



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA E CIENTÍFICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DOCÊNCIA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS E
MATEMÁTICAS

DANIEL MARQUES DA SILVA COSTA

CIÊNCIA ANIMADA: introdução ao estudo da Óptica

Belém-PA

2021

DANIEL MARQUES DA SILVA COSTA

CIÊNCIA ANIMADA: introdução ao estudo da Óptica

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Docência em Educação em Ciências e Matemáticas-IEMCI/UFPA como parte do requisito ao título de Mestre em Docência em Educação em Ciências e Matemáticas.

Área de concentração: Ensino, Aprendizagem e Formação de Professores de Ciências e Matemática.

Linha de Pesquisa: Ensino e Aprendizagem de Ciências e Matemática para a Educação Cidadã.

Orientador: Prof. Dr. Danilo Teixeira Alves

Coorientador: Prof. Dr. Silvio Carlos Ferreira Pereira Filho.

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

C837c Costa, Daniel Marques da Silva.
Ciência animada : introdução ao estudo da Óptica / Daniel
Marques da Silva Costa. — 2021.
x, 37 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Danilo Teixeira Alves
Coorientador(a): Prof. Dr. Silvio Carlos Ferreira Pereira Filho
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Educação Matemática e Científica, Programa de Pós-
Graduação em Docência em Educação em Ciências e Matemáticas,
Belém, 2021.

1. Física. 2. Óptica física. 3. Aprendizagem centrada no
aluno . I. Título.

CDD 372.35044

DANIEL MARQUES DA SILVA COSTA

CIÊNCIA ANIMADA: introdução ao estudo da Óptica

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Docência em Educação em Ciências e Matemáticas-IEMCI/UFPA como parte do requisito ao título de Mestre em Docência em Educação em Ciências e Matemáticas.

Área de concentração: Ensino, Aprendizagem e Formação de Professores de Ciências e Matemática.

Linha de Pesquisa: Ensino e Aprendizagem de Ciências e Matemática para a Educação Cidadã.

DATA DA AVALIAÇÃO: ____/____/____

CONCEITO: _____

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Danilo Teixeira Alves
(Orientador – PPGDOC - IEMCI - UFPA)

(Coorientador – FACIN - CUMB - UFPA)

Prof. Dr. Erasmo Borges de Souza Filho

Prof^a. Dr^a. Alessandra Nascimento Braga
(Membro Externo – FBIO - IECOS – UFPA)

Prof. Dr. Nelson Pinheiro Coelho de Souza

Prof^a. Ma. Aline Nascimento Braga
(Membro Convidado - PPGECEM - IEMCI - UFPA)

Em memória das minhas amadas avó Neide e
irmã Sarah, e do meu querido pai Amaurildo.
Obrigado por tudo que me ensinaram durante as
suas vidas.

AGRADECIMENTOS

Esta dissertação foi escrita durante a pandemia do COVID-19, e por isso os agradecimentos estão permeados de contribuições que podem parecer, a olhos leigos, irrelevantes à finalização de um mestrado. Entretanto, durante este período fui contaminado duas vezes pelo SARS-CoV-2, fiquei desempregado, perdi três parentes próximos, alguns amigos e incontáveis colegas de profissão. Portanto, o esforço esperado para a elaboração de um trabalho da magnitude de uma dissertação de mestrado se somou a percalços que só conseguiram ser suplantados pela ajuda e amparo de vários familiares e amigos, que sacrificaram seu dinheiro, tempo, conselhos e compartilharam sofrimentos. Desta forma, sem as pessoas citadas a seguir, teria sido impossível escrever esta obra.

A minha amada avó Neide da Silva (in memoriam) pela sua incansável dedicação pela minha educação e formação como pessoa, além de ter sido sempre quem me protegeu durante todas as tempestades pelo qual passei na vida.

A minha irmã caçula Sarah Costa (in memoriam), que me ensinou a persistir em caminhos difíceis, e a sorrir mesmo em dias tristes. Sempre foi minha parceira na causa animal e estava sempre olhando o lado bom das pessoas. Eu pensei que eu te fazia rir, mas depois descobri que era você quem cultivava minha alegria.

Ao meu pai Amaurildo Costa (in memoriam), que travou muitas batalhas interiores e exteriores, e que como minha irmã, sempre se erguia para um novo dia. Se hoje sou professor de Física, é por que meu pai também o era.

A minha esposa Andréia Costa que é minha parceira de vida, e sempre está ao meu lado em momentos bons ou ruins, e não poupa esforços em manter nossa família unida.

A minha mãe Leila Costa que sempre foi o sustentáculo da nossa família e é uma das pessoas mais corajosas que já conheci, por ter sido capaz de guiar meu pai e minha irmã Sarah ao longo de suas batalhas, além de amparar a mim e minha irmã Camila.

A minha tia Lilian da Silva, a pessoa que tenho certeza de que me amou como mãe mesmo não sendo, que cuidou de mim mesmo sem precisar, e que luta para que eu trilhe os melhores caminhos até hoje. Você é a pessoa que mais admiro como ser humano!

A minha irmã Camila Costa, dona de poucos sorrisos públicos, mas de um coração enorme. Tenho infinita admiração pela pessoa que se tornou e tenho certeza de que carregaremos este sentimento fraternal e o cuidado mútuo até os últimos momentos de nossas vidas.

As tias Amarildes, Amarilda, e ao primo Flávio, meu eterno agradecimento pelo cuidado e amparo nesta época tão difícil para todos nós.

Ao meu avô Josué da Silva, meu filho Danilo Costa e a Mila Costa, e as minhas tias Amariles Costa e Amarilze Costa (in memoriam), e ao meu tio Brasilino Assaid.

Ao amigo e orientador Prof. Dr. Danilo Teixeira Alves, que me ouviu em horas difíceis e que foi diretamente responsável por não me deixar desistir do mestrado. Nunca terei palavras que possam demonstrar minha admiração e gratidão pelo apoio.

Ao coorientador Prof. Dr. Silvio Carlos Ferreira Pereira Filho, que junto ao orientador sempre estava disposto a me ajudar, a corrigir e lapidar as ideias que culminaram com a produção do produto educacional e da dissertação.

A psicóloga que mais admiro Tarita Almirão, que mesmo estando no Mato Grosso do Sul, se propôs a ler, revisar e fazer críticas deveras construtivas a esta obra.

Ao Prof. Dr. Nelson Pinheiro Coelho de Souza, pela disponibilidade e incontáveis conversas, e compartilhamento de ideias sobre Teoria Cognitiva da Aprendizagem Multimídia e Teoria da Carga Cognitiva.

Ao Prof. Dr. Erasmo, a Prof^a. Dr^a. Alessandra Braga por todas as críticas construtivas durante a qualificação, a Prof^a. Ma. Aline Braga pelas sugestões durante as nossas reuniões virtuais.

A todos os professores do IEMCI, que contribuíram com suas aulas, discussões e orientações ao longo do Programa de Pós-Graduação em Docência do Ensino de Ciências e Matemáticas, em especial a Dr^a. France Fraiha Martins (PPGDOC-UFPA).

À Secretaria do PPGDOC-UFPA, na pessoa de Naldo Sanches e equipe, os meus sinceros agradecimentos, pela preciosa atenção.

A todos os colegas da turma de 2018 do PPGDOC-UFPA, pelos momentos de debates e trocas de conhecimentos.

Por fim, com o intuito de evitar quaisquer omissões, gostaria de deixar os meus agradecimentos àqueles que, de uma forma ou de outra me ajudaram na finalização do mestrado.

“O filme está destinado a revolucionar nosso sistema educacional e que em poucos anos ele vai suplantar em grande parte, se não inteiramente, o uso de livros didáticos”

(Thomas Edison)

RESUMO

O uso de materiais instrucionais na educação, quando baseados em princípios científicos do funcionamento cognitivo humano, podem favorecer a aprendizagem. A Teoria Cognitiva da Aprendizagem Multimídia (TCAM) é baseada em evidências e objetiva o desenvolvimento de princípios que orientem a elaboração de materiais instrucionais mais eficientes. Este estudo mostra o processo de criação de animações educacionais e um livro paradidático, que foram elaborados com base nos princípios da TCAM, e compõem o produto educacional *Ciência Animada: introdução ao estudo da Óptica*. Ambos abordam o tema Introdução à Óptica e são direcionados a alunos de Ciências do Ensino Fundamental e do Ensino Médio que não possuam expertise no tema. Espera-se que os materiais propiciem aos alunos iniciantes no Estudo da Física, melhor compreensão acerca do tema abordado.

Palavras-chave: Física; óptica; Teoria Cognitiva da Aprendizagem Multimídia; mídias educacionais; animações.

ABSTRACT

The use of instructional materials in education, when based on scientific principles of functioning of human cognition, can improve learning. The Cognitive Theory of Multimedia Learning (CTML) is evidence-based and aims to develop principles to guide the development of more efficient instructional materials. This study shows the process of creating educational animations and a textbook, which were prepared based on the principles of CTML, and comprise the educational product *Animated Science: an introduction to the study of Optics*. Both address the topic of Introduction to Optics, and are aimed at Elementary and High School Science students who do not have expertise in the subject. It is expected that the materials provide a better understanding of the topic addressed to students beginning the study of Physics.

Keywords: Physics; optics; Cognitive Theory of Multimedia Learning; instructional media; animations.

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Figura 1 - Representação do processo de aprendizagem de acordo com a Teoria Cognitiva da Aprendizagem Multimídia.....	15
Figura 2: exemplo de instrução multimídia	17
Figura 3 – analogia entre a quantidade de carga cognitiva que um aluno é capaz de reter, com a quantidade de caixas que pode carregar de um lugar para outro.	21
Figura 4 - personagem que representa o físico Isaac Newton	25
Figura 5 - Personagem Isaac Newton, observando somente a cor azul sendo refletida pela mesa.....	26
Figura 6 - representação minimalista do princípio da propagação retilínea da luz, com tal representação de acordo com o princípio da coerência	26
Figura 7 - Representação do princípio da reversibilidade da luz, com o semicírculo vermelho sinalizando o ponto para qual o aluno deve direcionar sua visão.....	28
Figura 8 – Utilização do princípio da contiguidade espacial na cena de uma animação, obtido ao aproximar cada símbolo e número da sua respectiva reta de medida.	28
Figura 8 - Localização do link que dá acesso ao livro através do canal do YouTube, quando acessado através de telas grandes	29
Figura 9 - Utilização do princípio da segmentação e da contiguidade espacial, no livro paradidático, para ilustrar o fenômeno da reflexão.	31
Figura 10 - Utilização do princípio da sinalização, obtido ao destacar as palavras, e sinalizar as imagens referidas por elas	32
Figura 11 - Utilização do princípio da personalização no livro didático.....	33

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	A TEORIA COGNITIVA DA APRENDIZAGEM MULTIMÍDIA.....	13
2.1	Os Pressupostos da TCAM	13
2.2	Prática Baseada em Evidências	14
2.3	Os Tipos de Processamentos Cognitivos.....	16
2.4	Princípios Para Reduzir o Processamento Cognitivo Estranho.....	17
2.5	Princípios Para Gerenciar o Processamento Cognitivo Essencial.....	17
2.6	Princípios Para Promover o Processamento Cognitivo Generativo.....	18
3	CIÊNCIA ANIMADA: AS ANIMAÇÕES.....	21
3.1	A Motivação Para Desenvolver As Animações	22
3.2	O Canal Ciência Animada.....	22
3.3	A TCAM Aplicada às Animações.....	23
3.3.1	Princípios para promover o processamento cognitivo generativo, aplicado às animações....	23
3.3.2	Princípios para reduzir o processamento cognitivo estranho, aplicado às animações	25
3.3.3	Princípios para gerenciar o processamento cognitivo essencial, aplicado às animações.....	28
4	CIÊNCIA ANIMADA: O LIVRO	30
4.1	A TCAM Aplicada ao Livro	30
4.1.1	Princípios para gerenciar o processamento cognitivo essencial, aplicado ao livro paradidático.....	30
4.1.2	Princípios para reduzir o processamento cognitivo estranho, aplicado ao livro paradidático.	31
4.1.3	Princípios para promover o processamento cognitivo generativo, aplicado ao livro paradidático.....	32
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS	34
	REFERÊNCIAS	36
	APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL	37

1 INTRODUÇÃO

Segundo Tversky, Morrisin, Betrancourt (2002) uma animação computacional é um aplicativo que gera uma série de quadros onde cada um deles promove alteração do quadro prévio e a sequência de quadros é determinada pelo usuário ou pelo desenvolvedor. As animações computacionais são importantes ferramentas de ensino, pois, além de serem capazes de demonstrar um fenômeno de forma não estática, podem ilustrar fenômenos físicos muito complexos, perigosos, inacessíveis, ou até mesmo muito caros para serem reproduzidos. Além disso, com o desenvolvimento da Web 2.0¹ e a ampliação do acesso mundial à internet, as animações computacionais voltadas para educação ganharam maior visibilidade, podendo ser acessadas diretamente pelos alunos através de sites como o YouTube, sem que necessariamente tenham sido desenvolvidas por um profissional da área de educação ou guiadas por práticas centradas no aprendizado humano.

Dentre as teorias que se propõe a direcionar o desenvolvimento de mídias educacionais baseadas no processo cognitivo humano, destacamos a Teoria Cognitiva da Aprendizagem Multimídia (TCAM). Essa é uma teoria baseada em evidências que investiga princípios experimentais da aprendizagem.

A TCAM utiliza o modelo de memória de trabalho de Baddeley (BADDELEY; ANDERSON; EYSENCK, 2011), que demonstra que a aprendizagem em humanos se dá por dois canais de processamento de informação, o visual/pictórico e o auditivo/verbal, sendo que esses sistemas manipulam um número limitado de conteúdos simultaneamente. Nesse sentido, a aprendizagem ocorre quando o aprendiz se engaja ativamente em uma tarefa, criando uma representação mental do objeto de estudo (MAYER, 2009).

Nesse contexto, com o objetivo de desenvolver conteúdo multimídia de Física, baseado em como o cérebro humano aprende, o autor apresenta como produto educacional um conjunto de animações computacionais que são acompanhadas de um livro paradidático, intitulados de *Ciência Animada: introdução ao estudo da Óptica*, que foram desenvolvidos de acordo com os princípios da TCAM, para o aprendizado de Óptica, e destinados a estudantes do Ensino Fundamental de Ciências Naturais. Além disso, o livro permite que o aluno explore detalhes das animações ao analisar de forma estática cenas importantes, e está conectado às animações por meio de hiperlinks.

¹ Para ANDRADE et al. (2011) Web 2.0 é o uso da internet que se dá de forma que as tecnologias e aplicações são projetadas com o objetivo de realçar a criatividade, a informação compartilhada e, sobretudo, a colaboração entre usuários, de forma que o usuário final passa ao papel de produtor de informação e conhecimento, ao invés de mero consumidor.

Destarte, o presente trabalho está organizado como segue. No segundo capítulo, denominado “A Teoria Cognitiva da Aprendizagem Multimídia”, é feita uma breve revisão/discussão sobre a TCAM, que foi utilizada para embasar a construção das mídias apresentadas no produto educacional. O terceiro capítulo, chamado de “Ciência Animada: as animações” dá enfoque para as animações desenvolvidas para o canal do YouTube *Ciência Animada*, e mostra um pouco da jornada que levou o autor ao desenvolvimento das mesmas. No quarto capítulo, de nome “Ciência Animada: o livro” é tratado o desenvolvimento do livro digital, que foi elaborado a partir das animações apresentadas no capítulo três. No capítulo cinco, denominado “Conclusões e Perspectivas”, é apresentada uma síntese dos principais resultados obtidos durante o desenvolvimento da presente obra e as perspectivas de aprimoramento das futuras versões das animações e do livro paradidático.

2 A TEORIA COGNITIVA DA APRENDIZAGEM MULTIMÍDIA

A TCAM é uma teoria baseada em evidências que utiliza o modelo de memória de trabalho (BADDELEY; ANDERSON; EYSENCK, 2011) para desenvolver princípios de design que servem como guias para o desenvolvimento de instruções multimídias. Mayer (2009) define uma instrução multimídia como “a apresentação de material usando palavras e imagens, com a intenção de promover a aprendizagem”. Neste capítulo serão vistos os princípios da TCAM, bem como os pressupostos no qual ela se embasa para elaborá-los.

2.1 Os Pressupostos da TCAM

Mayer (2009) define o aprendizado como sendo uma mudança no conhecimento do aluno, causado por um ambiente de aprendizagem. A memória está intimamente relacionada a esse processo, tendo em vista que ela participa da codificação, recuperação e armazenamento de informações (IZQUIERDO, 2010) e por isso compreendê-la é fundamental para o desenvolvimento de uma teoria cognitivista². Dessa forma, para desenvolver os princípios relacionados à TCAM, Mayer (2009) se embasa no modelo de memória de trabalho, no qual a memória é constituída por três componentes de memória, que são:

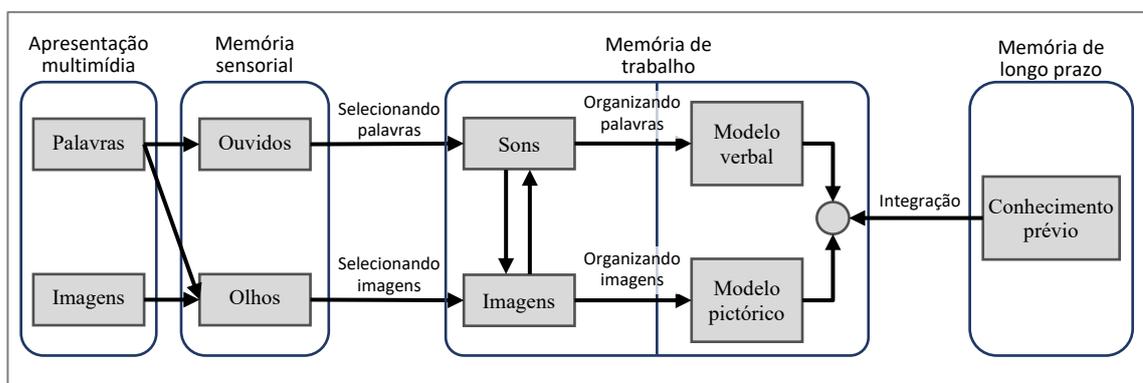
- a) Memória sensorial: é composta por dois tipos de registros diferentes, o visual e o auditivo, e permite que imagens e sons sejam mantidos de forma exata por um período muito curto. Após isso, os estímulos são filtrados através da atenção que o observador consegue dar a cada um deles e repassados à memória de trabalho.
- b) Memória de trabalho (MT): recebe informações da memória sensorial e da memória de longo prazo e tem a capacidade de as processar, armazenar e manipular as informações necessárias para a realização de atividades cognitivas complexas.
- c) Memória de longo prazo: é capaz de guardar quantidades de informações quase ilimitadas, por intervalos de tempo muito extensos (talvez ilimitados).

A TCAM também é baseada em três pressupostos (MAYER, 2009). O primeiro é o do canal dual, que diz que o ser humano possui dois canais independentes de processamento de informações, o visuo/pictórico, e o auditivo/verbal; o segundo é o pressuposto da capacidade limitada, que diz que estes canais só podem manipular um número limitado de informações; e o terceiro é o pressuposto da aprendizagem ativa, que diz que aprendemos quando as informações selecionadas são organizadas em representações mentais coerentes, e integradas com os demais conhecimentos prévios. A Figura 1 mostra:

² A psicologia cognitivista se designa a estudar como as pessoas percebem, aprendem, lembram e pensam nas informações (STERNBERG; STERNBERG, 2017).

- a) o pressuposto do canal dual, representado por duas linhas: uma para o processamento de palavras e outra para o processamento de imagens.
- b) a estrutura da MT, representada pelo retângulo sob o título “Memória de Trabalho”, na qual ocorre a construção do conhecimento.
- c) o pressuposto de processamento ativo, representado pelas setas da figura que simbolizam: seleção, organização e integração, sendo que estes são os processos cognitivos necessários para uma aprendizagem significativa.

Figura 1 - Representação do processo de aprendizagem de acordo com a Teoria Cognitiva da Aprendizagem Multimídia



Fonte: Clark e Mayer (2016), com adaptações e tradução feitas pelo autor do presente trabalho.

2.2 Prática Baseada em Evidências

Conforme dito anteriormente, a TCAM objetiva a elaboração de princípios de design multimídia a partir de pressupostos e de evidências empíricas. De acordo com Mayer (2009) os dois principais objetivos da aprendizagem são lembrar e compreender. A lembrança é a capacidade de reproduzir e reconhecer informações que foram previamente apresentadas e é medida através de testes de retenção, enquanto compreender envolve a construção de modelos mentais que estejam integrados com os conhecimentos prévios e que correspondam à multimídia, sendo mensurada a partir de testes de transferência.

De acordo com Mayer (2021) os testes de retenção envolvem o quanto é lembrado, sendo que os mais comuns são os de recordação, como os testes que solicitam que os alunos escrevam o máximo do que foi apresentado; e os de reconhecimento, como as questões de múltipla escolha ou de verdadeiro ou falso, que objetivam medir se um aluno reconhece e sabe julgar uma alternativa apresentada, dentre o conteúdo que foi ensinado. Os testes de transferência estão relacionados à qualidade do que foi aprendido e abordam situações que não foram explicitamente fornecidas no material apresentado e, com isso, os alunos devem aplicar o que aprenderam em um novo contexto.

Quando alunos realizam testes de retenção e transferência podem ocorrer os seguintes resultados: (a) não se saem bem em ambos, nesse caso, não houve aprendizagem; (b) só se saem bem nos testes de retenção, então houve aprendizagem mecânica; (c) se saem bem tanto nos testes de retenção quanto nos de transferência, assim, houve aprendizagem ativa.

Para julgar se um design multimídia é mais eficaz do que outro na promoção da aprendizagem, é fundamental poder realizar comparações experimentais. Desta forma, com o intuito de validar os princípios da TCAM, são utilizados grupos de testes (grupo 1) e grupos de controle (grupo 2), que recebem instruções multimídias semelhantes, mas que diferem entre si pelo princípio que se quer investigar. Em seguida, os alunos de ambos os grupos são submetidos a testes de retenção e transferência, e as médias (\bar{X}_1 e \bar{X}_2) e os desvios padrão (s_1 e s_2) das pontuações destes dois grupos são calculados.

Para determinar a significância prática do resultado do efeito analisado pela TCAM, os dados são usados para determinar o d de Cohen, que é um parâmetro estatístico que, neste contexto, permite a quantificação do tamanho do efeito causado pela aplicação do design sugerido pela TCAM na multimídia, em comparação à não aplicação no grupo de controle. A equação a seguir mostra como determinar o valor do d de Cohen

$$d = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{(s_1^2 + s_2^2)/2}},$$

enquanto a Tabela 1, mostra como o efeito é classificado de acordo com a magnitude do valor de d , obtido através da equação.

Tabela 1 - Tamanho do efeito em relação à magnitude d .

Tamanho do Efeito	Magnitude
Pequeno	0,20
Médio	0,50
Grande	0,80

Fonte: (COHEN, 1992).

A TCAM objetiva desenvolver princípios que possuam efeito de tamanho maior que $d = 0,20$, e que norteiem a elaboração de multimídias que permitam a aprendizagem ativa (MAYER, 2009). Veremos estes princípios a seguir.

2.3 Os Tipos de Processamentos Cognitivos

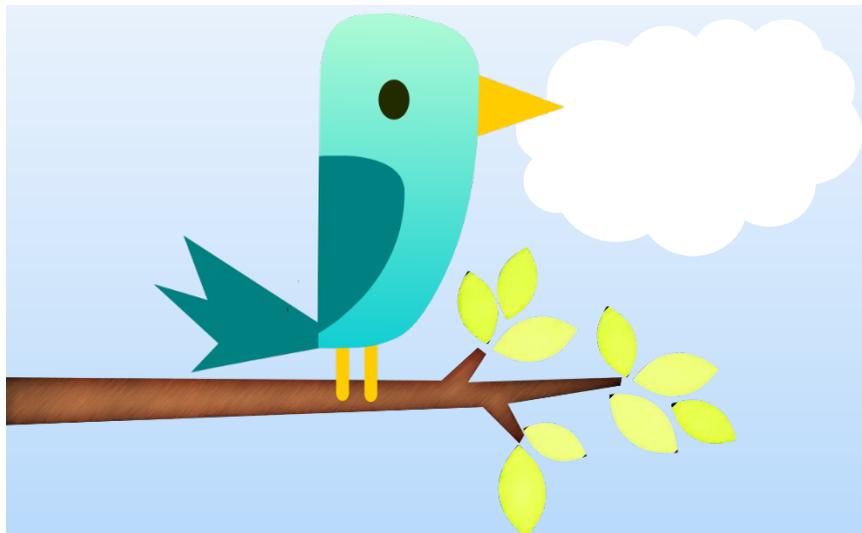
As atividades mentais envolvidas durante a tentativa de aprendizagem são denominadas

de processamentos cognitivos. De acordo com a TCAM, os alunos estão submetidos a três tipos de processamentos cognitivos ao tentarem aprender com um material multimídia (MAYER, 2021):

- O processamento cognitivo estranho é aquele que não atende ao objetivo instrucional e pode ser causado por informações irrelevantes ou pelo design educacional confuso;
- O processamento cognitivo essencial é determinado pela complexidade inerente ao material. Sendo considerada como a carga cognitiva utilizada para se representar o material na memória de trabalho;
- O processamento cognitivo generativo é necessário para se dar sentido ao material, de modo que a memória de trabalho o organize de forma coerente e integre as estruturas entre si e com o conhecimento prévio. É essencial para que haja entendimento mais aprofundado e está relacionada ao nível de motivação do aluno.

Como exemplo, suponha que uma instrução multimídia (figura 2), seja apresentada junto de uma narração, que explica a utilidade do bico de uma espécie de pássaro.

Figura 2: exemplo de instrução multimídia



Fonte: Elaborada pelo autor.

Para esta multimídia, os elementos irrelevantes, como a nuvem, o céu e o galho, constituem processamento cognitivo estranho, enquanto o pássaro, que é o alvo do estudo a que se destina a mídia instrucional, constitui o processamento essencial, enquanto os demais elementos que possam causar maior motivação no discente, constituem processamento cognitivo generativo.

Mayer (2009) afirma que, devido à capacidade limitada da memória de trabalho em manipular informações e os diferentes processos cognitivos que ocorrem ao lidar com um

material didático, ao desenvolver uma mídia educacional deve-se: (a) reduzir o processamento cognitivo estranho; (b) gerenciar o processamento cognitivo essencial; (c) promover o processamento cognitivo generativo. E, para isso, são apresentados, a seguir, os doze princípios da TCAM, com os respectivos tamanhos de efeitos compilados a partir de Mayer (2009).

2.4 Princípios Para Reduzir o Processamento Cognitivo Estranho

- **Princípio da Coerência:** a aprendizagem é melhorada quando palavras, imagens, sons e símbolos interessantes, mas irrelevantes, são excluídos de uma apresentação multimídia, porque estes elementos utilizam carga cognitiva para poderem ser processados, mas acrescentam muito pouco, ou até mesmo nada, ao aprendizado. É um efeito com tamanho grande, com $d = 0,97$;
- **Princípio da Sinalização:** a aprendizagem ocorre mais efetivamente se forem adicionadas dicas que ajudem o aluno a entender a estrutura do material didático e destaque os pontos mais relevantes. A sinalização deve ser utilizada de forma moderada, pois tem mais impacto para leitores com menos experiência do que para os mais avançados. É um efeito com tamanho médio, com $d = 0,52$;
- **Princípio da Redundância:** deve-se eliminar material redundante que acrescente carga cognitiva estranha à memória de trabalho, de forma que ela terá que processar mais de uma vez o mesmo elemento. Assim pessoas aprendem melhor com gráficos acompanhado de explicações narradas do que com explicações redundantes por serem narradas e escritas simultaneamente. É um efeito com tamanho médio, com $d = 0,72$;
- **Princípio da Contiguidade Espacial:** consiste em apresentar as palavras escritas e as respectivas imagens em uma tela ou figura, de forma a tentar integrar ao máximo as informações. É um efeito com tamanho muito grande, com $d = 1,09$;
- **Princípio da Contiguidade Temporal:** consiste em apresentar as informações auditivas e visuais relacionadas de forma simultânea ao invés de fazê-las consecutivamente. É um efeito com tamanho muito grande, com $d = 1,31$.

2.5 Princípios Para Gerenciar o Processamento Cognitivo Essencial

- **Princípio da Segmentação:** as pessoas aprendem melhor quando a instrução multimídia é apresentada de forma fragmentada, de maneira que o usuário possa controlar seu ritmo. A segmentação visa dividir uma mensagem multimídia em partes menores, com

o intuito de dar controle do conteúdo para o aluno, para que ele possa gerenciá-lo. É um efeito com tamanho grande, com $d = 0,98$.

- **Princípio do Pré-treino:** ao expor um aluno a uma instrução multimídia complexa, que pode exigir elevado processo cognitivo, ele pode não conseguir elaborar modelos mentais acerca do tema abordado. Desta forma pode-se previamente expor o aluno aos nomes e características que serão essenciais para entender a instrução. Em uma animação complexa, o entendimento envolverá dois processamentos cognitivos essenciais: primeiramente compreender como o todo funciona e, depois, como cada uma das partes colabora para o funcionamento da totalidade. O pré-treino se encarregará de previamente fornecer as instruções sobre o funcionamento das partes, para que durante a instrução multimídia, o discente possa se concentrar no entendimento do todo. É um efeito com tamanho grande, com $d = 0,85$.

- **Princípio da Modalidade:** quando o canal visual recebe muitas informações, como grande quantidade de imagens e textos, por exemplo, ele pode acabar sendo sobrecarregado pelo processamento essencial. Dessa forma, uma maneira útil de evitar sobrecarga seria dividir as informações entre os dois canais, apresentando as palavras por meio de narração, ao invés de textos. É um efeito com tamanho grande, com $d = 1,02$.

2.6 Princípios Para Promover o Processamento Cognitivo Generativo

- **Princípio Multimídia:** afirma que “Pessoas aprendem melhor através de palavras e imagens, do que somente com palavras” (MAYER, 2009). Ao requisitar ambos os canais de processamento cognitivo, as informações são divididas e podem ajudar os estudantes a formar representações mentais tanto visuais quanto verbais, e, portanto, que sejam mais coerentes. É um efeito com tamanho grande, com $d = 1,39$.

- **Princípio da Personalização:** Mayer (2009) se refere às instruções multimídia como sendo eventos sociais, em que os alunos terão mais pré-disposição para construir modelos mentais sobre o que está sendo ensinado ao perceberem que a aula está sendo direcionada diretamente a ele, de forma que o design multimídia deve usar frases que se refiram diretamente ao espectador, através de palavras como “você” e “eu”, ao invés de utilizar a terceira pessoa. Além disso, deve-se procurar adicionar frases que fazem comentários diretos ao aluno. É um efeito com tamanho muito grande, com $d = 1,11$.

- **Princípio da Voz:** os alunos aprendem melhor quando a narração em aulas multimídia é falada em voz humana amigável ao invés de uma voz computadorizada. Mayer (2009) relata que este princípio permite “usar aspectos da voz do instrutor para promover um senso

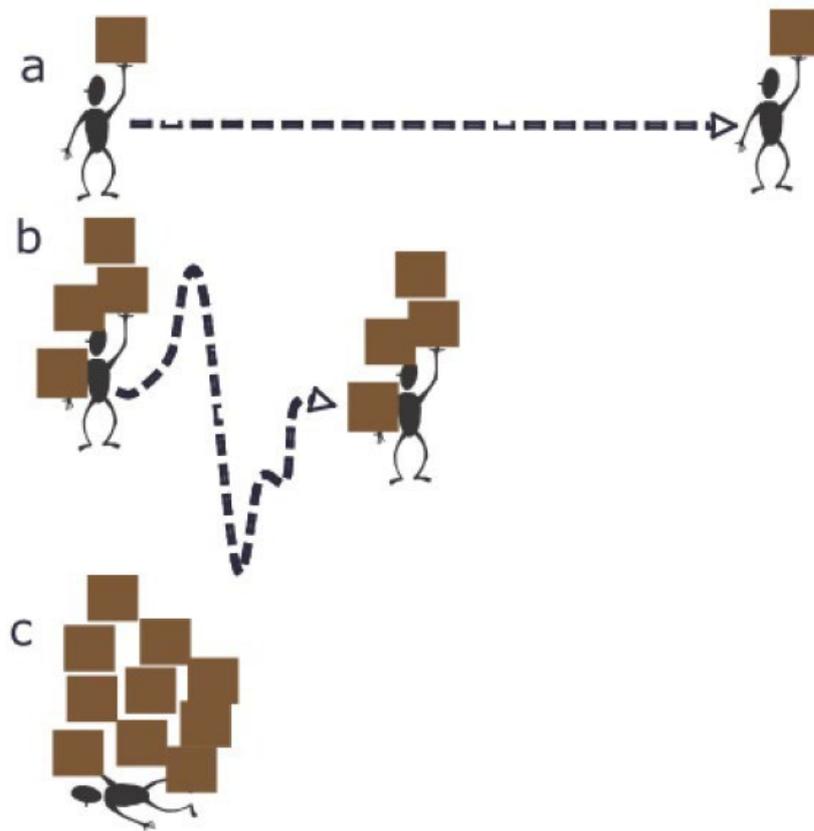
de parceria social em uma interação humano-computador”. É um efeito com tamanho grande, com $d = 0,78$.

• **Princípio da Imagem:** o princípio da imagem diz que as pessoas não aprenderão mais profundamente quando uma imagem estática for adicionada em uma instrução multimídia, representando um narrador, por exemplo. Este princípio tem tamanho pequeno, com $d = 0,22$. Mayer (2021) relata que a presença de uma imagem estática pode servir como processamento cognitivo estranho, se for inanimada, entretanto pode ter efeitos benéficos para a aprendizagem se atuar no gerenciamento do processo cognitivo essencial de forma eficiente, aparecendo para oferecer pistas ou informações importantes, o que caracterizaria o princípio da sinalização.

De acordo com Wieman (2007) “tudo que pudermos fazer para diminuir a carga cognitiva, melhora o aprendizado”, sendo que o domínio de materiais instrucionais³, por parte dos alunos, pode ser comparado a cargas que devem ser transportadas de um lugar para outro, sendo que a Figura 2 ilustra esta analogia. Na Figura 2-a, a linha tracejada é o caminho percorrido por uma pessoa com uma caixa, que seria o equivalente mecânico a conseguir obter entendimento sobre um material, dessa forma, com uma pequena quantidade de instruções de cada vez os discentes podem fazer muito progresso rapidamente. A Figura 2-b mostra por meio do caminho errático feito pelo indivíduo (representado pela linha tracejada), que há dificuldade em transportar várias caixas de uma vez, tal como seria a dificuldade de um aluno para compreender várias instruções simultaneamente, sem que ele pudesse ir tão longe e nem tão rápido, quando em comparação com a primeira possibilidade. Entretanto, se a quantidade de pacotes é maior do que podem suportar, temos a situação representada na Figura 2-c, que mostra um indivíduo sem conseguir ir a lugar nenhum, devido ao excesso de cargas que foi posto para ele carregar. Essa situação seria análoga a uma pessoa que não consegue aprender, devido ter sido exposta a uma quantidade muito elevada de carga cognitiva.

Figura 3 – analogia entre a quantidade de carga cognitiva que um aluno é capaz de reter, com a quantidade de caixas que pode carregar de um lugar para outro.

³ Segundo Pereira Filho (2014), são exemplos de materiais: textos didáticos, vídeos, aulas expositivas, simulações computacionais etc.



Fonte: Wieman (2007).

Mayer (2009) salienta que os princípios mostrados são apenas recomendações de boas práticas para o design instrucional, não devendo ser confundidos com leis absolutas. Tais orientações demonstram ser mais eficazes com alunos iniciantes do que com experts. Portanto, os produtos educacionais da presente dissertação (animações e livro) foram desenvolvidos para serem utilizados com alunos que estejam iniciando no estudo de Física, no 9º ano do Ensino Fundamental. Esses produtos serão apresentados a partir do próximo capítulo.

3 CIÊNCIA ANIMADA: AS ANIMAÇÕES

O produto educacional associado a esta dissertação é composto por animações e por um livro didático, sendo que ambos estão hospedados no canal do YouTube (<https://www.youtube.com/channel/UCpiinEQZySzwJaqByjDPYQw>) denominado *Ciência Animada*. Este capítulo é destinado a descrever as animações desenvolvidas pelo autor e que compõem o produto educacional, bem como a motivação que o levou a elaborá-las e os princípios cognitivos que foram levados em consideração durante a elaboração.

3.6 A Motivação para Desenvolver Animações

O autor é professor de Física, e atua no Ensino Fundamental, Médio e cursos pré-vestibulares. Em 2009, com o intuito de tornar suas aulas mais interessantes, começou a estudar e produzir animações educacionais. Para apreender a animar, por não encontrar curso específico para professores para desenvolvimento de animações, ingressou em uma turma voltada a desenvolvimento de animações e efeitos especiais para publicidade e propaganda, e, desta forma, obteve o conhecimento necessário para elaborar peças de comerciais que, na época, imaginou que pudessem ser aplicadas diretamente em sala de aula. As primeiras animações produzidas prezavam pela estética dos efeitos visuais apresentados, não possuíam áudio, e eram diretamente inseridas em slides, durante aulas.

Por serem efeitos visuais elaborados, o presente autor teve a impressão de que as animações deixavam os alunos mais atentos durante as aulas. Entretanto, esse aumento de atenção não se convertia em melhora no rendimento escolar e, ao finalizar uma aula e fazer perguntas diretas sobre o que havia sido abordado, o professor (presente autor) também não notava aumento do entendimento da matéria ministrada; pelo contrário, chegou a perceber que em algumas turmas os alunos eram capazes de descrever as animações, mas não o conteúdo científico delas, o que levou o autor a imaginar que essas desviavam o estudante do foco (conteúdo). Dessa forma, o professor parou de usar as animações, pois elas demoravam muito para serem desenvolvidas e, aparentemente, não contribuíam com aumento no entendimento por parte dos discentes. A partir daí, procurou na Universidade Federal do Pará seus atuais orientadores, que coordenam um Grupo de Estudo e Pesquisa sobre Uso de Tecnologias da Informação e Comunicação em Educação⁴ (GETIC) sobre os princípios que podem ser aplicados ao desenvolvimento de mídias educacionais. E assim, teve contato inicial com a TCAM e com a necessidade de construir as animações levando em consideração os processos cognitivos

⁴ <http://dgp.cnpq.br/dgp/espelhogrupo/2732866123421797>

humanos e, desta maneira, surgiu o projeto *Ciência Animada*.

Vale mencionar que os estudos sobre a Teoria da Carga Cognitiva e a TCAM foram, no contexto do GETIC, iniciados a partir das ideias trazidas pelo Prof. Dr. Nelson Pinheiro Coelho de Souza, cuja dissertação de mestrado (SOUZA, 2010), orientada pela Profa. Dra. Marisa Rosâni Abreu da Silveira, é uma excelente referência para quem estuda o tema, e culminou com a defesa de sua tese de doutoramento sobre esse assunto (SOUZA, 2015). As discussões com o Prof. Nelson foram fundamentais para o GETIC e influenciaram os trabalhos de conclusão de curso de graduação do Prof. Leonardo de Sousa Leal (LEAL, 2010), da Profa. MSc. Aline Nascimento Braga (BRAGA, 2017), a tese de doutorado do Prof. Dr. Silvio Carlos Pereira Filho (PEREIRA FILHO, 2014) a dissertação de mestrado e o projeto de doutorado da Profa. MSc. Aline Nascimento Braga, bem como a presente dissertação de mestrado e o desenvolvimento do correspondente produto educacional.

3.7 O Canal *Ciência Animada*

Em 2015, o autor começou a produzir animações que seguiam alguns princípios da TCAM, para serem utilizadas em sala de aula ou visualizadas através da internet. Cada animação foi elaborada com apenas um tópico de Óptica, com o intuito de expor o aluno a menor quantidade de carga cognitiva. Dessa forma, o autor esperava que as animações curtas pudessem diminuir a quantidade de carga cognitiva para o discente, e, conseqüentemente melhorar o aprendizado.

Para viabilizar a visualização das animações através da internet, foi criado no YouTube um canal de vídeos de Físicas chamado *Ciência Animada*⁵, e uma lista que aborda os conteúdos de Introdução ao Estudo de Óptica, baseadas no livro didático da escola que o autor trabalhava (SISTEMA MARISTA DE EDUCAÇÃO, 2015). As animações também podem ser encontradas individualmente nos links a seguir:

3.7.1 Introdução: apresenta o curso de Óptica Geométrica e fala sobre luzes policromáticas e monocromáticas. Disponível em <https://youtu.be/Hx4MwztLpDk>;

3.7.2 Reflexão, refração e absorção: entrega os aspectos principais que envolvem estes fenômenos ondulatórios, deixando de lado a análise quantitativa de cada um deles. Disponível em <https://youtu.be/ydMUN2xrri0>;

3.7.3 Classificações: Aborda algumas das classificações relacionadas às fontes de luz e aos meios de propagação da luz. Disponível em <https://youtu.be/hZpCYB3RGxA>;

3.7.4 Cores: O vídeo mostra de que forma os processos de reflexão, refração e absorção

⁵ Disponível em <https://www.youtube.com/channel/UCpiinEQZySzwJaqByjDPYQw>

estãorelacionados à cor de um corpo. Disponível em <https://youtu.be/3HtDq1XSLX8>;

3.7.5 Princípios da Óptica: traz explicações acerca dos três princípios da Óptica Geométrica: propagação retilínea, independência e reversibilidade. Disponível em <https://youtu.be/8wJccogqUZI>;

3.7.6 Sombra: Apresenta o processo de criação de sombras por fontes puntiformes e extensas. Disponível em <https://youtu.be/CMR5Oxb5Cx8>;

3.7.7 Câmara Escura de Orifício: Explana sobre como o princípio de propagação retilínea daluz foi usado para fabricar câmeras fotográficas e qual a relação matemática entre o tamanho dos objetos e das imagens formadas. Disponível em <https://youtu.be/OvocrnDy61Y>.

A seguir serão citados os princípios da TCAM utilizados pelo autor para criar as animações.

3.8 A TCAM Aplicada às Animações

Nesta seção são demonstrados como os princípios da TCAM foram utilizados para elaboração do design das animações educacionais. Serão abordados os princípios para promover o processamento cognitivo generativo, gerenciar o processamento cognitivo essencial e reduzir a carga cognitiva estranha. Entretanto, o autor salienta que as animações não contam com design uniforme, tendo em vista que seus desenvolvimentos ocorreram em momentos diferentes de sua trajetória acadêmica e de seus estudos sobre a TCAM.

3.3.1 Princípios para promover o processamento cognitivo generativo, aplicado às animações.

Com o intuito de eliminar a carga cognitiva que haveria nos vídeos pela presença do professor, o narrador não aparece nas animações, conquanto tenha sido elaborado um personagem animado e contextualizado ao tema, que representa o físico inglês Isaac Newton, que pode ser visto na Figura 4. Este personagem só aparece no vídeo de introdução ao curso – para contextualizar a animação que faz referência ao experimento de Óptica realizado por Isaac Newton – e no vídeo sobre cores. O autor entende que a presença do personagem nas animações está de acordo com o princípio da personalização e, por dar dicas visuais para o espectador, também está de acordo com o princípio da sinalização. Assim, o personagem animado não aumenta significativamente a carga cognitiva estranha, pois não aparece simultaneamente ao experimento que está sendo descrito.

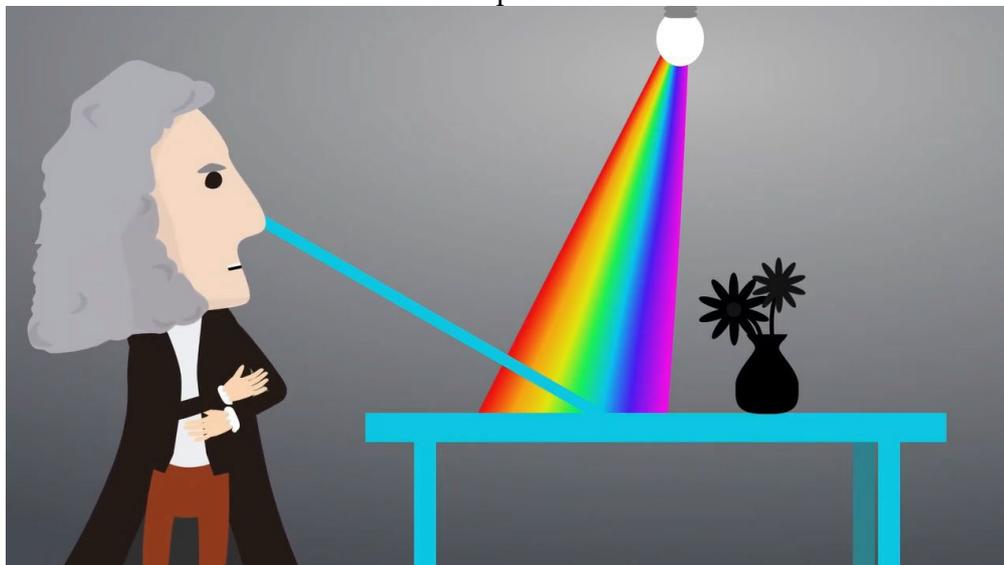
Figura 4 - personagem que representa o físico Isaac Newton



Fonte: Elaborada pelo autor

No vídeo sobre cores, seria necessário representar um observador para receber os raios de luz e perceber as cores, portanto, além de realizar as explicações (tal como o autor faria se aparecesse no vídeo), o personagem animado foi usado para interagir com o cenário, fazendo o papel de observador que deveria haver na animação, de qualquer maneira. Na Figura 4 é mostrada o personagem Isaac Newton, fazendo papel de observador do fenômeno óptico estudado, interagindo com o cenário, ao mesmo tempo que explica para o espectador a Física envolvida no processo. Dessa forma, mesmo com a presença do personagem, pode haver diminuição na carga cognitiva envolvida no material.

Figura 5 - Personagem Isaac Newton, observando somente a cor azul sendo refletida pela mesa.



Fonte: Elaborada pelo autor, disponível em <https://youtu.be/3HtDqlXSLX8>

O autor também teve o cuidado de narrar as animações usando tom de voz amigável e informal, de acordo com o princípio da voz.

3.3.2. Princípios para reduzir o processamento cognitivo estranho, aplicado às animações

Para poder atender ao princípio da coerência, o design das animações não conta com músicas de fundo e busca se ater a uma configuração minimalista, inserindo somente os elementos necessários para a explicação, substituindo qualquer paisagem de fundo por uma camada simples de cores, como pode ser visto na Figura 5.

Figura 6 - representação minimalista do princípio da propagação retilínea da luz, com tal representação de acordo com o princípio da coerência

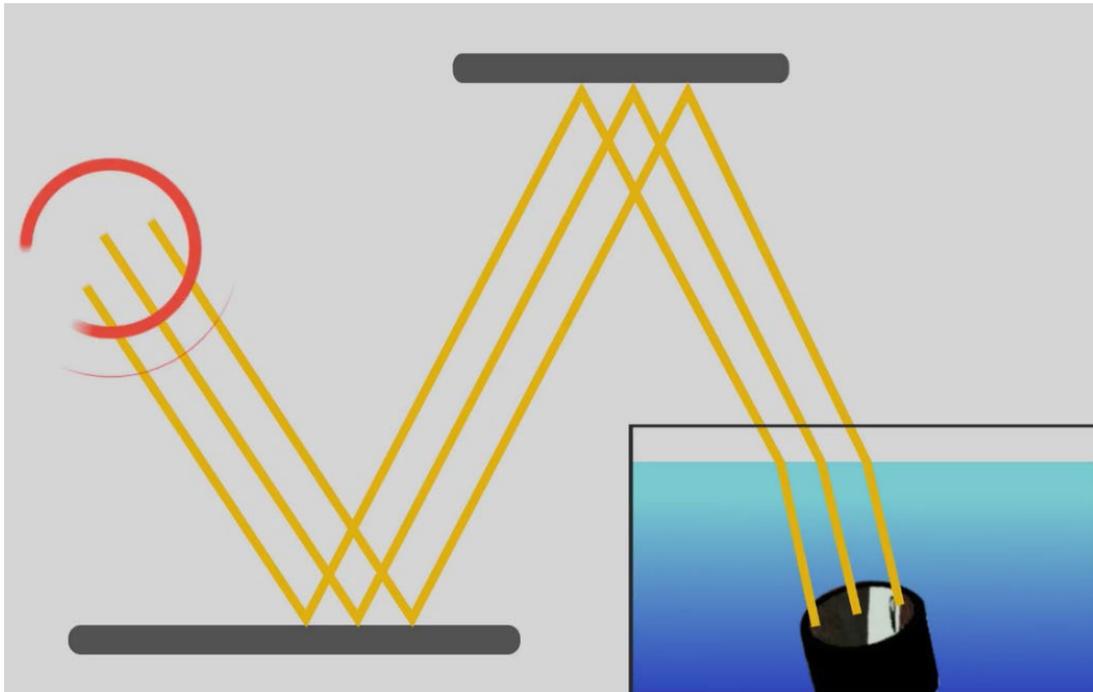


Fonte: Elaborada pelo autor, disponível em <https://youtu.be/8wJccogqUZI>

Para obedecer ao princípio da redundância, o autor evitou inserir legendas muito longas que transcrevessem frases inteiras que eram narradas e, dessa forma, procurou distribuir as informações da animação entre os canais visual e auditivo.

O princípio da sinalização foi utilizado para guiar o foco do discente através das animações. Em cenas em que o personagem animado Isaac Newton aparece, é possível vê-lo sinalizando para pontos importantes da cena através de gestos. Em cenas nas quais o personagem não aparece, o autor procurou enquadrar apenas os objetos importantes para a compreensão do fenômeno que estava sendo estudado, utilizando também símbolos para indicar pontos importantes dentro de uma cena, como mostrado na Figura 6, na qual um semicírculo vermelho demonstra o lugar em que a lanterna estava inicialmente, demonstrando o princípio físico da reversibilidade da luz, citado na animação.

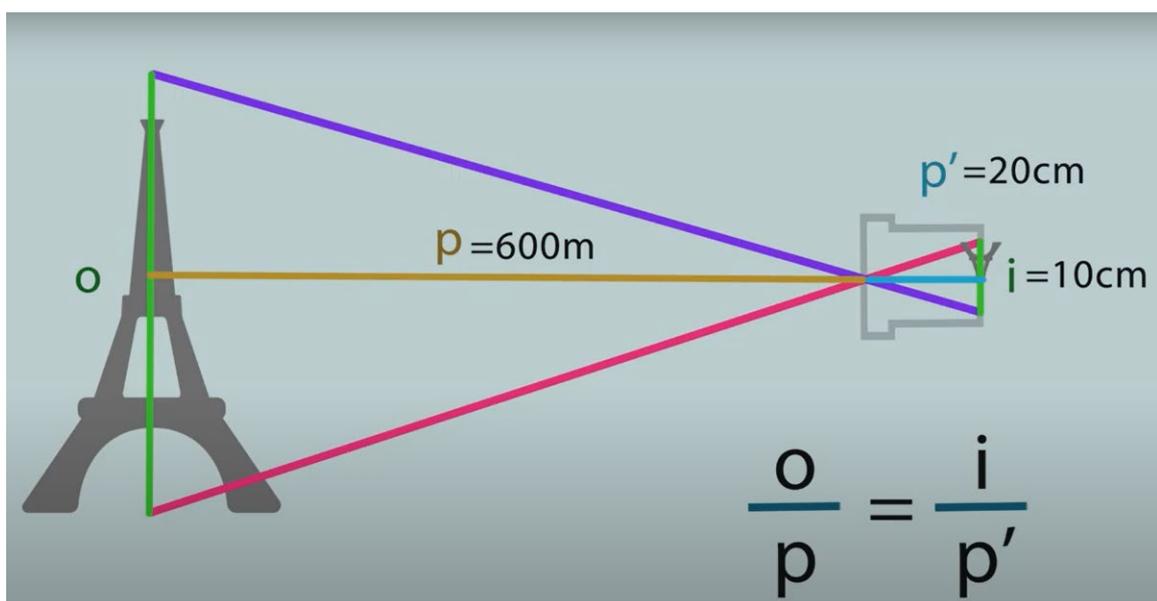
Figura 7 - Representação do princípio da reversibilidade da luz, com o semicírculo vermelho sinalizando o ponto para qual o aluno deve direcionar sua visão.



Fonte: Elaborada pelo autor, disponível em <https://youtu.be/Ns3DrfVysrg>.

A concordância com o princípio da contiguidade espacial foi alcançada aproximando cada dado às correspondentes imagens a que se referem. Na Figura 7 é demonstrada uma semelhança de triângulos em que cada dado foi inserido perto de sua respectiva medida.

Figura 8 – Utilização do princípio da contiguidade espacial na cena de uma animação, obtido ao aproximar cada símbolo e número da sua respectiva reta de medida.



Fonte: Elaborada pelo autor, disponível em <https://youtu.be/OvocrnDy61Y>

O princípio da contiguidade temporal foi estabelecido através do sincronismo entre

narração e as cenas que descreviam os fenômenos físicos.

3.3.2 Princípios para gerenciar o processamento cognitivo essencial, aplicado às animações.

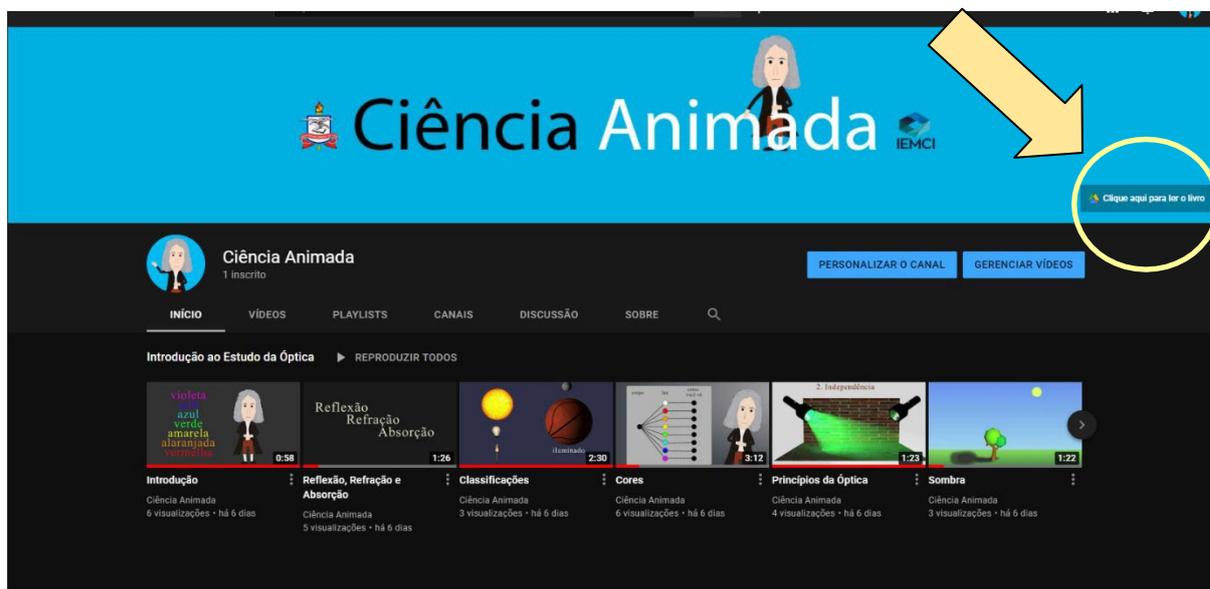
Para seguir o princípio da modalidade, foram usadas sempre animações narradas e evitado o uso de legendas junto as imagens complexas, que poderiam provocar aumento na quantidade de carga cognitiva a ser processada. Além disso, atendendo ao princípio da segmentação, ao invés de apresentar todo o conteúdo de Óptica em um único vídeo, foram feitas várias animações com a duração máxima de 10 minutos, que foram organizadas através de listas do Youtube, para que o aluno possa usar os controles da plataforma para gerenciar o ritmo a partir do qual as informações são apresentadas.

4 CIÊNCIA ANIMADA: O LIVRO

Este capítulo é destinado a descrever o que levou o autor a desenvolver um livro digital paradidático, bem como os princípios da TCAM considerados em sua elaboração.

O autor desenvolveu durante o mestrado um livro, baseando-se nas animações apresentadas no capítulo 2, com o intuito de propiciar ao estudante da Educação Básica uma forma de aprender que tenha menor quantidade de carga cognitiva quando comparada ao livro texto⁶ utilizado pela escola na qual o autor lecionava. O livro está integrado com as animações por meio de links que permitem ao aluno visualizar os vídeos no YouTube após terem realizado a leitura de cada capítulo. Além disso, o livro também sinaliza detalhes das animações que devem ser percebidos pelos alunos e permite que os leitores os verifiquem por meio de hiperlinks. O livro está integrado ao canal *Ciência Animada* do YouTube, como pode ser visto na Figura 8, ou através do link https://drive.google.com/file/d/1NmSnYFp3UimR-VE7-O0s_Kmkm3yOpKAh/view?usp=sharing

Figura 8 – Localização do link que dá acesso ao livro através do canal do YouTube, quando acessado através de telas grandes



Fonte: Elaborada pelo autor

Como dito no capítulo 2, as animações foram desenvolvidas em diferentes momentos da trajetória acadêmica do autor, enquanto ele ainda não tinha conhecimento dos princípios da TCAM e, por isso, durante a elaboração das animações, não houve foram aplicados todos os princípios a todos os vídeos. Entretanto, o livro foi desenvolvido durante a realização do

⁶ A escola adotava o Sistema Marista de Educação (2015)

mestrado, após extenso estudo sobre a TCAM, com o intuito de elaborar um material que usasse o máximo de princípios dela e que tivesse como base as animações.

4.6 A TCAM Aplicada ao Livro

Nesta seção são demonstrados como os princípios da TCAM foram utilizados para elaboração do livro paradidático.

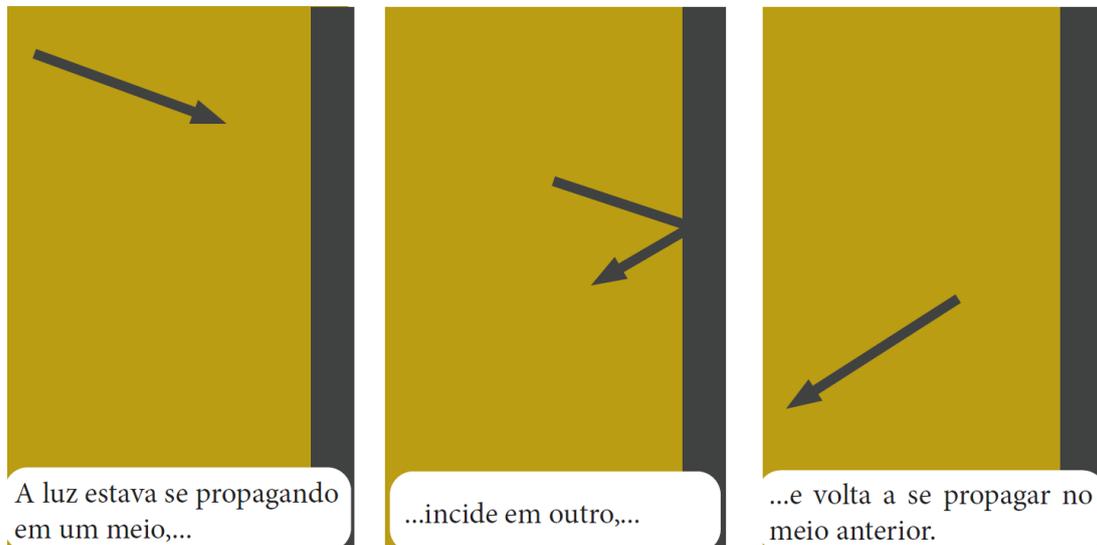
Por ter sido embasado nas animações desenvolvidas pelo autor, o livro utiliza vários princípios já abordados no capítulo 2, portanto, neste tópico, serão mencionados apenas aqueles princípios da TCAM que foram utilizados de maneira distinta no livro ou que não foram utilizados nas animações. Mediante estes critérios, serão abordados princípios para gerenciar o processamento cognitivo essencial, para reduzir o processamento cognitivo estranho, e para promover o processamento cognitivo generativo.

4.1.1. Princípios para gerenciar o processamento cognitivo essencial, aplicado ao livro paradidático.

Os vídeos foram desenvolvidos para demonstrar alguns fenômenos ópticos de maneira mais lenta do que ocorreriam no cotidiano, entretanto, ainda assim, o discente pode não conseguir acompanhar detalhadamente o processo em todas as etapas. Dessa forma, o autor implementou, no livro, a segmentação de algumas cenas das animações e tentou agrupá-las na mesma página, com intuito de também promover contiguidade espacial. A Figura 9, encontrada no livro, ilustra três momentos diferentes de uma animação e apresenta os princípios da segmentação e a continuidade espacial aplicados à explicação do fenômeno da reflexão, de forma que o fenômeno é apresentado simultaneamente na mesma página do livro, enquanto que no vídeo são apresentados em momentos distintos. A ilustração da Figura 9 apresenta inicialmente o raio de luz antes de incidir na superfície, em seguida ele aparece no momento da reflexão e, na última etapa, ele é mostrado após a reflexão.

Figura 9 – Utilização do princípio da segmentação e da contiguidade espacial, no livro paradidático, para ilustrar o fenômeno da reflexão.

A **reflexão** ocorre quando:



Fonte: Elaborada pelo autor

Quando usado antes das animações, o livro paradidático permite a aplicação do princípio do pré-treinamento, pois os alunos têm contato prévio com cada elemento que será abordado em uma animação. O livro também conta com uma seção ao fim de cada capítulo, que possui hiperlinks que direcionam o aluno para o vídeo abordado. Além disso, essa seção conta também com sugestões de trechos da animação que são importantes para o entendimento do fenômeno estudado, e que devem ser observados com mais atenção. Esses trechos também são interligados às animações por meio de hiperlinks.

4.1.2 Princípios para reduzir o processamento cognitivo estranho, aplicado ao livro paradidático.

Baseando-se no princípio da contiguidade espacial, as frases escritas foram colocadas nas mesmas páginas das imagens a que se referem, além disso, em algumas páginas, as frases foram divididas em textos menores e aproximadas de imagens consideradas importantes para o entendimento do conteúdo. Em conjunto com esse princípio, a sinalização foi utilizada com mais frequência no livro do que nas animações, com o intuito de direcionar a atenção do estudante para a relação entre textos e imagens, como pode ser visto na Figura 10. A figura está presente no livro e mostra uma versão do experimento de Isaac Newton, na qual foi realizada a decomposição da luz branca em um prisma, mediante o processo de refração da luz. Nesta imagem é possível visualizar palavras destacadas, que são interligadas às imagens, de acordo com o princípio da sinalização.

Figura 10 – Utilização do princípio da sinalização, obtido ao destacar as palavras, e sinalizar as imagens referidas por elas.



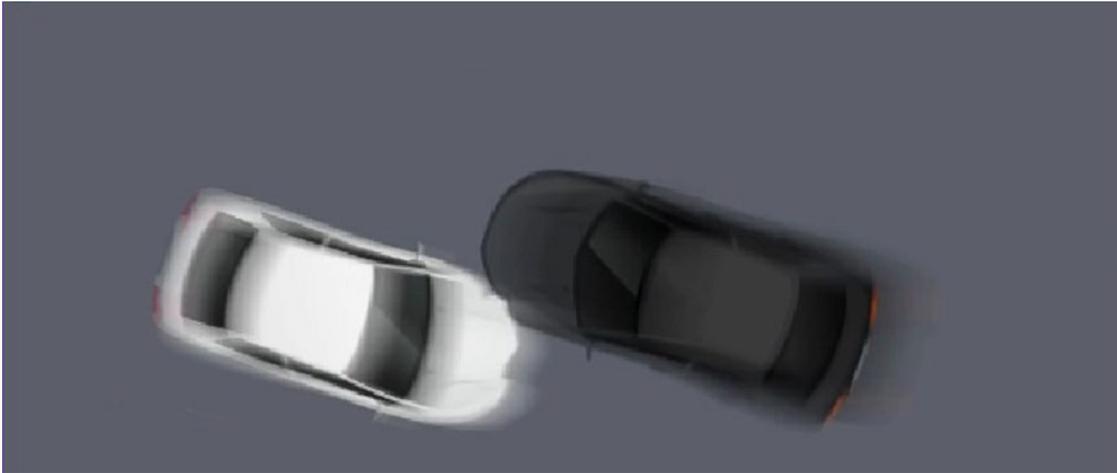
Fonte: elaborada pelo autor

4.1.3 Princípios para promover o processamento cognitivo generativo, aplicado ao livro paradidático.

Dentre os princípios destinados à promoção do processamento cognitivo generativo, o princípio da voz não é aplicável, pois não há narração no livro. O princípio da imagem foi utilizado mediante a inserção do personagem somente em páginas que não possuíam esquemas explicativos complexos, tal como se deu com as animações. E o princípio multimídia foi obedecido pela composição do livro com imagens e textos, ao invés de apenas texto.

Para estar de acordo com o princípio da personalização, citado no capítulo 1, as palavras utilizadas no livro não coincidem exatamente com o que é dito nos vídeos, embora o conteúdo de ambos seja o mesmo. Por exemplo, na animação sobre Princípios da Óptica, quando dois carros colidem e o narrador se refere ao princípio da independência dos raios de luz, é dito: “essa é uma propriedade que os corpos não possuem, pois se tentarem passar um pelo outro acabam colidindo”. Entretanto, no livro esta frase foi modificada para: “essa é uma propriedade que os carros da rua da sua casa não possuem, e nem nenhum outro corpo. Pois ao tentarem passar um pelo outro acabam colidindo”. O acréscimo da referência aos carros da rua da casa do leitor foi realizada com o intuito de deixar a frase menos genérica. A modificação citada pode ser vista na Figura 11

Figura 11 – Utilização do princípio da personalização no livro didático



Essa é uma propriedade que os carros da rua da sua casa não possuem, e nem nenhum outro corpo. Pois ao tentarem passar um pelo outro acabam colidindo

Fonte: Elaborada pelo autor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS

No capítulo 2, foi explanado como o modelo de MT foi utilizado para embasar a TCAM e seus três pressupostos: canal dual, capacidade limitada, e processamento ativo. E por fim, foi visto de que maneira a TCAM estabelece doze princípios para orientar a elaboração e a apresentação de materiais instrucionais multimídias, no intuito de ajudar o estudante na construção de modelos mentais consistentes.

No capítulo 3, foi explanada a forma com que a trajetória pedagógica do autor o levou a desenvolver as animações, e de que maneira a aplicação das animações (sem uso da TCAM) em sala de aula, levou-o a procurar seus presentes orientadores de mestrado, que terminou por culminar no desenvolvimento do projeto *Ciência Animada*, e na aplicação dos princípios da TCAM na produção das animações. Nesse capítulo também foi exposta a forma com que os princípios da TCAM foram utilizados para compor as animações.

No capítulo 4, o autor mostrou como o Mestrado e o estudo mais aprofundado da TCAM o levou a elaborar um livro embasado nas animações, que possibilitasse aos estudantes realizar pré-treinamento, bem como vislumbrar de forma estática e agrupada alguns dos fenômenos que nas animações ocorriam rapidamente. Também foi mostrado que é possível realizar o acesso das animações por meio de hiperlinks, colocados em uma seção ao final de cada capítulo, que conta também com sugestões do autor para que os alunos prestem atenção em detalhes relevantes aos fenômenos estudados.

Diante dos estudos realizados e fontes apresentadas, foi possível concluir que os conhecimentos sobre os processamentos cognitivos devem fazer parte do desenvolvimento de práticas pedagógicas, de forma que se considera neste trabalho, em particular, a elaboração de mídias educacionais na forma de animações e livro digital. Para tanto destacaram-se os princípios da TCAM como norteadores do desenvolvimento do produto educacional, haja vista que estabelecem otimização da construção de estruturas cognitivas para a elaboração de modelos mentais coerentes.

No decorrer da pesquisa de mestrado que culminou na presente dissertação, foi possível elaborar mídias educacionais na forma de animações e de um livro (ambos estão anexados à presente obra), de forma que as animações também podem ser acessadas em uma lista própria do mestrado, disponibilizada no YouTube. Esses materiais possuem como orientação os dos doze princípios da TCAM, e estão direcionados a ajudar estudantes que estejam tentando aprender o tema Introdução à Óptica, no Ensino Fundamental.

O uso do Youtube permitiu que as animações fossem difundidas pelo Brasil, sendo que

algumas já contam com mais de 100 mil visualizações, e diversos espectadores as citam como sendo bem ilustrativas e as curtas explicações como sendo de fácil entendimento (como pode ser lido nos comentários desta animação <https://youtu.be/GDN8Uyw1uRI>). A difusão das animações através da internet também pode ajudar vários professores durante a pandemia de COVID-19, sendo que as animações passaram a fazer parte do ensino online de várias escolas (o que também pode ser visto através dos comentários), e foram usadas para compor as aulas online de vários docentes.

Inicialmente, para poder desenvolver as animações de acordo com os princípios da TCAM, o autor demorava em média uma semana para produzir apenas um minuto de vídeo, entretanto com a prática foi possível melhorar o tempo de produção, chegando a desenvolver três minutos de animações por dia. Desta forma, o autor julga que a tecnologia, embora tenha sido imprescindível para a elaboração deste trabalho, representou um grande obstáculo a ser transposto. Além disso as animações foram produzidas com softwares pagos, o que pode dificultar para que outros docentes também elaborem animações similares. Como o roteiro e as imagens que compõem o livro foram desenvolvidas previamente durante as animações, houve maior facilidade para compô-lo.

O autor tem a perspectiva de elaborar animações para compor todo ensino de Óptica utilizando os princípios da TCAM, e pretende incorporá-las a um livro digital que aborde todo o ensino da disciplina. Tal livro dará ao estudante a opção de poder visualizar as páginas como imagens estáticas ou animações segmentadas. Além disso, o autor pretende incorporar narração ao livro digital, para poder dividir as informações apresentadas nele entre os dois canais de aprendizagem.

REFERÊNCIAS

- ABREU, P. M. et al. **Executive functioning and reading achievement in school: a study of Brazilian children assessed by their teachers as “poor readers”**. *Frontiers in Psychology*, v. 5, 2014. Disponível em: <<https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2014.00550>>. Acesso em: 20 set. 2020.
- ALLOWAY, T. P. **How does working memory work in the classroom?** *Educational Research and Reviews*, v. 1, p. 134-139, Julho 2006.
- ANDRADE, I. A. et al. **Inteligência coletiva e ferramentas WEB 2.0 :A busca da gestão da informação e do conhecimento em organizações**. *Perspectivas em Gestão e Conhecimento*, João Pessoa, Outubro 2011. 27-43. Disponível em: <<https://periodicos.ufpb.br/ojs2/index.php/pgc/article/view/10385/6101>>. Acesso em: 12 Dezembro 2020.
- ATKINSON, R.; SHIFFRIN, R. **Human memory: a proposed system and its control processes**. In: SPENCE, K.; SPENCE, T. *The Psychology of Learning and Motivation*. [S.l.]:Academic, v. 2, 1968. p. 90-191.
- ATKINSON, R.; SHIFFRIN, R. **The Control of Short-Term Memory**. *Scientific American*, v. 225, p. 82-91, Agosto 1971.
- BADDELEY, A.; ANDERSON, M. C.; EYSENCK, M. W. **Memória**. Porto Alegre: ARTMED EDITORA S.A., 2011.
- BAGANHA, D. E.; GARCIA, N. M. D. **O papel e o uso do livro didático de Ciências nos Anos**. Núcleo de Tecnologia Educacional para a Saúde, 2010. Disponível em: <<http://www.nutes.ufjf.br/abrapec/viiiinpec/resumos/R1526-1.pdf>>. Acesso em: 10 Outubro 2020.
- CLARK, R. C.; MAYER, R. E. **E-learning and the science of instruction**. 4^a. ed. Trenton: Wiley, 2016.
- PEREIRA FILHO, S. **Investigando aspectos do mastery learning e da capacidade da memória visual para objetos dinâmicos**. Universidade Federal do Pará. Belém, p. 17. 2014.
- GRIVOL, M. A.; HAGE, S. R. **Memória de trabalho fonológica: estudo comparativo entre diferentes faixas etárias**. *Jornal da Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia*, p. 245-251, 2011.
- IZQUIERDO, A. **A Arte de Esquecer: cérebro e memória**. Rio de Janeiro: Vieira & Lente, 2010.
- MAYER, E. **Multimedia Learning**. 2^a. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.
- MAYER, E. R. **Multimedia Learning**. 3^a. ed. Cambridge : Cambridge University Press, 2021.
- SAWILOWSKY, S. S. **New Effect Size Rules of Thumb**. *Journal of Modern Applied Statistical Methods*, 8, n. 2, 1 Novembro 2009. 597-599. Disponível em: <<https://digitalcommons.wayne.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1536&context=jmasm>>. Acesso em: 20 Maio 2021.
- SCHÄR, S. G.; ZIMMERMANN, P. G. **Investigating Means to Reduce Cognitive Load from Animations: Applying Differentiated Measures of Knowledge Representation**. *Journal of Research on Technology in Education*, 40, n. 1, 2007. 64–78.
- SISTEMA MARISTA DE EDUCAÇÃO. **Física**. 1. ed. São Paulo: FTD, v. 1, 2015.
- STERNBERG, R.; STERNBERG, K. **Psicologia cognitiva - Tradução da 7^a edição norte-americana**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2017.

TVERSKY, B.; MORRISON, J. B.; BETRANCOURT, M. **Animation**: can it facilitate? **Idea Library**, 4 abril 2002. Disponível em: <<http://www.idealibrary.com.on>>. Acesso em: 07 julho 2013.

UMBRASIL. **Sistema Marista de Educação – SME**. 1ª. ed. Brasília: FTD, v. I, 2015.

WIEMAN, C. Why not try a scientific approach to science education? **Change: The Magazine of Higher Learning**, v. 39, n. 5, p. 9-15, 2007. Disponível em: <<http://phet.colorado.edu/index.php>>. Acesso em: 12 Dezembro 2020.

WILSON, K.; KORN, J. H. **Attention During Lectures: Beyond Ten Minutes**. *Teaching of Psychology*, v. 2, n. 34, p. 85-89. Dezembro 2007. ISSN: 0098-6283.

LEAL, L. S. A teoria da carga cognitiva aplicada à matemática: experiências de Paul Ayres no campo da Álgebra. **Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física)** - Universidade Federal do Pará. 2010.

BRAGA, A. N. Memória e aprendizagem: um estudo sobre a capacidade da memória de trabalho visual. **Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Naturais)** - Universidade Federal do Pará. 2017.

SOUZA, N. P. C. **Teoria da carga cognitiva**: origem, desenvolvimento, e diretrizes aplicáveis ao processo ensino-aprendizagem. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências) - Universidade Federal do Pará. 2010.

SOUZA, N. P. C. **Investigando o efeito do deslocamento do olhar**: implicações para o princípio da atenção dividida. Tese (Doutorado em Educação em Ciências) - Universidade Federal do Pará. 2015.

APÊNDICE A – PROUTO EDUCACIONAL

O livro digital que compõe o produto educacional desta obra, pode ser acessado através da plataforma eduCapes, pelo link

<https://educapes.capes.gov.br/handle/capes/699477>