abrigo, mas, se não for possível, procurar reduzir ao máximo a área corporal, agachando; não ficar embaixo ou próximo de árvores isoladas; não ficar próximo de cercas de arame; não tocar em equipamentos elétricos ligados a rede elétrica; evitar tomar banho; não utilizar aparelhos de telefone com fio, são alguns entre outros cuidados que devem ser adotados. No endereço eletrônico: www.inpe.br/webelat/homepage/menu/protECAo/cartilha.de.protECAo.contra.raios.php é possível encontrar uma cartilha de proteção contra raios.

A SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A sequência didática é dividida em três etapas correspondentes à três aulas de 50 minutos, o que a torna aplicável às mais diversas realidades escolares. Na tabela 1, descrevemos as atividades desenvolvidas em cada uma dessas etapas.

TABELA I. Síntese das atividades apresentadas em cada etapa da sequência didática

<i>Etapas</i>	<i>Atividades</i>
Primeira	1. Para promover a ativação dos subsunçores, foi solicitado que os alunos listassem em uma folha todos os conceitos de física que eles acreditavam estar relacionados ao fenômeno dos relâmpagos na atmosfera. Uma justificativa foi requerida para cada associação. Em seguida, foi solicitado que citassem em

	voz alta os conceitos para que o professor os transcrevesse no quadro. Finalmente, o professor mediou uma discussão cujo objetivo foi discutir as justificativas apresentadas pelos alunos para a associação de cada um dos conceitos citados ao fenômeno em questão.
Segunda	Inicialmente, os alunos receberam o texto didático e lhes foi solicitado que o lessem com atenção. Após isso, lhes foi solicitado que respondessem um questionário cujo objetivo é realçar os pontos altos do texto. Por fim, o professor solicitou que alguns alunos respondessem em voz alta a cada uma das perguntas e conduziu com a turma uma discussão acerca da plausibilidade das respostas.
Terceira	O professor apresentou aos alunos a ideia de mapa conceitual discutindo suas regras de construção e apresentando alguns exemplos. Foi solicitado que os alunos construíssem um mapa conceitual cujo conceito central era relâmpago . Alguns mapas foram então escaneados, projetados e foi solicitado que os alunos que os construíram os explicassem.

Os materiais utilizados na sequência podem ser baixados no link:

<https://drive.google.com/file/d/1QhUvyG0fGjlObYuyjkSbfYOK36sefwHX/view?usp=sharing>.

V. CONCLUSÕES OBTIDAS A PARTIR DOS RESULTADOS

A sequência didática apresentada na seção precedente foi sistematicamente aplicada com turmas do ensino médio técnico integrado do Instituto Federal do Rio de Janeiro, campus Volta Redonda, ao longo de mais de um ano. Avaliações ao longo do processo, ou seja, depois de cada etapa, e ao final do processo foram realizadas e nos permitiram perceber a excelente adequação da sequência ao currículo do ensino médio e à realidade da escola pública no Brasil, tendo em vista que sua inteira aplicação pôde ser realizada em cerca de três aulas de 50 minutos. Em seguida, resumamos as atividades realizadas em cada etapa, apresentamos as avaliações utilizadas em cada uma das mesmas e apontamos às conclusões à que chegamos a partir dos resultados dessas avaliações nas diversas vezes em que a sequência foi aplicada.

Primeira etapa:

1. **Atividades:** Ativação de subsunçores por meio de resposta à pergunta e discussão.
2. **Avaliação:** Respostas ao questionário.
3. **Conclusões:** Como se tratou de uma pergunta aberta, encontramos diversas respostas. Embora a maioria dos alunos tenham demonstrado deter alguns conhecimentos prévios sobre o tema, frequentemente nos deparamos com explicações equivocadas acerca da relação entre os conceitos físicos fundamentais com o fenômeno dos relâmpagos. Foi possível inclusive identificar 3 categorias de respostas: (a) os alunos que apenas conseguiram apontar os conceitos (23,2%); (b) os que apontaram e explicaram a relação de maneira equivocada (16,1%) e (c) os que apontaram os conceitos e explicaram as relações de maneira minimamente satisfatória (60,7%).

Segunda etapa:

1. **Atividades:** Leitura, respostas ao questionário e discussão.
2. **Avaliação:** Respostas ao questionário.
3. **Conclusões:** A comparação das respostas obtidas as questões deste questionário e o desempenho do mesmo aluno na etapa anterior revelou que houve significativo desenvolvimento na capacidade de descrever o fenômeno dos relâmpagos de maneira integrada. Também neste caso foi possível 3 categorias de respostas: (a) os alunos que apenas descreveram o processo mas não indicaram adequadamente as relações entre os conceitos (19,6%); (b) os que descreveram o processo e indicaram adequadamente as relações entre os conceitos mas de maneira simplória (14,3%) e (c) os que descreveram o processo e indicaram adequadamente as relações entre os conceitos mas de maneira sofisticada (66,1%).

Terceira etapa:

1. **Atividades:** Confecção de mapa conceitual e discussão.
2. **Avaliação:** Mapa Conceitual.
3. **Conclusões:** Embora esta tenha sido a primeira vez que todos os alunos que compunham a amostra produziram um mapa conceitual em sua carreira acadêmica, com maior ou menor dificuldade, todos os alunos conseguiram produzir os mapas solicitados. Os mapas produzidos puderam ser agrupados em 4 categorias: (a) os mapas coerentes e sofisticados que apresentaram alto grau de complexidade (19,6%); (b) os mapas padrão “teia de aranha”, em que a maioria dos conceitos adjacentes simplesmente convergem ou divergem para o tema central (25,0%), (c) os mapas que, embora apresentem os conceitos relacionados ao tema central, não apresentam organização e hierarquia (46,4%) e (d) os mapas em que os conceitos adjacentes não estão adequadamente associados ao tema central (9,0%).

Exemplos de resultados obtidos com as avaliações podem ser baixados no link:

<https://drive.google.com/file/d/127fS0AWgYi2Scw3qYiDeKQbCUse9CRZq/view?usp=sharing>

VI. COMENTÁRIOS FINAIS

Neste texto, apresentamos uma sequência didática cujo objetivo é abordar o fenômeno dos relâmpagos na atmosfera. A sequência é fundamentada na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel. A sequência, que pôde ser aplicada em cerca de 3 encontros de 50 minutos, utiliza como principal ferramenta didática um texto sobre o assunto escrito justamente para este objetivo.

A sequência foi sistematicamente aplicada em turmas do ensino médio técnico do Instituto Federal do Rio de Janeiro e os resultados, também resumidamente discutidos neste artigo, indicam que a sequência proporciona uma abordagem do tema bem mais profunda e integrada do que a usual. Tendo em vista sua simplicidade e praticidade, acreditamos que a sequência possa ser ajustada às mais diversas realidades escolares e ser bem sucedida na promoção de um aprendizado significativo do tema.

REFERENCIAS

- [1] Pinto, O., *Lightning in the tropics: from a source of fire to a monitoring system of climatic changes*, (Nova Science Pub Incorporated, Brasil, 2009).
- [2] Mora, C., Collazos, C., Otero, R. and Isaza, J., *Project Based Learning for Electrostatics*, *Lat. Am. J. Phys. Educ.* **9**, 4405-1 (2015).
- [3] Fragoso, R. M. and Torres, M. V., *Enseñanza del electromagnetismo a través de aplicaciones experimentales*, *Lat. Am. J. Phys. Educ.* **11**, 2301-1 (2017).
- [4] Shitu, J., *Experimentos sencillos en magnetismo con materiales de bajo costo: desarrollo de modelos y terminología a partir de las observaciones*, *Lat. Am. J. Phys. Educ.* **18**, 281-291 (2014).
- [5] Meneses Villagrà, J.A. and Caballero Sahelices, M. C., *Secuencia de enseñanza sobre el electromagnetismo*, *Enseñanza de las Ciencias* **13**, 36-45 (1995).
- [6] Saba, M. M. F., *A física das tempestades e dos raios*, *Física na Escola*, **2**, 19-22 (2001).
- [7] Biscuola, G. J., Boas, N. V. and Doca, R. H., *Física 3*, Saraiva (2015).
- [8] Torres, C. M. A., Ferraro, N. G., Soares, P. A. T. and Penteadó, P. C. M., *Física: ciência e tecnologia*, (Moderna, Brasil, 2015).
- [9] Xavier, C. and Barreto, B., *Física aula por aula*, (FTD, 2015).
- [10] Ausubel, D. P., *The psychology of meaningful verbal leaning*, (Grune and Stratton Ausubel, dp, 1968). *Educational psychology: a cognitive view*. (Holt, Rinehart and Winston, New York, 1963).
- [11] Moreira, M. A., *Mapas Conceituais e Aprendizagem Significativa*, (Centauro, 2010).
- [12] Moreira, M. A. and Rosa, P. R. S., *Mapas Conceituais*, *Caderno Catarinense de Ensino de Física Florianópolis* **3**, 17-25 (1986).

- [13] Correia, P. R. M, Silva, A. C., Junior, J. G. R. and et al, *Mapas conceituais como ferramenta de avaliação na sala de aula*, Revista Brasileira de Ensino de Física **32**, 4402-1 (2010).
- [14] Ruiz-Moreno, L., Sonzogno, M. C., Batista, S. H. S. S. and Batista, N. A., *Mapa conceitual: ensaiando critérios de análise*, Ciência & Educação (2007).
- [15] Pacheco, S. M. V. and Damasio, F., *Mapa conceituais e diagram v: ferramentas para o ensino, a aprendizagem e a avaliação no ensino técnico*, Ciência & Cognição **14**, 166-193 (2009).
- [16] World of dreams, *Zeus*, <<http://weknowyourdreams.com/zeus.html>>, consultado em 20 de abril de 2018.
- [17] Andy Park, *Thor: Ragnarok – deus do trovão*, <<https://opontonerd.com.br/2017/06/24/thor-ragnarok-deus-do-trova-aparece-em-nova-arte-conceitual/>>, consultado em 20 de abril de 2018.
- [18] O verso do inverso, *Tupã*, <<https://br.pinterest.com/pin/495325659000368097/>>, consultado em 13 de outubro de 2017.
- [19] Cotton, W. R. and Anthes, R. A., *Storm and Cloud Dynamics*, (International geophysics series, v. 44), Academic Press, 1989).
- [20] Houze Jr, R. A., Rutledge, S. A., Biggerstaff, M. I. and Smull, B. F., *Interpretation of Doppler weather radar displays of midlatitude mesoscale convective systems*, Bulletin of the American Meteorological Society **70**, 608-619 (1989).
- [21] Rakov, V. A. and Uman, M. A., *Lightning: physics and effects*, (Cambridge University Press, UK, 2003).
- [22] INPE/ELAT, *Desenvolvimento de uma nuvem*, <<https://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/infor/tempestades/evolucao.php>>, consultado em 5 de setembro de 2017.
- [23] Wallace, J. M. and Hobbs, P. V., *Atmospheric science: an introductory survey* **92**, (Elsevier, NY, 2006).
- [24] Ballarotti, M. G., *Redensolvimento do líder positivo no relâmpago* (2015).
- [25] Saba, M. M. F., Paiva, A. R., Ferro, M. and et al, *Lightning attachment process to common buildings*, Geophysical Research Letters **44**, 4368-4375 (2017).
- [26] INFOENEM, *O poder das pontas e o funcionamento do para-raios*, <<https://www.infoenem.com.br/o-poder-das-pontas-e-o-funcionamento-do-para-raios/>>, consultado em 20 de junho de 2016.
- [27] Mologni, J., *Análise da queda de raios sobre o Cristo Redentor*, <<https://www.esss.com.br/blog/2016/07/analise-da-queda-de-raios-sobre-o-cristo-redentor>>, consultado em 16 de novembro de 2017.
- [28] INPE/ELAT, *Perguntas e Respostas*, <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/el.atm/perguntas.e.respostas.php>>, consultado em 16 de agosto de 2016.
- [29] Folha de São Paulo, *Raio danifica dedo do Cristo Redentor durante temporal no Rio*, <<https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2014/01/1399272-raio-danifica-dedo-do-cristo-redentor-durante-temporal-no-rio.shtml>>, consultado em 5 de setembro de 2017.
- [30] INPE/ELAT, *Número de vítimas registradas no Brasil*, <<https://www.inpe.br/webelat/homepage/>>, consultado em 5 de setembro de 2017.