

**BRUNO  
RIBOLDI**

**NELSON  
STUDART**

# **RELATIVIDADE RESTRITA: GAME E ANIMAÇÕES**

**PROPOSTA DE UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA (UEPS)**

Bruno Marconi Riboldi  
Nelson Studart

RELATIVIDADE RESTRITA: GAME E ANIMAÇÕES

1ª Edição

SÃO CARLOS — SP  
Bruno Marconi Riboldi  
2015

O material apresentado neste documento pode ser reproduzido livremente desde que citada a fonte. As imagens apresentadas são utilizadas para fins didáticos. Caso sinta que houve violação de seus direitos autorais, por favor contate os autores para solução imediata do problema. Este documento é veiculado gratuitamente, sem nenhum tipo de retorno comercial a nenhum dos autores, e visa apenas a divulgação do conhecimento científico.

## APRESENTAÇÃO

Este material é fruto do meu trabalho sob a orientação do Prof. Dr. Nelson Studart no programa de pós-graduação do mestrado nacional profissional em ensino de física na Universidade Federal de São Carlos e tem como objetivo apresentar o produto educacional produzido ao longo destes anos como mestrando. A dissertação que gerou este material tem como título *“A CONSTRUÇÃO DE UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA (UEPS) PARA ENSINAR RELATIVIDADE UTILIZANDO ANIMAÇÕES E O GAME A SLOWER SPEED OF LIGHT”*. O intuito é apresentar o produto educacional de forma direta e objetiva, em que o autor apresenta suas experiências com a construção e aplicação da UEPS, trazendo sugestões para as futuras aplicações e materiais complementares para alunos e professores

# #01 CAPÍTULO

## A RELATIVIDADE RESTRITA

O estudo da relatividade restrita envolve conceitos e ideias sobre a relatividade do tempo e espaço e constitui uma importante parte da física não newtoniana e de grande relevância para se tratar de assuntos que envolvem diversos temas.



### POR QUE ENSINAR RELATIVIDADE RESTRITA NO ENSINO MÉDIO?

Nas últimas décadas, a humanidade tem presenciado uma revolução tecnológica e a física, como parte da ciência, tem feito contribuições importantes tanto na área da pesquisa como no desenvolvimento de novas tecnologias. A capacidade de utilizar os conhecimentos científicos em contextos e ações reflete direta ou indiretamente no ambiente e na sociedade em que se vive e é algo muito importante na atualidade. A sociedade do século XXI é convidada a participar cada vez mais ativamente de discussões que envolvem a ciência. Pesquisas com células-tronco, melhoramento genético, produção de energia por fontes alternativas são assuntos que estão inseridos no cotidiano da população em geral.

Desta maneira, voltando os olhares para as salas de aula, vê-se um ensino de física baseado, em sua grande maioria, em temas, teorias, problemas e assuntos que estão presentes neste ramo da ciência há mais de um século. Mecânica, termodinâmica, eletromagnetismo, entre outros ramos da física, apesar de abordarem assuntos relevantes e ainda muito pertinentes, não são capazes de fornecer conhecimento suficiente para

as situações e problemas enfrentados no cotidiano. Um mundo com computadores, lâmpadas de LED, aparelhos de GPS faz com que a física clássica não seja mais capaz de explicar tudo que ocorre no dia a dia.

Refletindo sobre o exposto acima, acredita-se que cada vez mais será necessária a real inserção de temas relacionados à física não newtoniana nos cursos de ensino médio que, ao invés de possuírem características formativas, acabam se constituindo em sua essência como cursos propedêuticos.

## O GAME "A SLOWER SPEED OF LIGHT" E A TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA

O vídeojogo *A SLOWER SPEED OF LIGHT* foi produzido pelo GameLab do Massachusetts Institute of Technology (MIT). O download do

game pode ser feito de forma gratuita no endereço virtual: <http://gamelab.mit.edu/games/a-slower-speed-of-light> (KORTEMAYER ET AL, 2013).



Figura 1: Tela inicial do game *A SLOWER SPEED OF LIGHT*.

Nele, o jogador se desloca em um espaço 3D com o intuito de coletar orbs (uma espécie de bola encantada) que faz com que a velocidade da luz seja reduzida à medida que o jogador as coleta. O game é uma referência clara à questão proposta por Einstein quando este tinha apenas 16 anos de idade: "O que poríamos ver se viajássemos montados em um raio de luz?". Os gráficos do jogo e ações produzidas pelos jogadores levam-no a obter a resposta para esta questão proposta por Einstein. O game possui uma interface amigável que facilita a sua utilização por parte do professor e alunos.

Após a coleta de algumas dezenas de orbs, o jogador começa a visualizar os primeiros efeitos relativísticos presentes no jogo, como por exemplo, o **efeito holofote**, o **efeito doppler**, **efeito terrell** e a contração do comprimento. O **efeito holofote** consiste no fato de que como o jogador começa a se deslocar com uma velocidade cada vez mais próxima da velocidade da luz, uma quantidade maior de fótons incide nos olhos do jogador, o que faz com que a imagem se apresente com um brilho maior. Quando há deslocamento para trás, incide uma quantidade menor de fótons, que é percebida pelo jogador como uma imagem menos nítida e brilhante.

O **efeito doppler** é o desvio da luz para a faixa do vermelho ou do azul, dependendo do movimento do jogador. O **efeito**

**terrell** explica a aparência visual de objetos em movimento relativístico. No game, o jogador poderá visualizar este efeito apenas quando todas as orbs forem coletadas. Neste momento os demais efeitos relativísticos são retirados e pode-se perceber então o **efeito terrell**.



Figura 2: Captura de tela do game A SLOWER SPEED OF LIGHT mostrando o efeito holofote.

A vantagem da utilização do game A SLOWER SPEED OF LIGHT está na possibilidade de visualização de alguns efeitos relativísticos que seriam impossíveis de serem observados no cotidiano (HONEY E HILTON, 2011). Além disso, a quantidade de signos fornecidos pelo videogame é muito maior do que os encontrados nos materiais educacionais impressos e audiovisuais disponíveis. Assim, podemos afirmar que a utilização do game na UEPS como ferramenta educacional

constitui um diferencial importante. Esta afirmação pôde ser confirmada com as repostas apresentadas pelos alunos no questionário respondido após a finalização da UEPS.



Figura 3: Captura de tela do game A SLOWER SPEED OF LIGHT mostrando o efeito doppler.



Figura 4: Captura de tela do game A SLOWER SPEED OF LIGHT mostrando o efeito terrell.

## SAIBA MAIS SOBRE

### A TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA

BERNSTEIN, A. Albert Einstein e as Fronteiras da Física, Claro Enigma, 184 pp 2013.

DEISSLER, R. J. The appearance, apparent speed, and removal of optical effects for relativistically moving objects. *American Journal of Physics*. 73 (7), 663-669 (2005).

EINSTEIN, A. A teoria da relatividade especial e geral, Contraponto, 132 pp. 1999.

EINSTEIN, A. Como vejo o mundo, Nova Fronteira, 160 pp. 2015.

GOLDSMITH, MIKE. Einstein e seu universo inflável – Coleção Mortos de Fama, Cia. das Letras, 192 pp. 2002.

INFELD, L. E EINSTEIN, A, A evolução da Física, Zahar, 248 pp. 2008.

JANIS, A. I. Simultaneity and special relativistic kinematics. *American Journal of Physics*. 51 (3), 209 (1983).

PAIS, A. "Sutil é o Senhor..." A Ciência e a Vida de Albert Einstein, Nova Fronteira 638 pp 1995.

TOLMASQUIM, A. Einstein – O Viajante da Relatividade na América do Sul, Vieira&Lent, 255p. 2003.

### A SLOWER SPEED OF LIGHT

KORTEMAYER, G.; FISH, J.; HACKER, J.; KIENLE, J.; KOBYLAREK, A. et al. seeing and Experiencing Relativity – A New Tool fot Teaching? *The Physics Teacher*, v. 51, p. 460 – 461, nov, 2013.

### JOGOS NA APRENDIZAGEM

GEE, J. P. Bons videogames e boa aprendizagem. *Revista Perspectiva*, Florianópolis, v. 27, n. 1, p. 167 – 178, jan./jun. 2009. Disponível em: <http://perspectiva.ufsc.br>

GEE, J. P. Bons videojogos + Boa aprendizagem: Colectânea de Ensaios sobre os Videojogos, a aprendizagem e a Literaci. Magualde: Edições Pedagogo, 2010, 299p. (contrapontos).

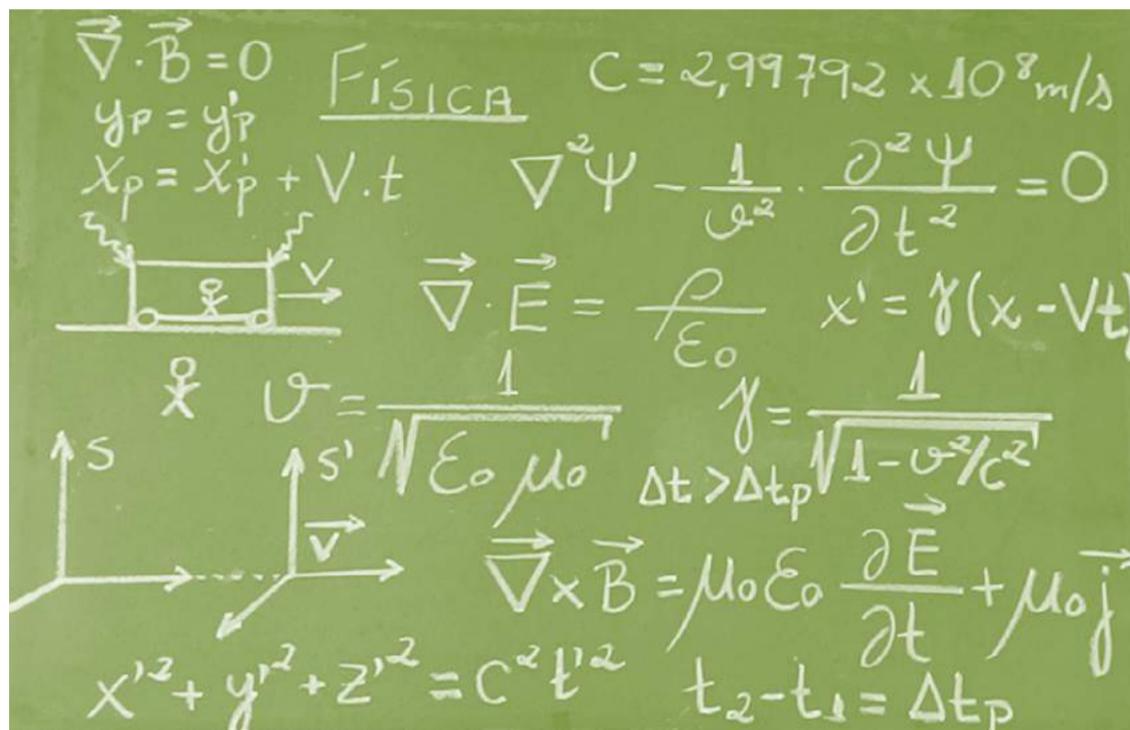
HONEY, M. A; HILTON, M. L. Learning Science Through Computer Games and Simulations. Washington: The National Academies Press, 2011. 161p.

ULICSAK, M.; WRIGHT, M. Games in Education: Serious Games. A FutureLab review. Reino Unido, 2010. Disponível em: [http://media.futurelab.org.uk/resources/documents/lit\\_reviews/Serious-Games\\_Review.pdf](http://media.futurelab.org.uk/resources/documents/lit_reviews/Serious-Games_Review.pdf)

## #02 CAPÍTULO

### CONSTRUÇÃO DA UEPS

Uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) constitui um modelo específico de Sequência de Ensino Aprendizagem (SEA) em que alguns princípios de construção e sequenciamento devem ser levados em consideração, baseados na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel.



### A ESCOLHA DO TEMA

A escolha do tema consiste em uma etapa muito importante no processo de construção de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa. Para o tema de uma UEPS pode-se escolher desde um assunto específico como, por exemplo, dilatação temporal, até um tema mais abrangente como, por exemplo, física moderna e contemporânea. Desta forma, uma UEPS é construída com a finalidade de facilitar a aprendizagem de qualquer tipo de conteúdo. O tema escolhido para a construção da UEPS apresentada neste trabalho foi a Relatividade Restrita. Como já mencionado anteriormente, julga-se relevante a aprendizagem de assuntos relacionados a este tema por alunos do ensino médio.

Apesar de parecer algo trivial, é necessário que a escolha do tema leve em consideração o nível instrucional dos alunos e as necessidades educacionais as quais os alunos estão submetidos. Assim, exige-se que o professor tenha uma ideia muito clara e objetiva dos objetivos que pretende alcançar com a UEPS construída.

## A ESCOLHA DAS FERRAMENTAS EDUCACIONAIS

A escolha das ferramentas educacionais que serão utilizadas na construção da UEPS também constitui um importante passo no processo de criação da unidade de ensino. Da mesma forma que para a escolha do tema aconselha-se que o professor possua uma ideia muito clara dos objetivos e assuntos que serão abordados e trabalhados na UEPS.

A escolha das ferramentas utilizadas precisa levar em consideração diversos fatores, dentre os quais os mais importantes são os conhecimentos prévios dos alunos e a estrutura física da escola. Estas ferramentas podem ser textos, vídeos, simulações, animações, jogos eletrônicos, experimentos, entre outros. Para a construção da UEPS apresentada foram utilizados basicamente recursos computacionais, como o game *A SLOWER SPEED OF LIGHT*, animações em flash e vídeos. Além destas ferramentas também foram utilizados textos, mapas conceituais e questionários.

Desta forma, é necessário uma análise prévia e planejamento adequado dos recursos e ferramentas que se pretende utilizar durante a aplicação da UEPS. Apesar de todo o planejamento, o professor também deve contar com imprevistos. Assim, é necessário que o professor possua, se possível, uma segunda opção caso aconteçam tais imprevistos. Durante a aplicação da UEPS proposta neste trabalho ocorreu uma situação em que foi preciso uma reorganização de uma das atividades devido ao problema dos computadores do laboratório de informática da escola não possuírem capacidade gráfica suficiente para executar o game utilizado.

Com a experiência obtida com a aplicação da UEPS, sugerimos que sejam realizados previamente diversos testes para verificar e identificar os possíveis problemas que podem ocorrer durante a utilização das ferramentas educacionais, principalmente quando estas ferramentas dependem de recursos computacionais. Para evitar o mesmo problema, deixaremos duas configurações de computadores nas quais foram testadas o game e que não houve problema algum de execução.

### CONFIGURAÇÃO 1:

- Intel (R) Core i5 (TM) i5-3317U (1.70GHz)
- Intel (R)HD Graphics 400 (128 MB)
- 6GB RAM

### CONFIGURAÇÃO 2:

- Intel (R) Core (TM) i5-4200U (2.3 GHz)
- GeForce GT 740M (2048 MB)
- 4GB RAM

Destacamos que pode haver configurações inferiores que são capazes de executar o game, por isso aconselha-se um teste prévio para verificar a jogabilidade de *A SLOWER SPEED OF LIGHT* em outras configurações.

Contudo, não são apenas as ferramentas educacionais que envolvem recursos computacionais que necessitam de um planejamento mais cauteloso. Na aplicação da presente UEPS foram utilizados mapas conceituais e deve-se considerar que estas ferramentas podem não ser conhecidas pelos alunos. Desta forma, é necessário que o professor inclua no planejamento da UEPS uma atividade para instruir os alunos quanto à construção de mapas conceituais. Os conceitos envolvidos na construção de um mapa conceitual são relativamente complexos e requerem uma atenção especial por parte do docente na hora de instruir os alunos em relação à construção do mapa, uma vez que constituem uma importante ferramenta educacional que fornecerá resultados importantes sobre os conhecimentos prévios dos alunos e como a aprendizagem evoluiu durante a aplicação da UEPS.

Nas turmas em que a UEPS foi aplicada, a maioria dos alunos nunca havia construído um mapa conceitual e foi reservado um tempo de aproximadamente vinte e cinco minutos para a instrução de como um mapa conceitual pode ser construído. Apesar de julgarmos que não houve prejuízos quanto à qualidade dos mapas conceituais produzidos pelos alunos, recomendamos que seja disponibilizado um tempo maior para a instrução da construção dos mapas conceituais.

## CONSTRUINDO A UEPS

Após a escolha do tema e das ferramentas educacionais que serão utilizadas na UEPS, deve-se dar início à estruturação da unidade de ensino propriamente dita. Nesta etapa o professor deve organizar as ferramentas educacionais e a forma como serão apresentadas aos alunos. Para isso é necessário que o professor conheça a estrutura de uma UEPS e siga alguns parâmetros para a sua construção. Uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa, proposta por Moreira (2011), é um dos tipos de Sequência

de Ensino Aprendizagem (SEA) baseada na teoria da Aprendizagem Significativa proposta por Ausubel (2003) e discutida por Moreira e Massini (1982). Desta forma, pode-se dizer que uma UEPS constitui um modelo de SEA em que alguns princípios de construção e sequenciamento devem ser levados em consideração.

Uma SEA, por sua vez, se constitui em um conjunto de atividades dispostas em uma determinada ordem, com uma estruturação e articulação desenvolvida para um determinado objetivo educacional que possui um início e final conhecidos tanto pelos professores como pelos alunos. A identificação e conhecimento da estruturação de uma SEA possibilita uma melhor compreensão de seu valor educacional, assim como facilita as possíveis mudanças que serão realizadas na sequência e a inserção de atividades que possam melhorá-la.

Talvez o princípio mais importante para a construção de uma UEPS provenha da afirmativa feita por Ausubel (1976, p. 6): *"Se tivesse que reduzir toda a psicologia educacional a um só princípio, diria o seguinte: de todos os fatores que influenciam a aprendizagem, o mais importante é aquilo que o aluno já sabe. Averigue isso e ensine-o de acordo"*.

Assim, faz-se necessário que desde o início da construção de uma UEPS o professor já possua em mente uma maneira de avaliar quais são os conhecimentos prévios dos alunos. Para esta tarefa sugere-se que o professor faça uso de mapas conceituais, pois estes são considerados instrumentos facilitadores da aprendizagem significativa. Eles auxiliam o professor na análise de quais são os conceitos e ideias que os alunos possuem acerca de um determinado assunto e como estes conceitos e ideias estão relacionados entre si.

As situações-problema que são apresentadas na UEPS devem ser criadas de forma que os alunos se interessem pelo assunto e fiquem motivados para uma aprendizagem significativa. As situações-problema devem transcender as questões que geralmente são propostas nos livros didáticos, devem despertar o interesse dos alunos e estimular a vontade em querer descobrir uma explicação para o problema proposto. De

preferência, as situações-problema não devem ser apresentadas fora de um contexto que seja favorável para o despertar do interesse do aluno. Para isto, sugere-se que a questão central das situações-problema faça parte de uma pequena história, seja ela fictícia ou real, pois isto acaba envolvendo o aluno no problema e diluindo o caráter *mecânico* da aprendizagem.

Para que uma situação-problema se apresente da maneira descrita acima, ela deve relacionar os conteúdos aprendidos anteriormente com os novos conteúdos apresentados, ou seja, deve servir como ponte cognitiva entre o que o aluno já sabe e o novo conhecimento a ser aprendido. Para isto, a situação-problema deve trazer ideias e conceitos que já são conhecidos dos alunos. Uma situação-problema não pode ser constituída apenas de conceitos e ideias inéditas, pois desta forma não serão ancorados de forma não arbitrária e não literal nos subsunçores preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz. A organização da estrutura cognitiva é algo dinâmico, que se reformula conforme os subsunçores se tornam mais abrangentes e diferenciados. Desta forma, as situações-problema devem ser apresentadas em nível crescente de complexidade, à medida que os subsunçores estão preparados para ancorar novas ideias.

Desta forma, pode-se dizer que uma UEPS deve ser elaborada levando em consideração a aprendizagem significativa dos conteúdos, estimulada pela busca de respostas às situações-problema propostas que são construídas levando em consideração a diversidade de materiais educativos. Tais respostas vão além da memorização e reprodução dos conteúdos aprendidos, estas provêm da captação e negociação de significados apresentados no material educacional. A captação e negociação só podem ocorrer quando o ensino baseado na narrativa do professor dá lugar a um ensino centrado no aluno.

#### SAIBA MAIS SOBRE

##### A TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

AUSUBEL, D. P. **Psicologia educativa: um ponto de vista cognoscitivo**. México: Trillas, 1976. 769 p.

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva**. Lisboa: Paralelo, 2003. 243 p.

MOREIRA, M. A. **A teoria da aprendizagem significativa e suas implementação em sala de aula**. Brasília: Editora UnB. 2006. 186 p.

MOREIRA, M. A.; MASSINI, E. F. A. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Moraes, 1982. 112 p.

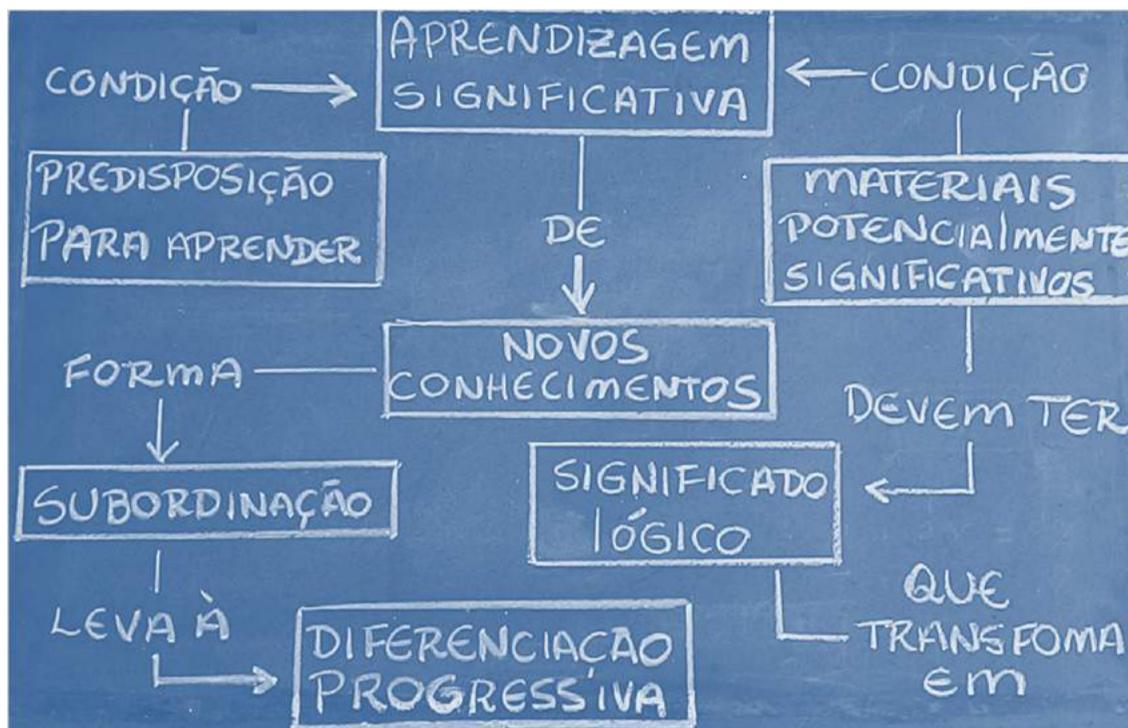
##### UNIDADES DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS

MOREIRA, M. A. **Unidades de Ensino Potencialmente Significativas – UEPS. Aprendizagem Significativa em Revista**. v. 1, n. 2, p. 43 – 63. 2011.

## #03 CAPÍTULO

### APLICAÇÃO DA UEPS

A presente UEPS tem a finalidade de facilitar a aquisição de significados de conceitos básicos da teoria da relatividade restrita e pode ser utilizada por professores de ensino médio e superior para tratarem o assunto de uma maneira diferenciada, utilizando ferramentas educacionais motivadoras.



### ATIVIDADE INICIAL

A atividade inicial tem como finalidade apresentar a UEPS e os métodos de avaliação para os alunos, pois é necessário que as etapas e atividades a serem desenvolvidas durante a aplicação da UEPS devam ser conhecidas pelos alunos. Esta etapa consiste basicamente em realizar o levantamento do conhecimento prévio dos alunos por meio de questões e a construção de um mapa conceitual.

Sugerimos que cada aluno corte uma folha de caderno ou sulfite em quatro partes. Sugerimos também que após o professor enunciar a questão seja disponibilizado um tempo para que os alunos respondam e logo em seguida o professor já recolha as respostas antes de enunciar a próxima questão. Isso minimiza as cópias e fornece resultados mais precisos sobre os conhecimentos prévios dos alunos, uma vez que os alunos responderam de acordo com os seus próprios conhecimentos. Os alunos devem responder individualmente as questões apresentadas abaixo:

**Questão 1:** Você já ouviu falar sobre Einstein?

**Questão 2:** Você já ouviu falar ou leu algo sobre a teoria da relatividade?

**Questão 3:** O que você entende por espaço e tempo?

**Questão 4:** Por que a teoria desenvolvida por Einstein ficou conhecida por “teoria da relatividade restrita”?

Em seguida o professor deve entregar o tutorial sobre a construção de mapas conceituais para os alunos e trabalhar os conceitos e ideias mais relevantes da construção dos mapas em uma aula expositiva de aproximadamente 50 minutos. O presente tutorial se encontra ao final deste livro. Sugerimos que o professor construa pelo menos um mapa conceitual junto aos alunos para que sirva de exemplo e os alunos participem do processo de construção.

Contudo, achamos mais adequado que o mapa conceitual construído de forma colaborativa e que servirá de exemplo não seja sobre o tema relatividade restrita. Esta estratégia possui duas finalidades. Primeiramente, o mapa construído pelo professor pode servir de modelo para possíveis cópias, prejudicando o processo de levantamento de conhecimento prévio dos alunos. Em segundo, seria interessante que os alunos tivessem um bom conhecimento do assunto que servirá de tema para o mapa que será construído, pois desta forma os alunos serão capazes de articular com mais facilidade os conceitos e ideias pertencentes ao assunto. Caso os alunos já estejam acostumados com a construção de mapas conceituais, esta aula poderá ser suprimida da atividade inicial, uma vez que a única finalidade é instruir os alunos quanto à construção de mapas conceituais.

Após o professor trabalhar a construção de mapas conceituais com os alunos, deve-se solicitar que os alunos construam um mapa conceitual sobre os assuntos tratados até o momento sobre a teoria da relatividade restrita. Entregar para os alunos o texto “*Uma breve história da teoria da relatividade restrita*” que também se encontra no final deste livro. O texto serve como leitura introdutória ao tema e colabora fornecendo uma visão mais geral e

abrangente da teoria e dos conceitos e ideias que serão trabalhadas ao longo da UEPs.

O professor deve fazer uma breve consideração sobre o termo “restrita”, mencionando a teoria da relatividade geral que este ano completa 100 anos. Solicitar que os alunos realizem como tarefa de casa uma pesquisa sobre a teoria da relatividade geral, produzindo um texto (resenha) sobre o material encontrado em sites, periódicos impressos ou online, livros, artigos de divulgação científica, enciclopédias virtuais etc.

## SITUAÇÃO-PROBLEMA INICIAL

Devolutiva dos mapas conceituais analisados e corrigidos pelo professor. Nesta etapa os alunos devem se reunir para jogarem o game *A SLOWER SPEED OF LIGHT*. O professor pode formar duplas, trios e até mesmo quartetos. O número de alunos a serem agrupados dependerá dos recursos computacionais que o professor terá à sua disposição. Na aplicação desta UEPs pelo autor, os alunos foram separados em grupos de três alunos. Contudo, deixamos livre para que o professor que irá aplicar a presente UEPs se sinta à vontade para estabelecer como será a organização dos grupos e a duração da atividade. Como sugestão, aconselhamos que os alunos sejam agrupados em duplas e disponham de uma aula para realizar a atividade.

Em princípio o professor deve dispor de um tempo para que os alunos tenham um primeiro contato com o jogo e aprendam os comandos. A partir do momento em que os alunos estiverem familiarizados com o jogo, o professor deve propor alguns questionamentos para os alunos. À medida que os alunos jogam, serão entrevistados pelo professor com o intuito de avaliar quais são os conceitos e ideias que os alunos estão construindo sobre os efeitos relativísticos presentes no game. Os alunos devem responder a algumas questões enquanto eles jogam. As questões apresentadas a seguir foram utilizadas pelo autor enquanto aplicava a presente UEPs, porém ressaltamos que o professor que desejar aplicar a UEPs pode suprimir ou até mesmo acrescentar mais questões nesta etapa. Cabe ao professor adequar o questionário de acordo com o seu objetivo educacional.

**Questão 5:** A velocidade da luz possui um valor máximo?

**Questão 6:** Por que quando nos movimentamos no cotidiano não percebemos os mesmos efeitos observados no jogo?

**Questão 7:** Quando quase todas as orbs foram coletadas, o que podemos visualizar quando o personagem se movimenta?

**Questão 8:** O que visualizaríamos quando coletamos todas as orbs?

**Questão 9:** O que enxergaríamos se pudéssemos viajar com a mesma velocidade de um raio de luz? (destacar que esta foi uma pergunta feita pelo próprio Einstein – Paradoxo de Aarau)

As respostas devem ser analisadas pelo professor para verificar quais os conceitos e ideias os alunos construíram durante a interação com o game.

## SITUAÇÃO-PROBLEMA DE APROFUNDAMENTO

Depois de analisadas e avaliadas as respostas dadas pelos alunos enquanto eles jogavam o game *A SLOWER SPEED OF LIGHT*, o professor deve propor para os alunos que eles trabalhem com três animações que tratam de fenômenos relativísticos: contração do comprimento, relógio de luz e simultaneidade de eventos relativísticos, disponíveis em: <http://profimaradigital.pbworks.com/w/page/35211631/programas>, nos itens 3, 15 e 16 da seção de geografia. O professor deve disponibilizar duas aulas para que os alunos trabalhem com as animações e busquem explicações para os fenômenos observados no game utilizado. O professor deve atuar como mediador das discussões que os alunos virão a ter enquanto fazem uso das animações citadas. O professor deve encorajar os alunos a compartilharem seus conhecimentos. Uma oportunidade para isto é pedir aos alunos que deduzam a expressão para a dilatação temporal a partir dos dados fornecidos na animação o “relógio de luz”. No momento em que o professor julgar mais adequado, pode propor que os alunos

assistam ao vídeo sobre o “paradoxo dos gêmeos”, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Jw6McOwxfXs>, e em seguida respondam a seguinte questão:

**Questão 10:** Por que o tempo passou mais devagar para Bert?

Utilizando os conhecimentos adquiridos durante a interação com o game e utilizando as animações, juntamente com o conhecimento compartilhado pelos colegas, os alunos devem propor uma explicação para o fenômeno apresentado no paradoxo. Ao final destas atividades o professor deverá sugerir uma aula dialogada em que os alunos, por meio da mediação do professor, devem discutir quais os fenômenos relativísticos que mais chamaram a atenção, assim como as suas explicações. Esta aula servirá como uma reconciliação integradora dos conceitos mais específicos em relação aos conceitos mais abrangentes da UEPS, que seriam a dilatação temporal, a contração do comprimento, a invariabilidade da velocidade da luz e o **efeito terrell**.

## AVALIAÇÃO INDIVIDUAL

Pode ser constituída de questões abertas, testes e a construção de mapas conceituais envolvendo os conceitos mais abrangentes da UEPS, como a dilatação temporal, contração do comprimento, invariabilidade da velocidade da luz e **efeito terrell**. As questões utilizadas na avaliação aplicada pelo autor serão apresentadas a seguir. Ressaltamos novamente que estas questões foram utilizadas para cumprir com os objetivos do trabalho. O professor que aplicará a presente UEPS poderá fazer alterações de acordo com os seus objetivos educacionais.

**Questão 1:** Explique, com suas palavras, de forma detalhada, o que você entendeu do fenômeno da simultaneidade de eventos relativísticos.

**Questão 2:** A dilatação temporal foi um dos fenômenos relativísticos estudados durante as aulas. Desta forma, responda:

- O que é necessário para que este fenômeno aconteça?
- Explique por meio da escrita e

desenhos o que acontece neste fenômeno.

**Questão 3:** Explique com suas palavras, de forma detalhada, como acontece o fenômeno da contração do comprimento de objetos relativísticos.

**Questão 4:** Escolha dois fenômenos relativísticos que você tenha percebido enquanto jogava o game *A SLOWER SPEED OF LIGHT* e explique de forma detalhada como e porque eles ocorrem.

**Questão 5:** Construa um mapa conceitual abordando tudo o que foi discutido durante as nossas aulas sobre a teoria da relatividade restrita.

A partir das dez questões trabalhadas ao longo da UEPS, da construção do mapa conceitual inicial e da avaliação individual, o professor pode buscar por evidências de uma evolução conceitual. Como a aprendizagem significativa é um processo gradativo, não é interessante que o professor se concentre apenas em comportamentos finais, mas que considere todo o processo de aprendizagem e de evolução conceitual dos alunos.

## **AVALIAÇÃO DA UEPS**

Depois de duas ou três semanas do final da aplicação da UEPS, o professor deve escolher de forma aleatória alguns alunos, aproximadamente 25% da turma, para que estes respondam algumas questões sobre a aplicação da UEPS. O questionário tem como finalidade saber a opinião dos alunos em relação às atividades desenvolvidas durante a aplicação da UEPS e obter informações sobre a forma como o assunto foi trabalhado durante as aulas. As respostas dos alunos auxiliam o professor quanto à avaliação da UEPS e fornece dados importantes que podem ser utilizados para realizar as reformulações posteriores da UEPS, cumprindo com o objetivo de adequar ao máximo a unidade de ensino à realidade dos alunos e do professor e alcançando os objetivos educacionais almejados pelo docente que aplicá-la. O questionário aplicado ao final da UEPS se encontra no capítulo 4 deste livro.

## #04 CAPÍTULO

### MATERIAIS INSTITUCIONAIS

Neste capítulo apresentaremos os materiais instrucionais utilizados durante a aplicação da UEPS. Trata-se de sugestões que o professor optará por utilizar ou não.



### UMA BREVE HISTÓRIA DA TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA

Neste ano comemora-se o centenário de uma das teorias mais importantes da física, a teoria da relatividade geral, proposta pelo físico alemão Albert Einstein (1879 - 1955). Porém, o legado de Einstein começa dez anos antes de 1915, quando ele escreve uma série de cinco artigos, publicados em 1905 no conceituado *Annalen der Physik* (o periódico de física mais conceituado da Alemanha). Dois dos artigos publicados em 1905, o *ANNUS MIRABILIS* (ano miraculoso) de Einstein, tratavam da teoria da relatividade restrita que serviu de base para que mais tarde fosse proposta a teoria da relatividade geral.

Costumeiramente atribui-se a criação da teoria da relatividade restrita a Albert Einstein. Contudo, antes de Einstein, cientistas como Hendrik Antonn Lorentz (1853 - 1928) e Jules Henri Poincaré (1854 - 1912), dentre outros pesquisadores, já haviam obtido resultados importantes para o desenvolvimento da eletrodinâmica dos corpos em movimento que buscava aplicar a bem sucedida eletrodinâmica de Maxwell a corpos em movimento e, em especial, obter resultados para a dinâmica do elétron, descoberto ao final do século XIX. Este desenvolvimento levou à criação da teoria da relatividade.

Um dos propósitos deste texto é destacar que, apesar de Einstein ter criado uma teoria consistente da eletrodinâmica aplicada a corpos em movimento, isto é, conjugando o eletromagnetismo de Maxwell e a mecânica Newtoniana, houve contribuições importantes de cientistas que antecederam Einstein e que iniciaram os estudos neste ramo da física.

Outro ponto que merece destaque é a ideia de que na física, assim como em qualquer outro ramo da ciência, não existem expoentes intelectuais capazes de desenvolver uma teoria onde não resta mais nenhum problema significativo a ser resolvido. Galileu, Newton e o próprio Einstein fizeram contribuições relevantes para o desenvolvimento dos conceitos físicos e ajudaram a estruturar esta ciência como a conhecemos hoje, porém houve também inúmeras contribuições ao longo dos séculos, feitas por pessoas que hoje ao menos se sabe o nome e que ajudaram a construir a física como conhecemos atualmente.

O entendimento do trabalho desenvolvido por Galileu em relação à relatividade do movimento é muito importante para a compreensão da teoria da relatividade restrita proposta por Einstein mais de três séculos depois. Foi Galileu quem mostrou que a trajetória descrita por um corpo em movimento depende do referencial adotado, ou seja, a trajetória pode variar de acordo com o referencial do qual o observador faz parte.

Quase três séculos após Galileu ter formulado uma série de equações que hoje são conhecidas como "*Transformações Galileanas*", um importante experimento foi desenvolvido com o intuito de medir a velocidade da luz em relação ao éter (meio material com características distintas pelo qual a luz se propagava). Este experimento foi realizado pelos físicos Albert Michelson (1852 – 1931) em 1881, e em 1887 por Michelson e Edward Morley (1838 – 1923), utilizando um instrumento denominado de interferômetro que ficou conhecido como o "*Interferômetro de Michelson-Morley*" e constitui uma parte importante da história do desenvolvimento da teoria da relatividade restrita.

Como mencionado anteriormente, Lorentz

e Poincaré contribuíram com importantes avanços na teoria da relatividade restrita na tentativa de explicarem os resultados de Michelson e Morley; inferiram que a matéria constituinte dos corpos poderia sofrer uma contração longitudinal na direção do deslocamento do corpo em relação ao éter. Para Lorentz (1892) e Fitzgerald a contração ocorrida em objetos relativísticos era interpretada como resultado de uma mudança na estrutura que compunha a matéria constituinte do objeto em questão. Esta modificação na estrutura seria em decorrência da interação das moléculas do objeto com o até então considerado "éter luminífero". O trabalho de Lorentz resultou em uma série de equações que hoje são conhecidas como "Transformações de Lorentz".

Desta forma, em 1905, ano em que Einstein publicou seu artigo, já se havia obtido resultados importantes no campo da relatividade. Dentre tais, pode-se citar: a) o princípio da relatividade; b) as transformações de Lorentz para o espaço e tempo; c) as transformações das grandezas eletromagnéticas; d) a maior parte da mecânica relativística. Estes resultados apresentados acima são fruto de muito trabalho e da colaboração de muitos estudiosos e pesquisadores, que ao longo dos anos foram construindo este ramo da física de forma gradual. Einstein utilizou dois princípios: o princípio da relatividade e o princípio da invariância da velocidade da luz.

O princípio da relatividade: prevê que as leis que governam as mudanças de estado em quaisquer sistemas físicos tomam a mesma forma em quaisquer sistemas de coordenadas inerciais. Se  $S$  é um sistema de inercial, qualquer outro sistema  $S'$  em movimento de translação uniforme relativamente a  $S$  é também um sistema de inercial.

Quanto ao princípio da invariância da velocidade da luz, prevê que a luz tem velocidade invariante igual a  $c$  em relação a qualquer sistema de coordenadas inercial. A velocidade da luz no vácuo é a mesma para todos os observadores em referenciais inerciais e não dependem da velocidade da fonte que está emitindo a luz, tampouco do observador que está medindo. A luz não requer qualquer

meio (como o éter) para se propagar. De fato, a existência do éter é mesmo contraditória com o conjunto dos fatos e com as leis da mecânica.

Nenhum dos dois princípios foram criados por Einstein. O princípio da relatividade foi proposto por Poincaré, inclusive com este mesmo nome. O princípio da invariância da velocidade da luz tem origem da suposição de que o éter era o meio pelo qual a luz se propagava. Como apresentado, os físicos predecessores de Einstein já conheciam estes princípios, bem como eram aceitos pela comunidade científica da época. A contribuição de Einstein foi propor que estes dois princípios deveriam ser tomados como postulados, ou seja, todas as deduções se apresentariam muito mais simples se estes princípios fossem considerados como a base da teoria na qual todo o resto está apoiado.

A teoria proposta por Lorentz era muito complexa. Desta forma, a abordagem feita por Einstein permitia uma menor elucubração para a compreensão dos conceitos envolvidos na teoria. Assim, a teoria proposta por Einstein ficou muito conhecida e hoje é considerada como uma das teorias mais famosas da história da física.

## CONSTRUINDO UM MAPA CONCEITUAL

Um mapa conceitual pode ser considerado um diagrama que evidencia a relação entre os conceitos apresentados em um determinado conteúdo, assunto, seção, capítulo, disciplina, entre outros. Os diagramas que são caracterizados como mapas conceituais devem seguir alguns princípios, dentre eles está a questão de que um mapa conceitual necessita ter seus elementos organizados de maneira hierárquica, refletindo a organização conceitual da disciplina ou tema escolhido para a sua construção, ou seja, a estrutura hierárquica do mapa conceitual dependerá da estrutura conceitual do assunto abordado na sua construção.

Um mapa conceitual pode ter uma, duas ou até mesmo três dimensões. Mapas com apenas uma dimensão podem ser considerados como listas de conceitos e são organizados na dimensão vertical. Este tipo de organização

não consegue expressar de maneira satisfatória as relações existentes entre os conceitos de um conteúdo. Os mapas construídos em duas dimensões já são mais elaborados e conseguem apresentar um número maior de conexões entre os conceitos presentes no conteúdo. Assim, quanto maior for o número de dimensões no mapa conceitual, melhor serão as possibilidades de representação das relações entre os conceitos. Mapas conceituais superiores a duas dimensões já seriam abstrações, não sendo mais representações concretas, o que dificultaria sua construção e fugiria ao propósito de fins instrucionais.

Desta forma, os mapas conceituais construídos serão diagramas conceituais bidimensionais mostrando as relações hierárquicas entre os conceitos e ideias do conteúdo a ser estudado. Contudo, vale ressaltar que não existe apenas uma maneira de organizar um mapa conceitual para um determinado conteúdo, ou seja, existem várias maneiras de traçar um mapa conceitual. Assim, é necessário se ter em mente que quando se constrói um mapa conceitual a organização adotada é apenas uma dentre as possíveis representações dos conceitos utilizados no mapa conceitual.

A **figura 5** representa um modelo simplificado de mapa conceitual, construído com base no princípio da diferenciação progressiva presente na teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel. Neste modelo os conceitos mais gerais e abrangentes aparecem no todo do mapa conceitual.

Conforme se percorre o mapa na direção

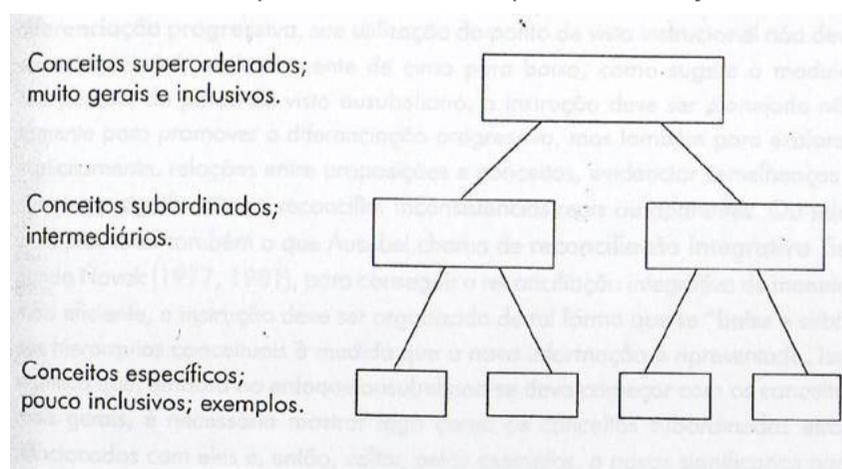


Figura 5: Um modelo para mapeamento conceitual segundo a teoria de Ausubel. Fonte: MOREIRA, 2006, p.47.

vertical descendente, estão os conceitos menos inclusivos, prosseguindo desta forma para conceitos e ideias cada vez menos abrangentes até que se chegue aos conceitos e ideias mais específicos. Exemplos também podem ocupar esta posição nos mapas conceituais. Conceitos e ideias com o mesmo nível de abrangência e inclusão devem aparecer na mesma linha horizontal do mapa conceitual.

As conexões entre os conceitos devem ser feitas por meio de linhas e podem ser rotuladas por um verbo ou frase que esclareça e identifique a relação entre os

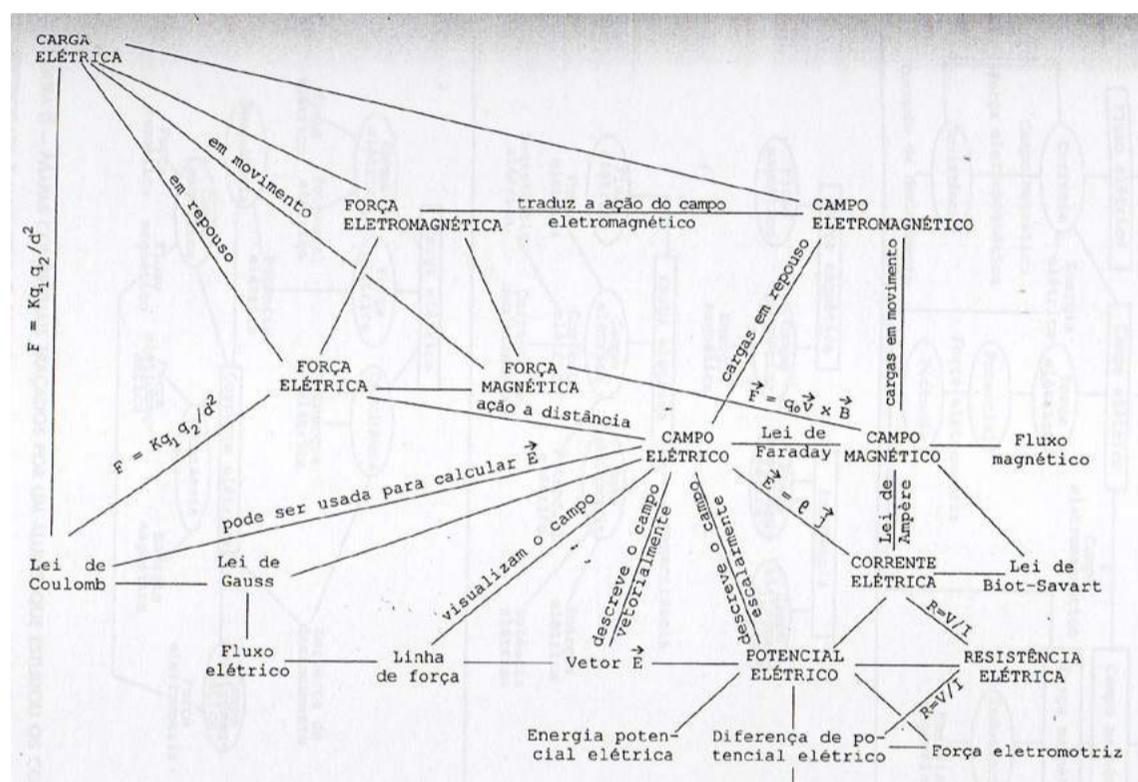


Figura 6: Mapa conceitual do conteúdo de eletromagnetismo hierarquicamente organizado: os conceitos superordenados (mais gerais e abrangentes) estão no centro do mapa enquanto que os conceitos subordinados (mais específicos) estão nas periferias. Fonte: MOREIRA, 2006, p. 57

conceitos conectados. Não que estas frases ligando os conceitos sejam obrigatórias, mas elas facilitam a compreensão das relações existentes entre os conceitos. Na figura 6, está representado um modelo de mapa conceitual para o conteúdo de eletromagnetismo, em que as linhas que estabelecem as relações entre os conceitos estão rotuladas com frases e expressões matemáticas que conectam conceitualmente os conceitos. Nota-se que um conceito pode estar ligado a mais de um conceito ou ideia.

Observe que o mapa conceitual não está construído com a mesma estrutura sugerida na figura 5. Isto se deve ao fato de que não existe uma regra geral para a construção de um mapa conceitual. No caso do mapa representado na figura 6, o conceito mais abrangente se encontra no centro do mapa (campo elétrico) e à medida que se percorre o mapa em sentido à periferia, encontram-se os conceitos menos abrangentes e exemplos.

Mapas conceituais também são ferramentas capazes de expressar com razoável precisão a estrutura cognitiva dos alunos. É por meio de um mapa conceitual que é possível

averiguar quais subsunçores estão presentes na estrutura cognitiva dos alunos, assim como avaliar quão diferenciado estão estes subsunçores.

Cada um dos conceitos e ideias representados no mapa conceitual pode ser considerado um subsunçor. A quantidade de conexões que o aluno realizar com este subsunçor irá revelar o quanto ele está diferenciado na sua estrutura cognitiva, ou seja, quanto maior for o número de conexões, mais diferenciado estará o subsunçor em questão na estrutura cognitiva

do aluno. Desta forma, o professor poderá ter boas evidências do conhecimento prévio dos alunos, assim como obter informações com razoável precisão de como a estrutura cognitiva do aluno está organizada.

Vale ressaltar que a estrutura cognitiva do aluno também é organizada de maneira hierárquica. Assim, a forma hierárquica que um aluno constrói um mapa conceitual será com bom grau de aproximação a mesma hierarquia presente em sua estrutura cognitiva. Com isso, os conceitos e ideias que ocupam um grau maior de hierarquia no mapa conceitual construído pelo aluno possivelmente ocupará a mesma posição hierárquica na estrutura cognitiva deste aluno.

## QUESTIONÁRIO PÓS-APLICAÇÃO DA UEPS

**Questão 1:** Você acha que o game *A SLOWER SPEED OF LIGHT* ajudou na compreensão dos conceitos tratados durante as aulas sobre relatividade restrita?

- Sim, ajudou bastante
- Sim, ajudou
- Foi indiferente
- Não, atrapalhou
- Não, atrapalhou bastante

**Questão 2:** Dos assuntos abordados nas aulas sobre relatividade restrita, marque com um "D" o que teve mais dificuldade em compreender e marque com "F" o que teve mais facilidade de compreensão.

- Dilatação temporal
- Contração do espaço
- Simultaneidade de eventos relativísticos
- Efeito de aberração relativística (deformação dos objetos em movimento relativístico)
- Invariabilidade da velocidade da luz
- Efeito holofote

**Questão 3:** Os applets sobre contração do espaço, dilatação temporal e simultaneidade ajudaram na compreensão dos conceitos tratados durante as aulas?

- Sim, ajudou bastante
- Sim, ajudou
- Foi indiferente
- Não, atrapalhou
- Não, atrapalhou bastante

**Questão 4:** Você acha que os conteúdos aprendidos durante as aulas de relatividade restrita foram importantes para a sua formação quanto aluno?

- Sim, foi muito importante
- Sim, foi um pouco importante
- Não foi importante

**Questão 5:** Você gostaria de aprofundar seus conhecimentos sobre a teoria da relatividade restrita para melhor compreendê-la?

- Sim
- Não

**Questão 6:** Você acha que a forma como as atividades foram apresentadas e trabalhadas (metodologia) facilitou a compreensão dos conteúdos sobre relatividade restrita?

- Sim, facilitou bastante
- Sim, facilitou
- Foi indiferente
- Não, atrapalhou
- Não, atrapalhou bastante

**Questão 7:** Deixe aqui alguma sugestão ou comentário sobre as aulas de relatividade restrita.

Universidade Federal de São Carlos  
Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF)

Orientação: Nelson Studart Filho

APOIO:



ISBN: 978-85- 922048-0- 8

**MNPEF**  
Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física

