



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS DE QUIXADÁ
CURSO DE GRADUAÇÃO EM DESIGN DIGITAL**

LUCAS GADELHA FONSECA

**CRIAÇÃO DE UM LIVRO-JOGO DIGITAL PARA AUXILIAR NO ENSINO DE
ENTROPIA**

**QUIXADÁ
2026**

LUCAS GADELHA FONSECA

**CRIAÇÃO DE UM LIVRO-JOGO DIGITAL PARA AUXILIAR NO ENSINO DE
ENTROPIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Graduação em Design Digital da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Design Digital.

Orientador: Profa. Dra. Paulyne Matthews Jucá

QUIXADÁ

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

F744c Fonseca, Lucas Gadelha.

Criação de um livro-jogo digital para auxiliar no ensino de entropia / Lucas Gadelha
Fonseca. – 2026.

71 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus
de Quixadá, Curso de Design Digital, Quixadá, 2026.

Orientação: Prof. Dr. Paulyne Matthews Jucá.

1. livro-jogo. 2. educação. 3. entropia. I. Título.

CDD 745.40285

LUCAS GADELHA FONSECA

CRIAÇÃO DE UM LIVRO-JOGO DIGITAL PARA AUXILIAR NO ENSINO DE ENTROPIA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Programa de Graduação em Design Digital da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Design Digital

Aprovada em: 22/01/2026.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Paulyne Matthews Jucá (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. João Vilnei de Oliveira Filho
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Antônio Joel Ramiro de Castro
Universidade Federal do Ceará (UFC)

*“Tudo o que temos de decidir é o que
fazer com o tempo que nos é dado.”*

(J. R. R. Tolkien, 1954)

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha orientadora, Paulyne Jucá, pelo apoio e orientação desde o início deste trabalho e aos professores membros da banca, João Vilnei de Oliveira Filho e Antônio Joel Ramiro de Castro, pela paciência, atenção e apreço dedicados à avaliação deste trabalho..

Agradeço também à minha mãe, Renata Mônica Gadelha, por me ensinar que os grandes problemas, na verdade, são desafios que valem o empenho necessário para serem superados, bem como à minha família, por ser meu pilar de sustentação ao longo de todos esses anos.

RESUMO

O ensino de Física, em especial no que se refere à abordagem de conceitos abstratos como a entropia, enfrenta dificuldades recorrentes relacionadas à falta de engajamento e à complexidade conceitual do conteúdo. Diante desse cenário, torna-se necessário o desenvolvimento de estratégias pedagógicas que favoreçam a compreensão e a motivação dos estudantes. Assim, este trabalho propõe a criação de um livro-jogo digital como ferramenta de apoio didático para o ensino do conceito físico da entropia. O material desenvolvido fundamenta-se em jogos educativos, narrativas não lineares, metodologias de design e na concepção termodinâmica e estatística da entropia. O livro-jogo digital foi desenvolvido por meio do software Twine, seguindo uma metodologia de design adaptada, que compreendeu as etapas de análise do problema, geração de alternativas, estruturação narrativa, desenvolvimento do protótipo e realização de testes. A avaliação do material ocorreu por meio da aplicação de questionários e análises feitas por professores de Física, considerando aspectos como clareza, engajamento e adequação pedagógica. Os resultados indicam que o livro-jogo digital apresenta potencial como recurso didático complementar, destacando-se a clareza dos textos, a abordagem lúdica e a contextualização de temas ambientais. Contudo, foram apontadas sugestões de aprimoramento, tais como a necessidade de maior fluidez narrativa, ampliação do número de exemplos diretamente relacionados à entropia e padronização do estilo gráfico. Conclui-se que, apesar de demandar ajustes para sua aplicação efetiva em sala de aula, o livro-jogo digital desenvolvido constitui uma alternativa viável e promissora para introduzir o conceito de entropia de maneira acessível e motivadora.

Palavras-chave: livro-jogo; educação; Entropia.

ABSTRACT

Physics education, especially in regard to the teaching of abstract concepts such as entropy, faces recurring challenges related to low student interest and conceptual complexity. In this context, the development of pedagogical strategies that promote understanding and motivation seems necessary. This study proposes the creation of a digital gamebook as a didactic support tool for teaching the physics concept of entropy mainly for elementary school students. The developed material is grounded in educational games, non-linear narratives, design methodologies, and the thermodynamic and statistical conceptions of entropy. The gamebook was developed using the Twine software, with an adapted design methodology that included the stages of problem analysis, production of alternatives, narrative structuring, prototype development, and testing. The evaluation of the material was conducted through questionnaires and through qualitative analysis of reports provided by Physics teachers, considering aspects such as clarity, engagement, and educational adequacy. The results indicate that the gamebook has potential as a complementary didactic resource, highlighting the clarity of the texts, the playful approach, and the contextualization of environmental causes. However, improvements like greater narrative fluency, the expansion of examples directly related to entropy, and the standardization of the graphic style are required to be effectively applied in classrooms. The developed gamebook constitutes a viable and promising alternative for introducing the concept of entropy in an accessible and motivating manner.

Keywords: gamebook; education; Entropy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 — Representação da estrutura narrativa em diamante.....	17
Figura 2 — Representação da estrutura narrativa em loop.....	17
Figura 3 — Representação da estrutura narrativa em zíper.....	18
Figura 4 — Interface do software Twine.....	25
Figura 5 — Estrutura do livro-jogo no Twine.....	26
Figura 6 — Motor de Carnot.....	27
Figura 7 — Início na praia.....	28
Figura 8 — Primeira página do livro-jogo.....	29
Figura 9 — Última página de escolha.....	30
Figura 10 — Página de créditos, acessível pelo easter egg.....	31
Figura 11 — Questionário de usabilidade.....	32
Figura 12 — Gráfico de idade dos participantes do questionário.....	33
Figura 13 — Gráfico de retorno à sala do portal.....	33
Figura 14 — Gráfico de página FIM DE JOGO.....	34
Figura 15 — Gráfico de página final.....	34
Figura 16 — Gráfico de assimilação de conteúdo em escala Likert.....	35
Figura 17 — Gráfico de clareza do material em escala Likert.....	35
Figura 18 — Gráfico de motivação do material em escala Likert.....	35

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
1.1	Objetivo.....	10
1.1.1	Objetivos Específicos.....	10
2	TRABALHOS RELACIONADOS.....	11
2.1	Livros-Jogos e o ensino de ciências biológicas, uma revisão da literatura.....	11
2.2	Uma aventura em que o leitor é o herói: O livro-jogo como potencial..... para o incentivo à leitura literária de jovens.....	12
2.3	O livro-jogo como recurso didático-pedagógico no desenvolvimento da Educação Matemática Crítica.....	14
2.4	Quadro comparativo.....	15
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
3.1	Narrativas não-lineares.....	16
3.2	Utilização de livros-jogos no ensino.....	18
3.3	Metodologias de design.....	19
3.3.1	Metodologia de Lobach (1976).....	19
3.4	Entropia.....	20
3.4.1	Estatística.....	21
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	23
4.1	Análise do problema.....	23
4.2	Geração de alternativas.....	23
4.2.1	Conteúdos abordados.....	24
4.2.2	Temáticas escolhidas.....	24
4.2.3	Twine.....	25
4.2.4	Estruturação.....	26
4.2.5	Imagens.....	28
4.2.6	O Livro-jogo.....	29
4.3	Etapa de testes.....	32
4.3.1	Questionário.....	33
5	RESULTADOS.....	34
6	CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS.....	38
	REFERÊNCIAS.....	39
	APÊNDICES.....	41
	APÊNDICE A – LIVRO-JOGO DIGITAL PORTAIS DA ENTROPIA.....	41
	APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DO LIVRO-JOGO.....	61
	APÊNDICE C – UTILIZAÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL (IA) GENERATIVA.....	64

1 INTRODUÇÃO

A disciplina de Física frequentemente enfrenta o desafio de despertar o interesse e a compreensão dos estudantes, como é dito por Kovalik et al. (2023). Para contornar esse problema, os professores se valem de recursos didáticos, como os livro-jogos que, segundo Figueiredo e Bidarra (2015), proporcionam emoções positivas capazes de engajar os estudantes no conteúdo proposto e extrair mais resultados em termos de atenção, retenção e entendimento.

Todavia, para Gonçalves e Rodrigues (2013) adotar livros-jogos como material didático pode ser um tanto desafiador, dado que a formação pedagógica nem sempre contempla as técnicas necessárias à produção desse tipo de material. Por esse motivo, surgem trabalhos, como os de Pimentel, Spiegel e Gomes (2019), Neri e Ogliari (2021) e o presente trabalho, que visam criar e utilizar de livros-jogos como ferramenta para auxiliar o ensino.

Por conseguinte, o livro-jogo digital proposto neste trabalho visa auxiliar o ensino do conceito físico que expressa a segunda lei da Termodinâmica, proposto por Rudolf Clausius (1865), denominado entropia, a qual é uma grandeza termodinâmica associada à irreversibilidade dos estados de um sistema físico. Esta proposta busca explorar uma abordagem pedagógica interativa, capaz de facilitar a compreensão de um conceito abstrato por meio da participação ativa do leitor, sendo o livro-jogo digital desenvolvido a partir dos conhecimentos do curso de Design Digital adquiridos nas disciplinas de projeto, concepção e desenvolvimento de produto e comunicação visual, com o objetivo de tornar a aprendizagem mais atraente e acessível aos alunos.

Diferente dos trabalhos similares que serão apresentados, este trabalho utilizou uma metodologia de design adaptada para criar o livro-jogo digital, fundamentando o processo criativo, além disso, foi conduzida uma avaliação por meio de questionários e entrevistas com professores de física, a fim de mensurar o impacto da proposta como ferramenta de auxílio pedagógico.

1.1 Objetivo

Este trabalho tem como objetivo criar um livro-jogo digital como ferramenta de apoio didático para o ensino do conceito físico da entropia, abordando conteúdos da física pertinentes ao conceito e avaliando sua eficácia com professores de física.

1.1.1 Objetivos Específicos

Para complementar o objetivo geral iremos:

- Revisar teorias e metodologias de design aplicáveis à criação de livros-jogos com fins educativos, identificando as melhores práticas para o ensino de física;
- Analisar a matéria da termodinâmica para definir o conteúdo relacionado à entropia para abordar no livro-jogo digital;
- Avaliar a percepção de professores e sobre o livro-jogo digital desenvolvido para apoiar o ensino de Física, verificando especialmente a clareza da mensagem e a adequação da proposta pedagógica.

2 TRABALHOS RELACIONADOS

O presente capítulo mostra 3 trabalhos que também utilizam livros-jogos no âmbito educacional, mas voltados a diferentes áreas do conhecimento e com objetivos distintos. Embora os temas variem de ensino de Ciências Biológicas e de Matemática crítica até o incentivo à leitura literária, todos compartilham o propósito de utilizar a narrativa interativa como meio de aprendizagem e engajamento do leitor.

2.1 Livros-Jogos e o ensino de ciências biológicas, uma revisão da literatura.

Em seu artigo Pimentel, Spiegel e Gomes (2019), objetivaram analisar as produções e as estratégias utilizadas para avaliação de livros-jogos para o ensino de Ciências e Biologia, no Brasil.

Para isso, as autoras pesquisaram trabalhos acadêmicos nos seguintes sites de periódicos: Portal de Periódicos CAPES, Scielo, o Google Acadêmico, Google e Educational Resources Information Center (ERIC). E utilizaram pares de descritores para filtrar os trabalhos pertinentes ao objetivo, foram eles: livro-jogo e ensino de Ciências Biológicas; Role-Playing Game (RPG) aventura solo e ensino de Ciências; RPG aventura solo e ensino de Biologia.

Elas então dividiram os trabalhos selecionados em duas categorias, para facilitar a análise, Pimentel et al. (2019) agrupou os livros-jogos pesquisados de acordo com instrumento utilizado na metodologia como forma de avaliar os materiais, separando em livros-jogos avaliados por meio de questionário e livros-jogos avaliados por instrumentos diferentes de questionários, ainda assim alguns trabalhos se enquadraram nas duas categorias.

A análise buscou verificar a forma como os resultados foram apresentados, se a utilização do material estimulou interações entre os alunos ou não e se as ferramentas despertaram motivação durante as leituras.

As autoras analisaram nove (9) trabalhos no total, sendo um (1) deles para o Ensino Fundamental I, três (3) para o Ensino Fundamental II e cinco (5) para o Ensino Médio. Desses nove (9), seis (6) apresentaram resultados de avaliações e três não apresentaram tais resultados.

Dos trabalhos analisados os questionários foram utilizados de formas variadas, alguns antes de elaborar os livros-jogos para avaliar o nível de conhecimento dos alunos e outros utilizaram depois da leitura dos livros-jogos, para avaliar se os alunos aprenderam com a atividade e para avaliar as percepções que os alunos e os professores tiveram na utilização do material lúdico. A maior parte dos dados coletados foi qualitativa, por meio de perguntas subjetivas nos questionários.

A conclusão em ao menos cinco (5) dos trabalhos analisados por Pimentel et al. (2019) foi positiva, concluindo que livros-jogos motivaram a construção de novos conhecimentos, registraram prazer na atividade da leitura, contribuiu para formulação de opiniões críticas e estimulou interações colaborativas entre os alunos.

Assim como alguns dos trabalhos analisados no artigo de Pimentel et al. (2019), o presente trabalho utilizou questionário para coletar dados qualitativos e quantitativos à respeito da utilização do livro-jogo como material de auxílio educacional.

2.2 Uma aventura em que o leitor é o herói: O livro-jogo como potencial para o incentivo à leitura literária de jovens

Em seu trabalho, Gonçalves e Rodrigues (2013) discutem o papel do bibliotecário como mediador de leitura, baseando-se na definição de Bortolin (2007), que o descreve como o indivíduo responsável por aproximar o leitor do texto, facilitando a relação entre ambos. As autoras destacam que essa mediação é fundamental especialmente entre o público jovem, de 10 a 15 anos, uma faixa etária caracterizada por maior desinteresse pela leitura e pela busca de afirmação de identidade. Diante disso, ressaltam a importância de o bibliotecário conhecer e utilizar diferentes estratégias e atrativos que dialoguem com os interesses dos jovens leitores, como a identificação com os personagens e a possibilidade de interferir na narrativa.

O artigo realiza uma contextualização sobre o surgimento dos livros-jogos, abordando seu histórico no Brasil e no mundo e sua relação com o RPG. As autoras citam o bibliotecário Demian Katz, responsável por um dos maiores acervos digitais de livros-jogos, que define o gênero como “qualquer livro no qual o leitor participa da

história através da realização de escolhas que afetam o curso da narrativa” (KATZ, 2013) A partir dessa definição, o estudo diferencia os tipos de livros-jogos existentes, como os *Choose Your Own Adventure* (CYOA), que direcionam o leitor a páginas numeradas conforme suas decisões, e os *gamebooks*, que acrescentam sistemas de regras e elementos aleatórios, como a rolagem de dados, sendo este último mais próximo dos RPGs tradicionais. Katz (2013), ainda propõe uma classificação dividindo os livros-jogos em três categorias:

- semelhantes aos CYOA;
- baseados em sistemas externos de RPG;
- aqueles que possuem suas próprias regras internas.

As autoras comparam o livro-jogo ao RPG, apontando que ambos envolvem a interpretação de um personagem e a interação por meio de escolhas, embora o RPG se caracterize por uma prática coletiva e oral, enquanto o livro-jogo se estrutura como uma leitura individual e silenciosa. Essa natureza participativa é destacada a partir da teoria da leitura de Jouve (2002), que considera o ato de ler como um “jogo de representação e de regras”, no qual o leitor se envolve emocional e cognitivamente com a narrativa. Assim, o livro-jogo é compreendido como um exemplo de leitura interativa e não linear, que estimula o comprometimento imaginativo do leitor e o torna agente ativo na construção do sentido do texto.

Gonçalves e Rodrigues (2013) concluem sugerindo que os livros-jogos sejam incorporados às práticas de mediação de leitura em bibliotecas escolares, não apenas como recomendação de leitura, mas também como instrumento pedagógico para promover o gosto pela literatura e a reflexão crítica. Atividades como oficinas de criação, palestras com autores e rodas de leitura inspiradas em dinâmicas de RPG são propostas como caminhos para potencializar o interesse dos jovens pela leitura literária.

No presente trabalho, observa-se um paralelo com a proposta de Gonçalves e Rodrigues (2013), uma vez que ambos utilizam o livro-jogo como meio de engajamento do leitor. Contudo, enquanto as autoras têm como objetivo principal o incentivo à leitura literária, o trabalho aqui apresentado visa promover a aprendizagem da física, explorando o formato interativo do livro-jogo para ensinar conceitos complexos, como o de entropia.

2.3 O livro-jogo como recurso didático-pedagógico no desenvolvimento da Educação Matemática Crítica.

O trabalho de Neri e Ogliari (2021) teve como objetivo avaliar o uso do livro-jogo como recurso didático-pedagógico para o ensino e aprendizagem da Educação Matemática Crítica (EMC), buscando compreender como a narrativa interativa pode estimular a reflexão, a autonomia e a tomada de decisões dos alunos. Baseando-se na definição de Saldanha e Batista (2009), os autores consideram o livro-jogo uma variação do RPG.

O material criado, intitulado "*Uma Aventura em Reai\$*", foi desenvolvido no software Twine 2 e aplicado a uma turma de vinte alunos do sétimo ano de uma escola pública do Rio Grande do Sul. Em duplas, os estudantes acessaram o livro-jogo por meio de um link compartilhado em grupo de WhatsApp. O enredo aborda situações cotidianas da própria escola: o jogador, escolhido pela direção, devia administrar um recurso financeiro da associação de pais e mestres, decidindo sobre a compra de materiais e outras demandas.

Durante a aplicação, os alunos utilizaram uma ficha de acompanhamento de leitura e responderam a um questionário sobre suas percepções e escolhas. O jogo não introduziu novos conteúdos matemáticos, exigindo que os estudantes utilizassem seus conhecimentos prévios e debaterem entre si para resolver os desafios propostos.

Os resultados demonstraram que o livro-jogo é uma ferramenta eficaz para trabalhar conteúdos da EMC, pois promoveu o engajamento, o raciocínio crítico e discussões sobre questões sociais e éticas. As atividades evidenciaram o potencial desse formato para integrar conceitos matemáticos e situações do cotidiano escolar.

O trabalho de Neri e Ogliari (2021) se assemelha ao presente TCC pelo uso do livro-jogo como ferramenta pedagógica, pela utilização do Twine 2 para concepção do livro-jogo e de questionários para coleta de dados. Entretanto, enquanto o estudo dos autores foca na resolução de problemas matemáticos e sociais, o presente projeto busca apresentar e explicar um conceito físico da entropia.

2.4 Quadro comparativo

Quadro 1 – Comparativo dos trabalhos relacionados

Aspectos, critérios etc.	Livros-Jogos e o ensino de ciências biológicas	Uma aventura em que o leitor é o herói	O livro-jogo como recurso da Educação Matemática Crítica.	Este projeto
Área do conhecimento	Ciências Biológicas	Leitura	Matemática	Física
Desenvolve um livro-jogo	Não	Não	Sim	Sim
Método de coleta de dados	Revisão bibliográfica de trabalhos acadêmicos	Análise teórica e histórica do livro-jogo e sua relação com o RPG	Questionário e ficha de leitura	Questionário e entrevistas com professores

Fonte: elaborado pelo autor.

O quadro mostra como os trabalhos apresentados utilizam livros-jogos na educação, contudo, este trabalho, diferente dos demais, visa apresentar um conceito supostamente novo ao leitor, a entropia, que será detalhada no próximo capítulo.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo objetiva esclarecer os principais conceitos e teorias que fundamentam este trabalho, são eles narrativas não-lineares, metodologias de design e entropia.

3.1 Narrativas não-lineares

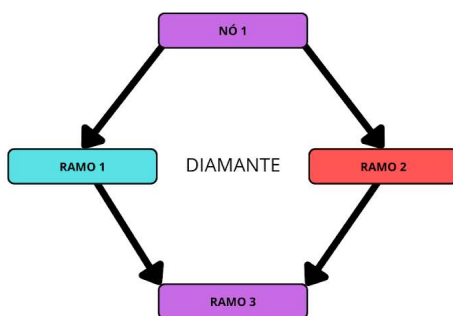
Segundo Demian Katz, um livro-jogo é qualquer obra em que o leitor intervém na história por meio de escolhas que influenciam o desenvolvimento da narrativa. Ou seja, foge ao método tradicional de contar histórias de maneira linear, tornando todo livro-jogo uma narrativa não-linear.

Existem algumas variações na terminologia dos elementos presentes em uma narrativa não-linear, para evitar confusão utilizaremos o padrão adotado por utilizaremos o padrão adotado por Riedl e Young (2007), que definem estruturas narrativas ramificadas a partir de grafos compostos por estados, escolhas, nós e ramos, que podem ser descritos da seguinte forma:

- Estado é o bloco narrativo, a história apresentada ao leitor naquele momento;
- Escolha é a decisão que o jogador toma, que o levará para o próximo estado;
- Nó é o estado no qual a narrativa pode se ramificar gerando dois ou mais estados paralelos;
- Ramo é o conjunto de estados e escolhas que partem de um nó e podem retornar ou não à narrativa central.

Como explica Jay Taylor-Laird (2016) em sua palestra *The Shapes in Your Story: Narrative Mapping Frameworks*, existem diferentes modelos que podem ser utilizados para estruturar narrativas não lineares. O primeiro deles é o diamante, representado na Figura 1, assim denominado por geralmente apresentar o formato de losango. Essa estrutura oferece ao leitor/jogador a sensação de escolha, embora o percurso principal da narrativa permaneça inalterado.

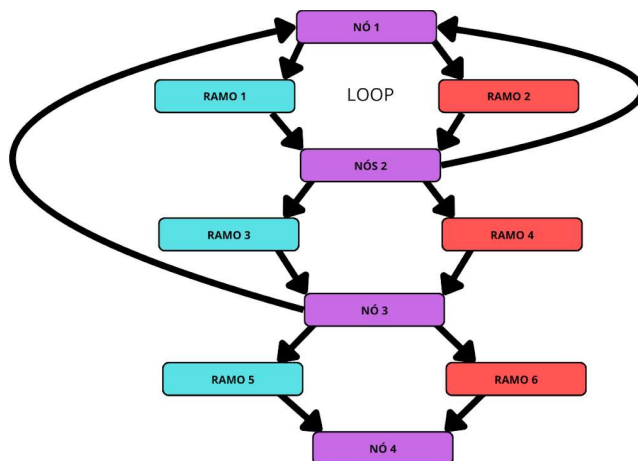
Figura 1 — Representação da estrutura narrativa em diamante



Fonte: Produzida pelo autor no Canva (2025).

Outra estrutura apresentada por Taylor-Laird (2016) é o loop, representado na Figura 2, que permite ao leitor/jogador retornar a nós anteriores e explorar diferentes ramificações, inclusive aquelas que já foram percorridas.

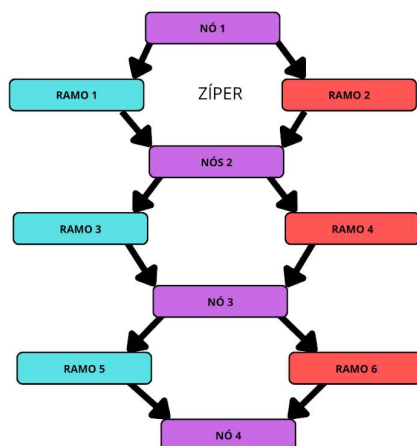
Figura 2 — Representação da estrutura narrativa em loop



Fonte: Produzida pelo autor no Canva (2025).

Por fim, o modelo zipper, representado na Figura 3, consiste em uma sequência de diamantes sucessivos, possibilitando que a narrativa se mantenha essencialmente linear, mesmo quando o jogador realiza múltiplas escolhas ao longo do enredo.

Figura 3 — Representação da estrutura narrativa em zíper



Fonte: Produzida pelo autor no Canva (2025).

Essas são as principais estruturas que compõem a narrativa de um livro-jogo, o seu uso, por outro lado, será abordado no tópico seguinte.

3.2 Utilização de livros-jogos no ensino

Compreender a entropia não é uma tarefa simples: trata-se de um conceito físico complexo, frequentemente acompanhado de cálculos matemáticos rigorosos, o que dificulta tanto sua aprendizagem quanto seu ensino. Por esse motivo, o presente trabalho objetiva apenas introduzir o conceito de entropia e estimular os leitores a pesquisar mais sobre o tema.

Segundo Jann e Leite (2010), os jogos didáticos apresentam facilidade de uso em sala de aula, são práticos, de baixo custo e contribuem para tornar o processo de ensino-aprendizagem mais motivador. Além disso, favorecem o desenvolvimento das relações sociais, estimulam a curiosidade dos alunos e incentivam o interesse em aprender mais.

Um tipo de jogo que reúne essas vantagens é o RPG, que, segundo Vasques (2008), ocorre em um universo ficcional detalhado, contendo informações sobre geografia, clima, história, cultura, tecnologias, economia, profissões, religiosidades e criaturas. Além disso, conta com um sistema de regras que orienta o desenvolvimento da narrativa. A dinâmica envolve um narrador, responsável por conduzir a história, e jogadores que enfrentam desafios utilizando as habilidades de seus personagens. Embora o RPG possa ser empregado como recurso didático,

apresenta limitações, como a possibilidade de perda de foco no conteúdo e a variação na qualidade da atividade.

Os livros-jogos, por sua vez, como apontado por Alencastro e Oliveira (2018) não carecem de um narrador e possuem seus possíveis ramos e finais pré-estabelecidos, sendo mais direcionados do que o RPG.

Alencastro e Oliveira (2018) também afirmam que os livros-jogos proporcionam uma leitura mais interativa, estimulando o leitor/jogador a desenvolver sua habilidade de tomar decisões, já que precisa lidar posteriormente com as consequências de suas escolhas. Além disso, esse formato permite trabalhar diferentes competências, como predição, paciência, organização, cooperação, imaginação, capacidade de resolver problemas e resiliência.

Hays (2005) observa que, muitas vezes, a adoção de jogos educacionais é feita com base apenas em suposições sobre seus benefícios, sem considerar sua real eficácia. Além disso, ainda são escassas as iniciativas voltadas ao desenvolvimento de modelos que auxiliem na avaliação desses recursos antes de sua aplicação. Como resultado, há poucos dados disponíveis que confirmam ou refutam a efetividade desses materiais.

Por esse motivo a adoção de uma metodologia de design para concepção desse tipo de material se faz relevante, assim como abordaremos no próximo capítulo.

3.3 Metodologias de design

Segundo Bomfim (1995) Metodologia de Design é a disciplina que se ocupa da aplicação de métodos a problemas específicos e concretos. Assim como Munari (1981) pondera que métodos são instrumentos de ordenação e organização, e consequentemente, suporte lógico ao desenvolvimento de um projeto.

Assim como nenhum projeto é igual, as metodologias de design adotadas para concebê-los também não devem ser. Cada projeto possui suas particularidades e deve adotar a metodologia que melhor se adequa a elas.

3.3.1 Metodologia de Lobach (1976)

É um modelo descritivo e linear, estruturado em quatro etapas específicas:

- Análise do problema: Etapa onde são listadas as variáveis do projeto, podendo ser dividida em conhecimento do problema, coleta de informações e análise de informações.
- Geração de alternativas: Etapa criativa onde são propostas alternativas para solucionar o problema.
- Avaliação de alternativas: É elencado a melhor solução proposta na etapa anterior podendo mesclar os elementos das propostas.
- Realização da solução: Etapa de definição de todos detalhes técnicos do produto e da documentação.

A metodologia que será utilizada no desenvolvimento deste trabalho é semelhante a de Lobach (1976), todavia, as etapas de avaliação de alternativas e realização da solução foram alteradas para englobar os testes.

Após a definição do método, torna-se necessário apresentar o conteúdo, no caso deste trabalho, o conceito de entropia, que está detalhado no capítulo seguinte.

3.4 Entropia

A entropia é um dos conceitos centrais da Termodinâmica e desempenha papel fundamental na compreensão dos processos naturais. Em *Fundamentos de Física – Volume 2* (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012), a entropia é apresentada principalmente dentro do contexto da Segunda Lei da Termodinâmica, que estabelece que processos espontâneos em sistemas isolados ocorrem em direção a estados de maior desordem ou maior número de configurações possíveis. Embora o termo “desordem” seja frequentemente utilizado como uma aproximação conceitual, o livro enfatiza que a entropia pode ser compreendida formalmente como uma medida de irreversibilidade e de dispersão de energia.

Halliday et al. discutem que, em um processo reversível, a variação de entropia é considerada nula, enquanto em um processo irreversível pode ser definida pela relação:

$$dS = dQ_{rev} / T$$

onde: dS é a variação de entropia, dQ é a energia absorvida ou cedida pelo sistema na forma de calor de um sistema reversível e T é a temperatura do sistema.

O que permite compreender que a entropia está diretamente ligada ao fluxo de calor e à temperatura. A obra também explora que, em sistemas reais, a maioria dos processos é irreversível, devido a dissipações, atrito, mistura espontânea de substâncias e outros fenômenos naturais que aumentam a entropia do sistema e do ambiente. Esse aumento global da entropia, característico de processos irreversíveis, é o que fundamenta a chamada “seta do tempo” termodinâmica, isto é, a observação de que certos processos possuem uma direção temporal preferencial.

Outro ponto destacado no livro é o fato de que sistemas tendem naturalmente a evoluir para macroestados mais prováveis, o que fornece uma perspectiva estatística da entropia. Quando considerada dessa forma, ela passa a representar o número de microestados possíveis compatíveis com determinado estado macroscópico. Essa abordagem estatística, trazida de maneira acessível no *Fundamentos de Física*, é essencial para compreender por que processos como a expansão livre de um gás, a mistura espontânea de substâncias e o derretimento de um corpo sólido ocorrem sem necessidade de intervenção externa.

Esses conceitos de irreversibilidade, de dispersão de energia, de variação de entropia em processos térmicos e de tendência natural ao macroestado mais provável foram selecionados como base teórica para a concepção do livro-jogo digital elaborado neste trabalho. A abordagem interativa permitiu transformar fenômenos termodinâmicos abstratos, usualmente difíceis para estudantes do ensino médio, em situações narrativas nas quais o leitor pode observar, comparar e tomar decisões relacionadas à evolução de sistemas físicos. Assim, a construção do livro-jogo digital dialoga diretamente com a apresentação conceitual de entropia encontrada em Halliday, Resnick e Walker, reforçando a importância de integrar rigor científico e experiências didáticas significativas.

Segundo Ferreira et al. (2023), podemos descrever a entropia como uma quantidade estatística, que versa sobre o número de estados acessíveis a um sistema físico particular. Pode ser considerada como a contagem do número total de maneiras pelas quais os estados de um sistema físico podem ser arranjados.

3.4.1 Estatística

Para tentar ilustrar a natureza estatística da entropia, podemos utilizar o exemplo presente no livro *Introdução à Física estatística* (SALINAS, 2005).

Imagine um dado de 6 faces com as faces numeradas de 1 a 6, ao lançá-lo, a probabilidade de cair qualquer uma das faces viradas para cima é a mesma, $\frac{1}{6}$ (um sexto), ao jogarmos 2 dados de 6 faces, o resultado varia de 2 a 12, entretanto a probabilidade de cada resultado varia, pois existem mais combinações possíveis de se gerar a soma 7 do que os outros resultados, como é possível observar a seguir na tabela 1:

Tabela 1 - Probabilidade de resultados de dados

RESULTADO	COMBINAÇÕES (DADO 1 + DADO 2)						PROBABILIDADE
2	1+1						1/36
3	1+2	2+1					2/36
4	1+3	2+2	3+1				3/36
5	1+4	2+3	3+2	4+1			4/36
6	1+5	2+4	3+3	4+2	5+1		5/36
7	1+6	2+5	3+4	4+3	5+2	6+1	6/36
8	2+6	3+5	4+4	3+5	2+6		5/36
9	3+6	4+5	5+4	6+3			4/36
10	4+6	5+5	6+4				3/36
11	5+6	6+5					2/36
12	6+6						1/36

Fonte: elaborada pelo autor

Esse padrão se repete para um número maior de dados, pois com 3 dados as somas 10 e 11 são os resultados mais prováveis, para 4 dados o resultado mais provável é 14 e assim por diante. Esse resultado mais provável é o estado de maior entropia, enquanto os outros resultados correspondem a estados de menor entropia. À medida que um evento se repete a probabilidade de ele entrar em um estado de maior entropia aumenta, deduzindo estatisticamente que um sistema isolado tende sempre a um estado de mais provável. Constatado esse fato, pode-se considerar a existência de uma flecha do tempo, dado que um evento de menor entropia sempre ocorre antes de um evento de maior entropia.

Esses conceitos, técnicas e metodologias servirão de base para criação do livro-jogo digital e para realização do experimento que estão descritos na próxima seção.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo são apresentadas as etapas de criação do livro-jogo digital *Portais da Entropia*, bem como os procedimentos e decisões de projeto que conduzem ao alcance dos objetivos propostos. A metodologia adotada segue a estrutura sugerida por Lobach (1976); contudo, as etapas de Avaliação de alternativas e Produção da solução foram adaptadas para Testes e Resultados, a fim de melhor atender às especificidades deste trabalho.

4.1 Análise do problema

Durante esta etapa, o designer deve reunir todas as informações relevantes para o projeto, realizando a coleta de dados, a análise de produtos similares, a análise do público-alvo e a identificação dos limites de interação. Esses elementos permitem definir aspectos que irão orientar o desenvolvimento do livro-jogo digital, como a estrutura narrativa, o estilo visual, o nível de complexidade das escolhas, o modo de apresentação das informações conceituais e possíveis referências que contribuam para despertar o interesse dos estudantes.

A análise mencionada foi realizada com base nos trabalhos apresentados nos Capítulos 2 e 3, os quais possuem público-alvo semelhante e descrevem seus resultados de maneira detalhada. Esses estudos serviram como referência para definir o nível de complexidade da narrativa adotada no livro-jogo digital desenvolvido neste trabalho.

4.2 Geração de alternativas

Nesta etapa surgem as ideias, os esboços, artefatos, protótipos, interfaces e interações. O designer, munido das informações da etapa anterior, começa a materializar o produto.

Para este trabalho, inicialmente foram redigidos os conteúdos e temáticas que deveriam ser abordados no livro-jogo digital, bem como um fluxograma para definir a estrutura da narrativa não linear.

4.2.1 Conteúdos abordados

O livro-jogo digital aborda dois tipos de conteúdo em sua narrativa. O primeiro refere-se aos conceitos de Física apresentados em *Fundamentos de Física – Volume 2* (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012), entre os quais se destacam:

- máquinas térmicas;
- processos reversíveis e irreversíveis;
- seta do tempo;
- estatística;
- entropia.

O segundo tipo compreende conteúdos ecológicos, como preservação do meio ambiente e energias renováveis, que servem para contextualizar o conceito de entropia na narrativa e intencionam conscientizar os leitores/jogadores a respeito da preservação ambiental.

4.2.2 Temáticas escolhidas

Para contextualizar os conteúdos abordados no livro-jogo digital foram escolhidas temáticas diversas com o intuito de tornar a leitura mais divertida e interessante.

O núcleo da história ocorre na sala de portais, que cumpre a função narrativa de manter a coesão entre as demais temáticas, as quais apresentam grande divergência entre si. As temáticas escolhidas foram:

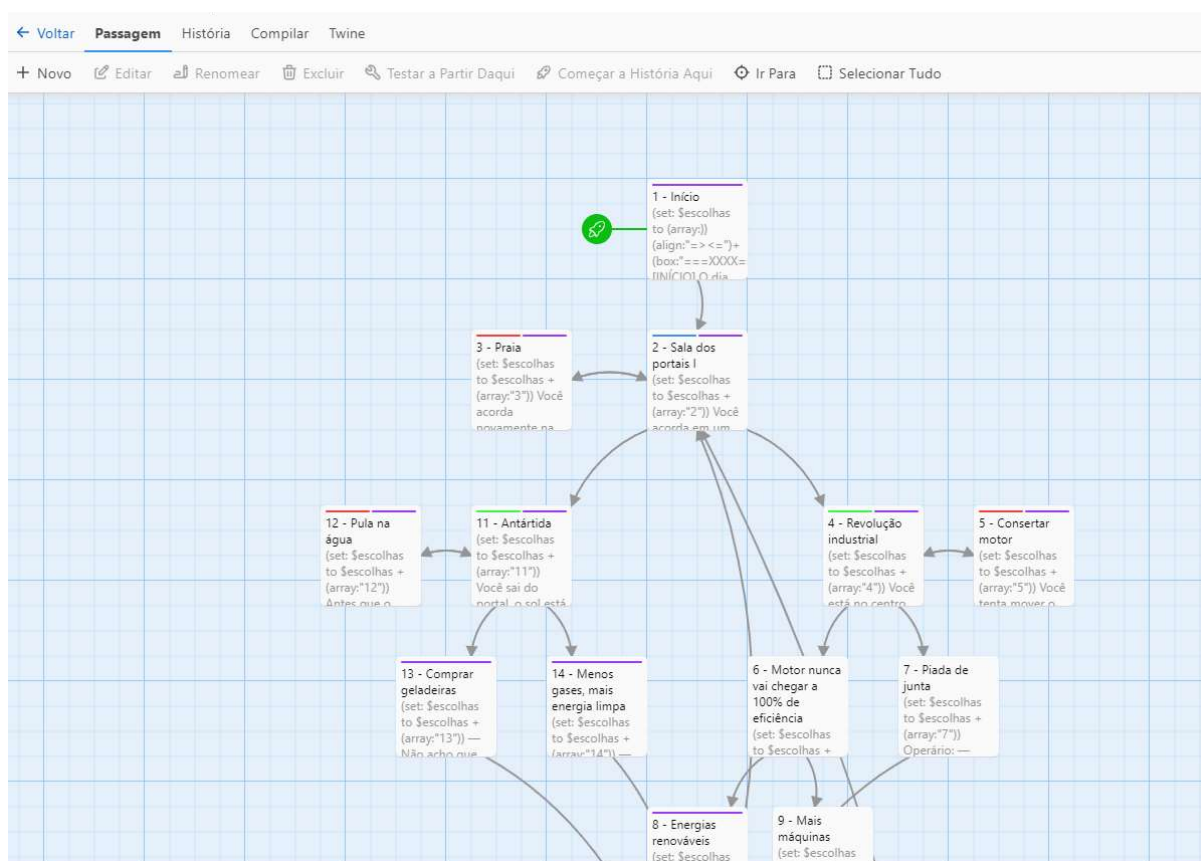
- A Praia, local inicial da história onde os efeitos do aumento da entropia ficam bastante evidentes.
- A Antártida, local que sofre diretamente com os efeitos das alterações climáticas.
- A Revolução industrial, período histórico utilizado para apresentar o motor de Carnot.
- O Estúdio de cinema, local utilizado para apresentar o conceito de seta do tempo.
- A universidade, local utilizado para demonstrar a natureza estatística da entropia por meio de um experimento.

- O cassino, local utilizado para demonstrar a natureza estatística de entropia por meio de uma situação prática.

4.2.3 Twine

Após a seleção dos temas e conteúdos, a narrativa foi organizada em uma estrutura semelhante a um fluxograma, utilizando o Twine, software voltado à criação de histórias interativas e não lineares. Em sua interface, as passagens aparecem como cards interligados, o que facilita a visualização do todo e o planejamento da sequência narrativa como mostrado na Figura 4.

Figura 4 — Interface do software Twine



Fonte: produzido pelo autor no Twine (2025)

O Twine utiliza a linguagem Harlowe, cuja lógica se aproxima da HTML, para conectar as passagens, aplicar estilizações e incorporar recursos interativos. Ao final, o livro-jogo digital pode ser exportado como um único arquivo HTML, o que simplifica tanto o processo de revisão quanto sua distribuição, exigindo apenas um navegador para ser executado.

4.2.4 Estruturação

No capítulo 3.1 foram apresentadas diferentes estruturas de narrativas não lineares. Elas foram aplicadas no desenvolvimento do livro-jogo digital *Portais da Entropia* da seguinte forma: o loop, foi empregado para permitir que o jogador explore todo o conteúdo em uma única jornada, o zíper e o diamante, foram utilizados para orientar o leitor/jogador de volta ao percurso principal, para evitar que conteúdos essenciais sejam ignorados.

As salas dos portais são os principais nós da história, a partir delas o leitor/jogador pode escolher ramos paralelos de conteúdo semelhante, ademais, servem de ponto de retorno para os loops, com intuito de facilitar o mapeamento da narrativa.

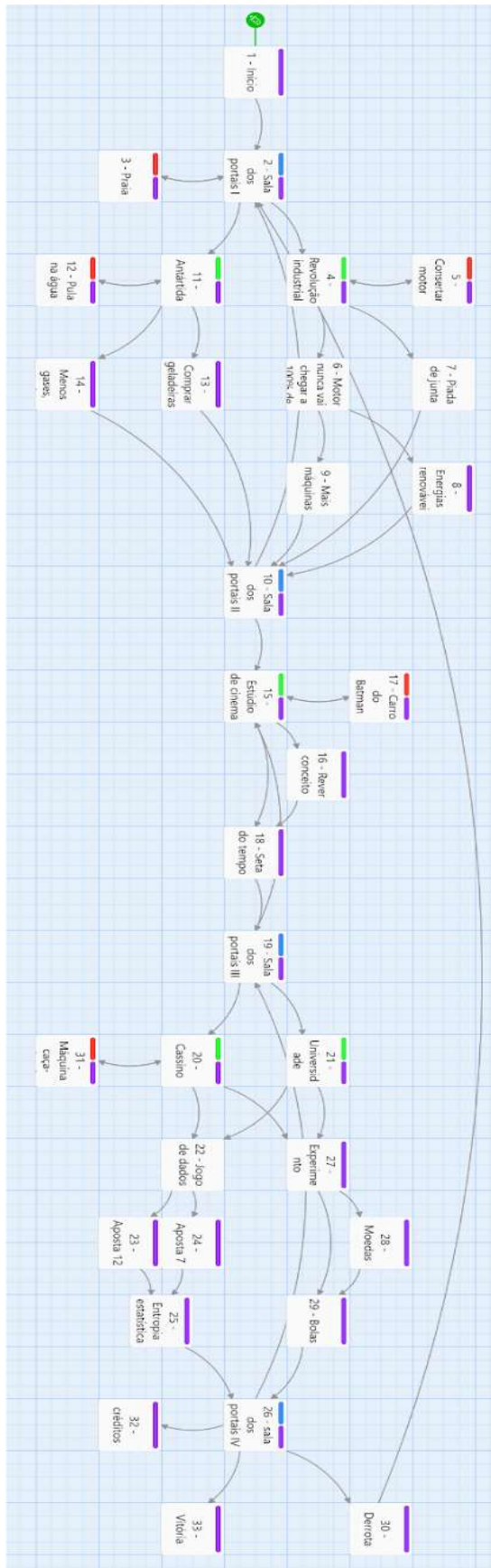
Os nós apresentam de duas a três opções de escolha, permitindo que o leitor/jogador avance na narrativa de forma fluida, sem a necessidade de analisar excessivamente qual decisão tomar.

O software Twine, utilizado para estruturar o livro-jogo digital, permite o emprego de marcadores coloridos que facilitam a visualização dos diferentes estados da narrativa. No presente projeto, esses marcadores foram organizados da seguinte forma:

- **Azul:** estados que contêm portais, correspondendo aos principais nós da narrativa;
- **Verde:** início dos ramos principais;
- **Vermelho:** estados que resultam na morte do jogador;
- **Roxo:** estados que apresentam imagens associadas.

A Figura 5 apresenta a estrutura final do livro-jogo digital *Portais da Entropia*.

Figura 5 — Estrutura do livro-jogo digital no Twine



Fonte: produzido pelo autor no Twine (2025)

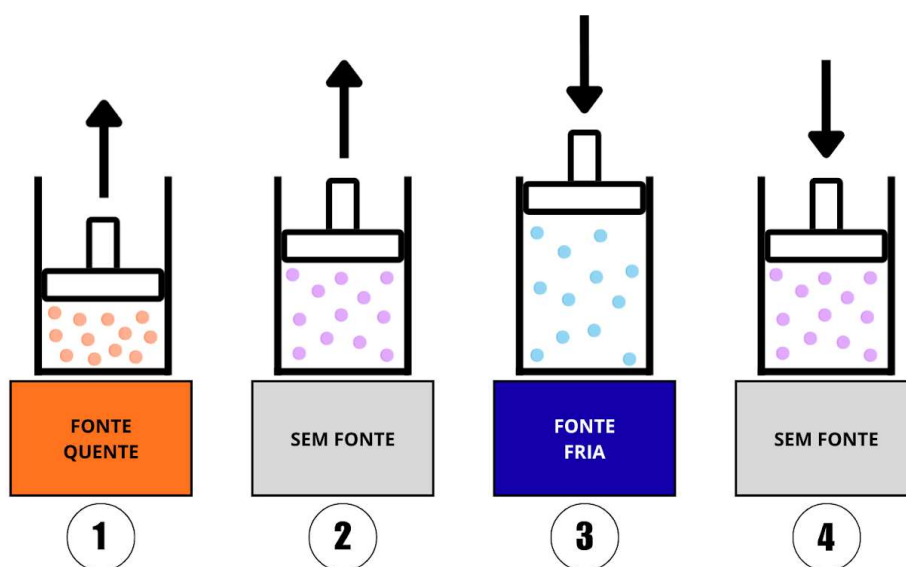
4.2.5 Imagens

As páginas do livro, em sua maioria, contém imagens, com o objetivo de ajudar o leitor a visualizar alguns dos conceitos e experimentos explicados, bem como tornar a leitura mais confortável.

Devido ao fato de o Twine operar em linguagem HTML, as imagens foram inseridas nas páginas por meio da tag ``, que requer a indicação de uma fonte, seja um diretório local do dispositivo ou um endereço disponível na web. Para viabilizar a execução do livro-jogo digital apenas com o arquivo HTML, as imagens foram hospedadas na plataforma de armazenamento em nuvem Imgur, permitindo que o conteúdo visual fosse carregado diretamente a partir dos links externos.

Algumas imagens presentes no livro-jogo digital foram desenhadas e editadas utilizando o software livre GIMP e a plataforma online Canva, como é o caso da Figura 6, enquanto outras foram geradas por modelos de inteligência artificial (IA) generativa, como o ChatGPT e o Gemini, conforme ilustrado na Figura 7. O uso de IA teve caráter temporário e estratégico, uma vez que o foco principal deste trabalho está na concepção do livro-jogo digital como ferramenta pedagógica, e não na finalização estética de todas as ilustrações. Futuramente, novas imagens poderão ser desenvolvidas de maneira autoral para padronizar o estilo gráfico, garantir identidade visual mais consistente e alinhar o material às práticas profissionais do Design.

Figura 6 — Motor de Carnot



Fonte: produzido pelo autor no Canva (2025)

Figura 7 - Início na praia



Fonte: Gerada por IA (2025).

4.2.6 O Livro-jogo

Após a definição de todos os elementos que irão compor a história, a escrita e indexação das páginas e o enquadramento e a hospedagem das imagens, agora só resta compilar tudo em um único arquivo HTML chamado livro-jogo para o ensino de entropia, esse foi o arquivo utilizado nos testes do próximo passo e pode ser encontrado gratuitamente neste link do Github: https://lucas-gadelha.github.io/livro_jogo_entropia/

O livro-jogo digital tem início em uma praia, onde o leitor/jogador é imediatamente confrontado com o conflito central da narrativa: a necessidade de impedir que uma intensa radiação solar ameace a sobrevivência da humanidade. A Figura 8 mostra o início do livro-jogo digital.

Figura 8 - Primeira página do livro-jogo digital

INÍCIO

O dia está quente e ensolarado. você sai para caminhar na praia, mas o calor está muito intenso.

— Eita do sol quente! — Você exclama.

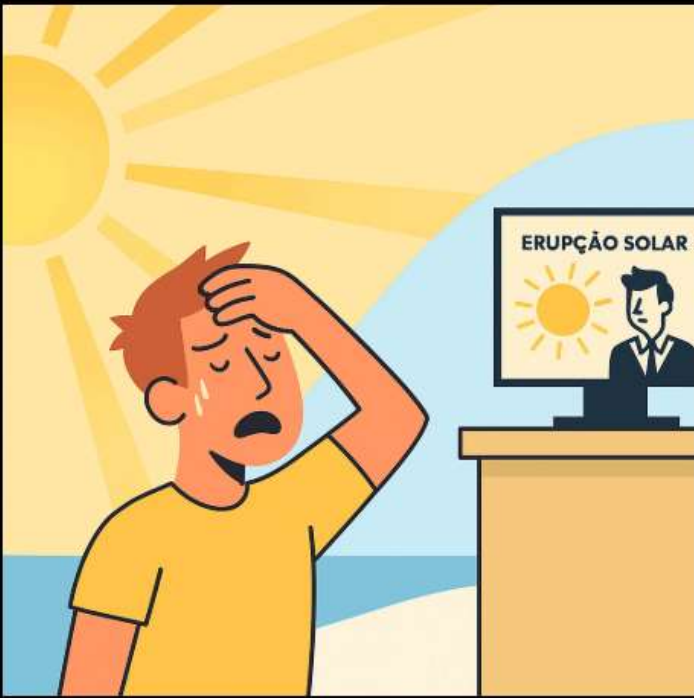
Enquanto você sente tudo girar e derreter a sua volta por conta do calor você se indaga:

— Se o sol é tão quente, então por que a terra não derrete?

Afinal, estamos expostos a radiação do sol 24 horas por dia.

Mas seu questionamento não vai longe, pois está ficando cada vez mais quente, você para em uma barraca próxima para pedir uma água de coco e vê que na televisão está passando um noticiário sobre uma imensa erupção solar, a maior dos últimos séculos, o repórter comenta: As erupções solares são explosões que ocorrem na superfície do sol e fazem com que uma maior quantidade de radiação atinja a terra, deixando-a mais quente e causando diversos fenômenos...

Você se distancia da barraca pois tem a **BRILHANTE** ideia de olhar para o sol, para tentar ver a erupção “deve ser show de bola”.



Você observa aquela luz branca aumentar e aumentar até você não aguentar mais e desmaiar.

CLIQUE EM 'SALA DOS PORTAIS I' PARA CONTINUAR

[SALA DOS PORTAIS I](#)

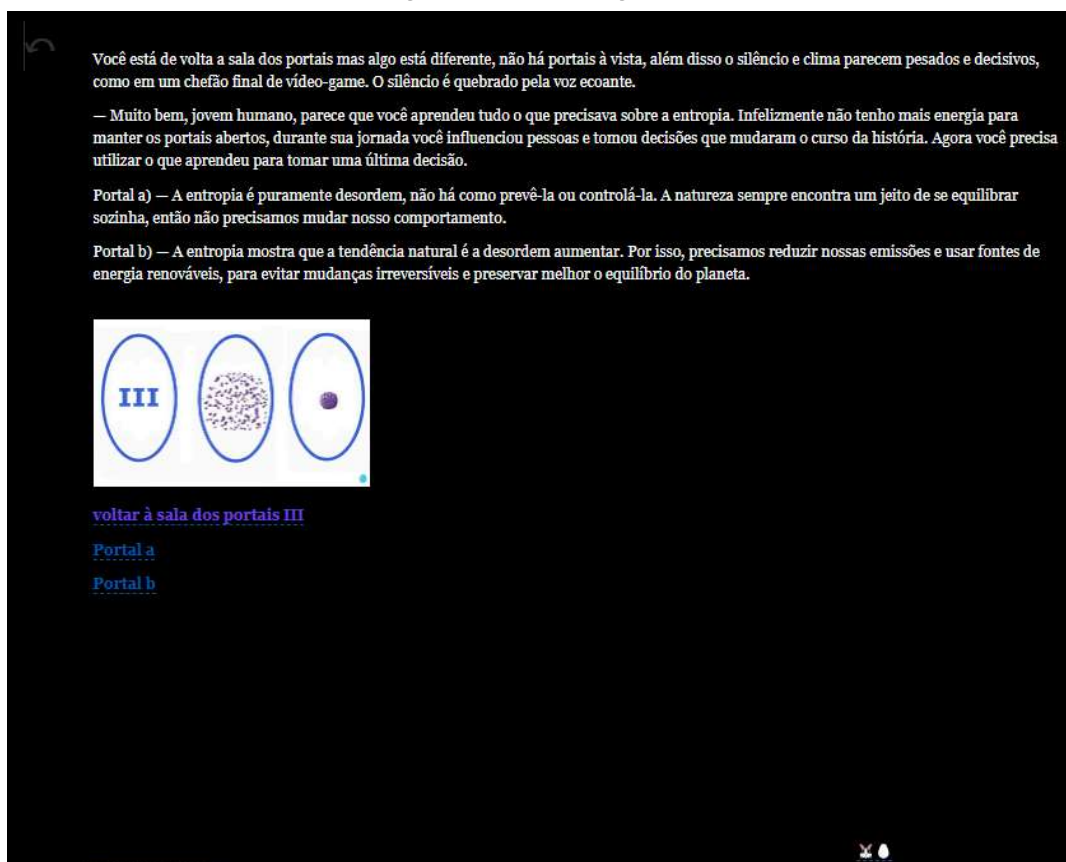
Fonte: Elaborada pelo autor (2025).

Uma voz misteriosa, então, recruta o protagonista para uma missão que envolve viajar por diferentes épocas e locais por meio de portais, aqui o leitor/jogador é apresentado à mecânica de escolha. Cada ambiente visitado apresenta problemas ambientais que funcionam como metáforas e exemplos narrativos dos conceitos relacionados à entropia.

Os ramos narrativos paralelos foram estruturados de maneira que cada trajetória apresenta conteúdo conceitualmente equivalente. Permitindo que o leitor/jogador possa vivenciar experiências distintas sem prejuízo à compreensão dos conteúdos abordados, assegurando consistência pedagógica independentemente do caminho escolhido.

Ao final da aventura, o leitor/jogador é submetido a um desafio que busca avaliar sua compreensão dos conceitos trabalhados ao longo da narrativa. Esse momento funciona como uma síntese da jornada, permitindo verificar se a experiência interativa contribuiu efetivamente para a assimilação do conceito de entropia.

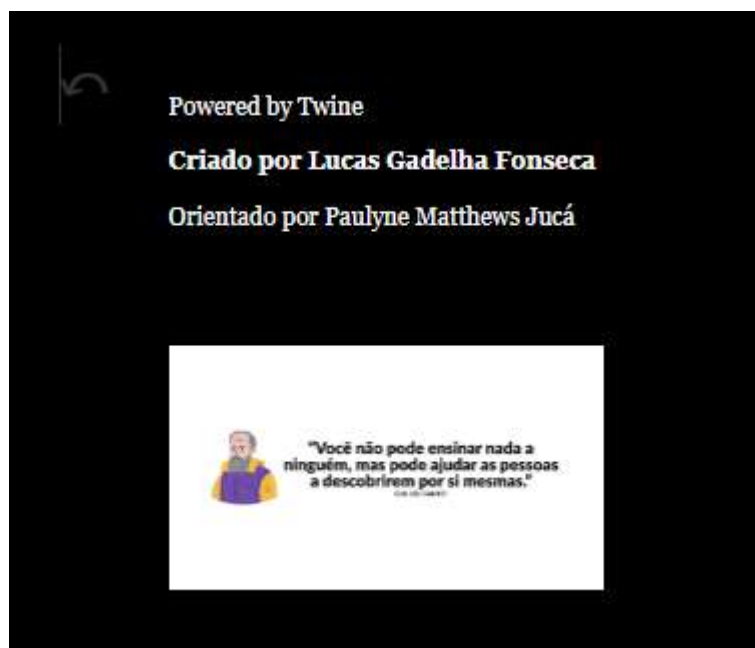
Figura 9 - Última página de escolha



Fonte: Elaborada pelo autor (2025).

No canto inferior direito da Figura 9 é possível observar um *Easter Egg*, um elemento oculto, muito comum em jogos digitais. Ao clicar nele o leitor/jogador irá para a página de créditos mostrada na Figura 10.

Figura 10 - Página de créditos, acessível pelo easter egg



Fonte: Elaborada pelo autor (2025).

4.3 Etapa de testes

A versão preliminar do jogo foi testada de forma presencial e remota, por meio do link disponibilizado no capítulo 4.2.5. Durante os testes, os leitores/jogadores utilizaram um dispositivo eletrônico para ler o livro-jogo digital, em sua maioria um smartphone. Os testes presenciais foram realizados com familiares com aplicação de questionário para observar a primeira impressão de novos leitores/jogadores ao livro-jogo digital, para revisão textual ou para apontamento de erros grosseiros. Já os testes com professores foram realizados de maneira remota com aplicação de questionários para coletar dados quantitativos sobre a usabilidade do livro-jogo digital, o questionário completo encontra-se no Apêndice B, e análise enviada por email contendo um parecer inicial com dados qualitativos.

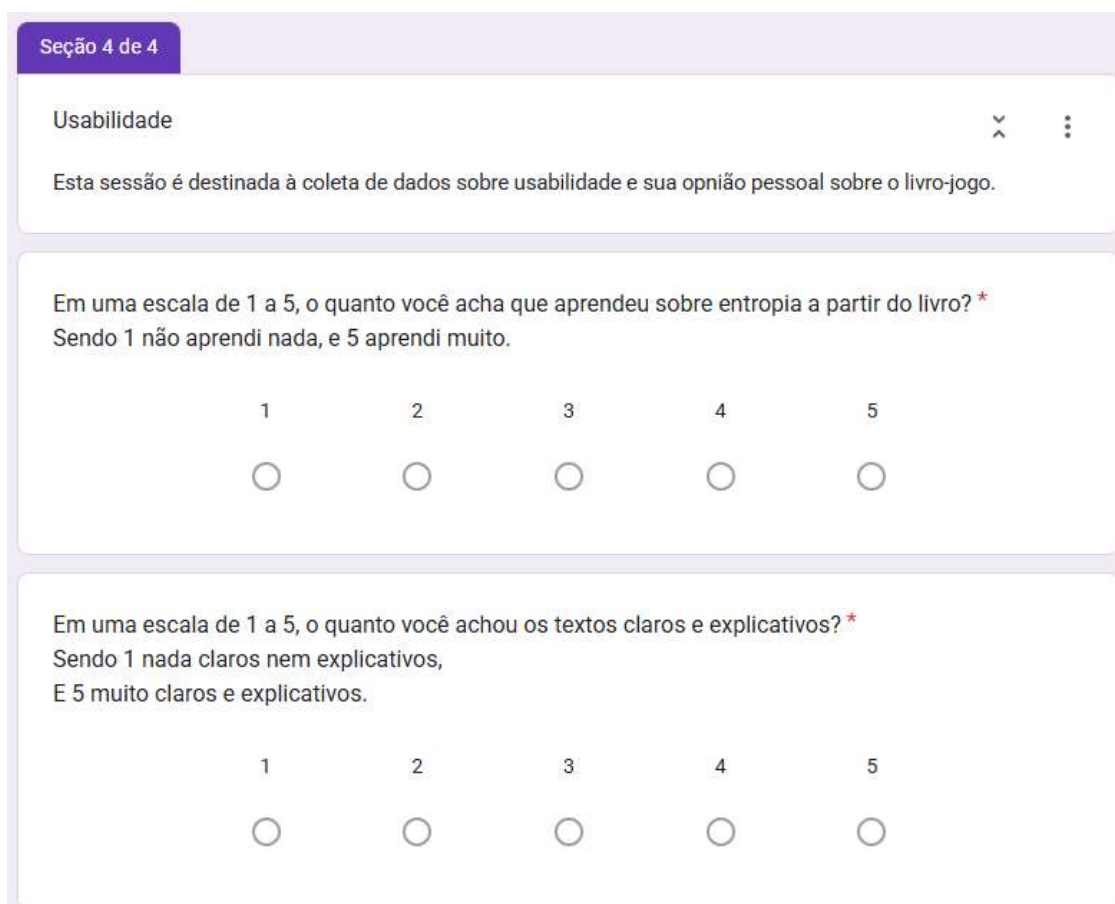
4.3.1 Questionário

O questionário foi aplicado por meio da plataforma Google Forms e continha perguntas relacionadas à usabilidade do livro-jogo, visando avaliar a percepção dos respondentes quanto à clareza e ao caráter motivador do conteúdo abordado.

Inicialmente, pretendia-se aplicar o questionário com uma turma de alunos antes e depois da leitura do livro-jogo digital para avaliar melhor a eficácia como ferramenta didática, entretanto, tal aplicação não foi possível devido a limitações de disponibilidade.

Para a mensuração de atitudes, opiniões e percepções subjetivas, foi utilizada a escala de Likert, permitindo a conversão dessas respostas em dados quantificáveis, conforme exemplificado na Figura 11.

Figura 11 - Questionário de usabilidade



Seção 4 de 4

Usabilidade

Esta sessão é destinada à coleta de dados sobre usabilidade e sua opinião pessoal sobre o livro-jogo.

Em uma escala de 1 a 5, o quanto você acha que aprendeu sobre entropia a partir do livro? *

Sendo 1 não aprendi nada, e 5 aprendi muito.

1 2 3 4 5

Em uma escala de 1 a 5, o quanto você achou os textos claros e explicativos? *

Sendo 1 nada claros nem explicativos,
E 5 muito claros e explicativos.

1 2 3 4 5

Fonte: Elaborada pelo autor (2025).

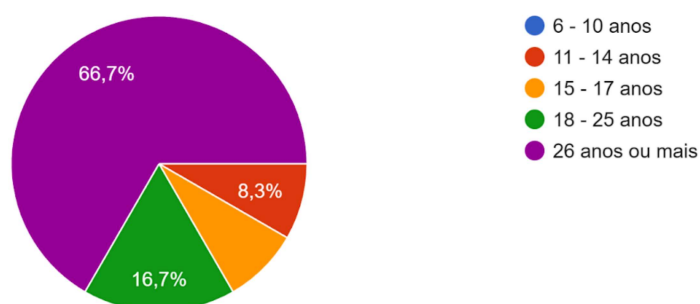
5 RESULTADOS

As respostas dos questionários foram convertidas em gráficos para melhor visualização tanto das respostas sobre o perfil dos participantes, como a idade média, mostrado na Figura 12, como as respostas referentes à usabilidade, como por exemplo, a Figura 13 que mostra que a maioria dos leitores/jogadores retornou à sala dos portais, inferindo que pretendiam explorar outros ramos da narrativa.

Figura 12 - Gráfico de idade dos participantes do questionário

Qual é sua idade?

12 respostas

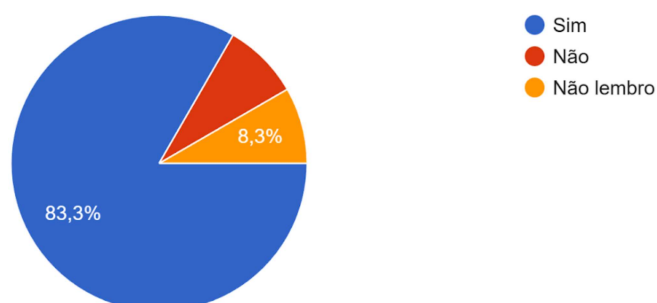


Fonte: Gerada pelo Google Forms (2025).

Figura 13 - Gráfico de retorno à sala do portal

(OBJETIVO) - Você voltou para uma SALA DO PORTAL que já havia passado?

12 respostas



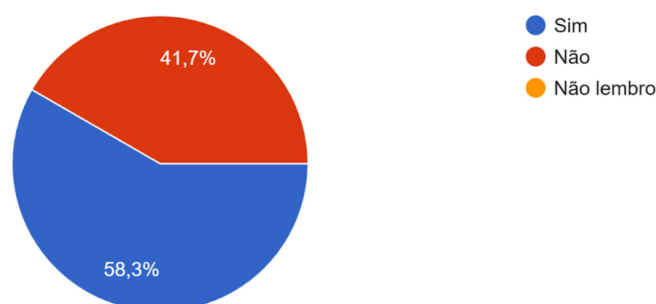
Fonte: Gerada pelo Google Forms (2025).

Também é possível perceber que os leitores/jogadores estavam determinados em seguir os caminhos que levam a progressão da história, dado observável na Figura 14, onde mais da metade dos leitores/jogadores não escolheram ramos que levam a um beco sem saída, além disso quase todos os participantes da pesquisa chegaram ao final do livro, como mostrado na Figura 15.

Figura 14 - Gráfico de página FIM DE JOGO

(OBJETIVO) - Você chegou a uma página de FIM DE JOGO? Página em que o personagem morre e deve retornar à página anterior

12 respostas

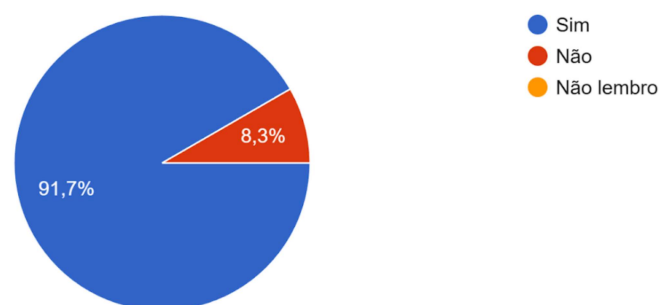


Fonte: Gerada pelo Google Forms (2025).

Figura 15 - Gráfico de página final

(OBJETIVO) - Você chegou ao fim do livro? Tanto a página de vitória quanto a página de derrota são válidas.

12 respostas



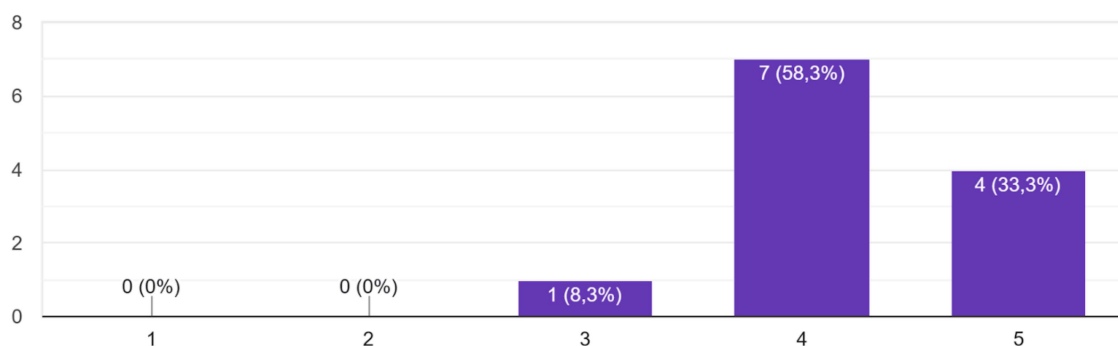
Fonte: Gerada pelo Google Forms (2025).

Para avaliar como o conteúdo pedagógico e motivador foi percebido sob a perspectiva dos leitores/jogadores, foram feitas perguntas relacionadas ao conteúdo e à clareza dos textos, alguns resultados podem ser vistos nas Figuras 16, 17 e 18, enquanto o questionário completo e os gráficos das respostas encontram-se no Apêndice B.

Figura 16 - Gráfico de assimilação de conteúdo em escala Likert

Em uma escala de 1 a 5, o quanto você acha que aprendeu sobre entropia a partir do livro? Sendo 1 não aprendi nada, e 5 aprendi muito.

12 respostas

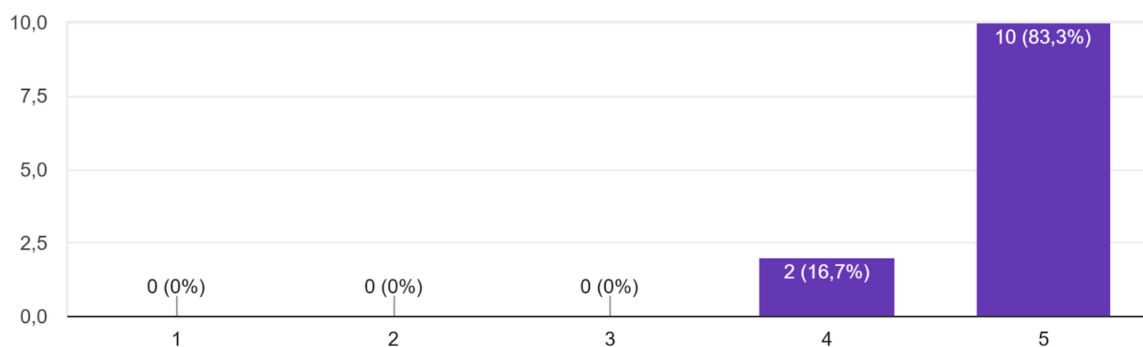


Fonte: Gerada pelo Google Forms (2025).

Figura 17 - Gráfico de clareza do material em escala Likert

Em uma escala de 1 a 5, o quanto você achou os textos claros e explicativos? Sendo 1 nada claros nem explicativos, E 5 muito claros e explicativos.

12 respostas

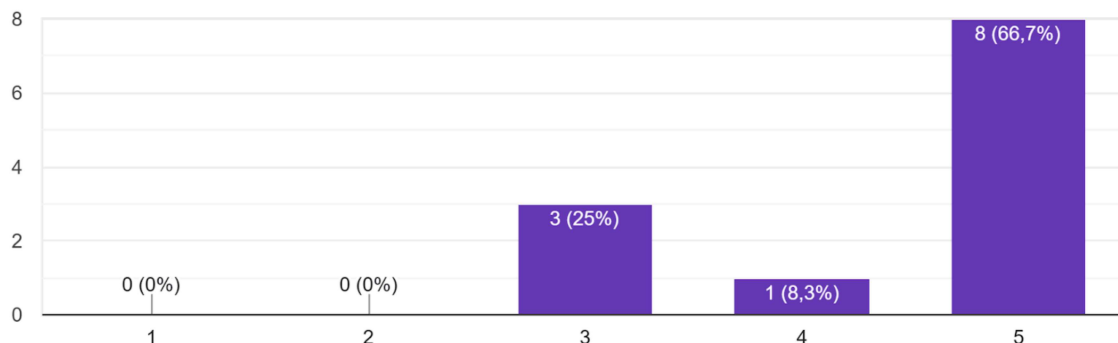


Fonte: Gerada pelo Google Forms (2025).

Figura 18 - Gráfico de motivação do material em escala Likert

Em uma escala de 1 a 5, o quanto o livro-jogo motivou você a saber mais sobre a entropia?

12 respostas



Fonte: Gerada pelo Google Forms (2025).

Os gráficos forneceram uma visão geral do livro-jogo digital sob a perspectiva de novos leitores/jogadores, evidenciando a compreensão da proposta e da mecânica narrativa. Sobretudo, para avaliar o material como ferramenta de apoio pedagógico, foram considerados os pareceres dos professores de Física: Airton Mendes, docente da Universidade Estadual do Ceará (UECE), e Carlos Augusto de Almeida, docente da Escola Cívico-Militar Presidente Tancredo Neves, que analisaram o conteúdo e a proposta do livro-jogo. De modo geral, os docentes apresentaram um parecer positivo quanto à utilização do livro-jogo digital como ferramenta pedagógica e motivadora, destacando seu potencial para engajar os alunos e auxiliar na compreensão do conceito de entropia. No entanto, também foram apontados aspectos passíveis de melhoria, especialmente no que se refere à clareza do foco pedagógico da narrativa e ao aprofundamento do conteúdo conceitual. Essas sugestões são evidenciadas na fala de Carlos Augusto, que afirma: “acho que ficou um pouco confuso qual é o foco da história, se é pra ensinar entropia poderia ter mais exemplos práticos e mais destaque nessa parte, e talvez ter mais perguntas sobre o assunto que ele acabou de ensinar pra ver se o leitor está realmente fixando o conteúdo”. Além disso, foram mencionadas melhorias relacionadas à padronização visual das imagens e à fluidez textual, com o objetivo de tornar a experiência mais clara, didática e alinhada ao propósito educacional do livro-jogo.

6 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Ao longo do desenvolvimento do projeto, foi possível conceber, estruturar e implementar o livro-jogo digital *Portais da Entropia*, integrando conteúdos de Física, conceitos de narrativas não lineares e uma metodologia de design adaptada. O material desenvolvido apresenta uma narrativa interativa organizada em diferentes ramos, permitindo ao leitor/jogador explorar situações fantasiosas relacionadas à entropia, sem prejuízo à coerência conceitual dos conteúdos abordados.

A avaliação realizada principalmente por meio das considerações feitas por professores de Física indicou resultados positivos quanto à usabilidade, à clareza dos textos e ao caráter motivador do livro-jogo. Os docentes destacaram o potencial do material como recurso pedagógico complementar, capaz de auxiliar no ensino do conceito de entropia em sala de aula e de estimular o interesse dos alunos por meio da participação ativa na narrativa. No entanto, também foram apontadas limitações, especialmente relacionadas à necessidade de maior clareza no foco pedagógico, ao aprofundamento do conteúdo conceitual por meio de exemplos práticos e à melhoria da fluidez textual e da padronização visual das imagens.

Embora o planejamento inicial previsse a aplicação do livro-jogo digital em uma turma regular do ensino fundamental II, com a utilização de questionários pré e pós-aplicação para mensurar o impacto do material na aprendizagem. Apesar da disponibilidade e do interesse do professor Airton Mendes em realizar a aplicação em uma de suas turmas, limitações relacionadas ao tempo disponível e ao período de entrega do trabalho impediram a execução dessa etapa. Como consequência, os resultados obtidos restringem-se a uma avaliação exploratória e qualitativa, não permitindo inferências conclusivas sobre a efetividade do livro-jogo digital no processo de aprendizagem.

Como trabalhos futuros, propõe-se a implementação das melhorias sugeridas pelos professores avaliadores, bem como a aplicação do livro-jogo digital em contexto escolar formal, acompanhada por um professor de Física. Recomenda-se, ainda, a utilização de um conjunto mais amplo de métricas e instrumentos avaliativos, incluindo questionários aplicados antes e depois da experiência com o livro-jogo, a fim de obter parâmetros mais precisos sobre sua eficácia como ferramenta de apoio ao ensino do conceito de entropia.

REFERÊNCIAS

- ALENCASTRO, Maria Clara; OLIVEIRA, Robson Mariano Euzébio de. **Livro-jogo: uma boa ferramenta de ensino?** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018.
- ALVES, Lynn. **Jogos, educação e história: novas possibilidades para a geração C.** Plurais: Revista Multidisciplinar da UNEB, Salvador, v. 1, n. 2, p. 209–225, 2010.
- BOMFIM, Gustavo A. **Metodologia para desenvolvimento de projetos.** João Pessoa: Editora Universitária/UFPB, 1995.
- BORTOLIN, Sueli. 12 de março, **Dia do bibliotecário: parabéns a todos, mas em especial àqueles que medeiam leitura para os adolescentes, um público ativo e inquieto.** In: OFAJ – Literatura infanto-juvenil, 2013. Disponível em: http://www.ofaj.com.br/colunas_conteudo.php?cod=733. Acesso em: 30 out. 2025.
- CREDIDIO, Diego de Camargo. **Metodologia de design aplicada à concepção de jogos digitais.** 2007. Dissertação (Mestrado em Design) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.
- FERREIRA, Marcello; SILVA FILHO, Olavo Leopoldino; BATISTA, Michel Corci; ABRÃO FILHO, Aziz; STRAPASSON, Alexandre; SANTANA, Ademir Eugenio de. **Ficção científica na transposição didática do conceito de entropia: a última pergunta de Isaac Asimov.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 45, e20230254, 2023. DOI: 10.1590/1806-9126-RBEF-2023-0254. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/374877958_Ficcao_cientifica_na_transposicao_didatica_do_conceito_de_Entropia_a_ultima_pergunta_de_Isaac_Asimov. Acesso em: 13 jul. 2025.
- FIGUEIREDO, Mauro; BIDARRA, José. **The development of a Gamebook for education.** *Procedia Computer Science*, v. 67, p. 322–331, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/283981597_The_Development_of_a_Gamebook_for_Education. Acesso em: 05 jan. 2026.
- GONÇALVES, Thaísa Antunes; RODRIGUES, Bárbara Oliveira. **Uma aventura em que o leitor é o herói: o livro-jogo como potencial para o incentivo à leitura literária de jovens.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIBLIOTECONOMIA, DOCUMENTAÇÃO E CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO, 25., 2013, Florianópolis. Anais [...] Florianópolis: FEBAB, 2013.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física. 9. ed. v. 2.** Rio de Janeiro: LTC, 2012.

KATZ, Demian. **Frequently asked questions**. In: **Demian Katz's Gamebooks**. [1998–2013]. Disponível em: http://www.gamebooks.org/show_faqs.php. Acesso em: 15 nov. 2025.

KOVALIK, Crislayne Gotardo; SANTOS, Oscar Rodrigues dos; FONTES, Adriana da Silva; BRAGA, Wladimir Sérgio; BATISTA, Michel Corci. **Uma proposta de aplicação de histórias em quadrinhos no ensino de física**. Caderno de Física da UEFS, Feira de Santana, v. 21, n. 1, p. 1503.1–1503.16, 2023.

NERI, Sarafago; OGLIARI, Lucas. **O livro-jogo como recurso didático-pedagógico no desenvolvimento da Educação Matemática Crítica**. Revista Insignare Scientia, v. 4, p. 221–233, 2021. DOI: 10.36661/2595-4520.2021v4i2.12088

PIMENTEL, Andréia Guerra; SPIEGEL, Carolina Nascimento; GOMES, Suzete Araújo Oliveira. **Livros-jogos e o ensino de Ciências Biológicas: uma revisão da literatura**. In: 28º Congresso Brasileiro de Biblioteconomia, Documentação e Ciência da Informação, 28., 2013, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: FEBAB, 2013. Disponível em: <https://portal.febab.org.br/cbbd2019/article/view/1259>. Acesso em: 15 nov. 2025.

PIMENTEL, Andréia Guerra; SPIEGEL, Carolina Nascimento; GOMES, Suzete Araújo Oliveira. **Livros-jogos e o ensino de Ciências Biológicas: uma revisão da literatura**. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 12., 2019, Natal. **Anais [...]**. Natal: ABRAPEC, 2019. Disponível em: https://editorarealize.com.br/editora/anais/conedu/2019/TRABALHO_EV127_MD4_SA16_ID2721_25032019153145.pdf. Acesso em: 21 out. 2025.

SALINAS, Silvio R. A. **Introdução à física estatística**. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo (EDUSP), 2005.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. Biblioteca Universitária. **Guia de normalização de trabalhos acadêmicos da Universidade Federal do Ceará**. Fortaleza: Biblioteca Universitária, 2013. Disponível em: <https://biblioteca.ufc.br/pt/servicos-e-produtos/normalizacao-de-trabalhos-academicos/>. Acesso em: 16 fev. 2025.

ZABALA, A. **A prática educativa: como ensinar**. Porto Alegre: Artmed, 1998.

APÊNDICES

APÊNDICE A – LIVRO-JOGO DIGITAL *PORTAIS DA ENTROPIA*

As páginas não possuem uma ordem de leitura específica mas foram ordenadas de acordo com os cards feitos na plataforma Twine.

1

INÍCIO

O dia está quente e ensolarado. você sai para caminhar na praia, mas o calor está muito intenso.

— Eita do sol quente! — Você exclama.

Enquanto você sente tudo girar e derreter a sua volta por conta do calor você se indaga:


— Se o sol é tão quente, então por que a terra não derrete?

Afinal, estamos expostos a radiação do sol 24 horas por dia.

Mas seu questionamento não vai longe, pois está ficando cada vez mais quente, você para em uma barraca próxima para pedir uma água de coco e vê que na televisão está passando um noticiário sobre uma imensa erupção solar, a maior dos últimos séculos, o repórter comenta:

As erupções solares são explosões que ocorrem na superfície do sol e fazem com que uma maior quantidade de radiação atinja a terra, deixando-a mais quente e causando diversos fenômenos...

Você se distancia da barraca pois tem a BRILHANTE ideia de olhar para o sol, para tentar ver a erupção “deve ser show de bola”.



Você observa aquela luz branca aumentar e aumentar até você não aguentar mais e desmaiar.

CLIQUE EM 'SALA DOS PORTAIS I' PARA CONTINUAR

[SALA DOS PORTAIS I](#)

2

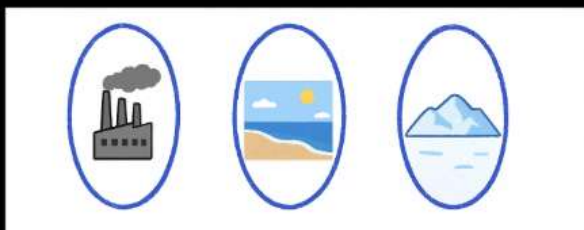
Você acorda em um lugar estranho, tudo é claro e você não consegue fazer distinção entre paredes e chão. Três objetos parecem se destacar naquele vazio infinito, ao caminhar em direção a eles você escuta uma voz ecoar:

— Olá, você foi escolhido para uma importante missão. Você deve desvendar os mistérios da entropia e salvar seu planeta da extinção.

— Eu não posso só voltar pra casa? — Você pergunta.

— Claro que pode, mas antes deveria garantir que há uma casa para voltar. A sua frente há 3 portais, em cada um deles há uma lição a ser aprendida e uma decisão a ser tomada. Lembre-se, a marcha do tempo é inevitável, mas cabe à nós escolher o que fazemos com o nosso tempo. Agora escolha por onde quer começar sua jornada.

ESCOLHA UMA DAS OPÇÕES ABAIXO PARA CONTINUAR



PODE CLICAR NA **PRAIA** PARA VER O QUE ACONTECE

[praia](#)

[Revolução industrial](#)

[Antártida](#)

3

Você acorda novamente na calçada e percebe que todos estão correndo descontrolados, o calor se intensifica cada vez mais, na televisão é apresentado o lamento de cientistas dizendo que tudo isso poderia ser evitado se a humanidade tivesse tomado atitudes mais ecológicas.

A televisão começa a chiar e desliga, a água começa a evaporar e parece que esse é o fim de tudo.



Sua aventura chegou ao fim, mas você pode retornar para sala dos portais.

[CLIQUE AQUI PARA VOLTAR](#)

Você está no centro de Londres em pleno século XVIII, em meio a um ambiente fumacento, cercado de grandes máquinas barulhentas.

4

Um operário grande e bigodudo o puxa pelo braço enquanto exclama:

– Finalmente enviaram o engenheiro! Vem aqui que vou te mostrar o serviço.

Ele o leva até uma máquina com uma placa escrita:

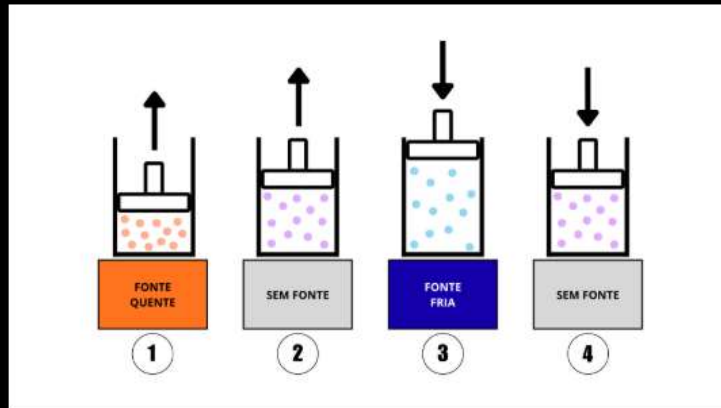
MOTOR DE CARNOT

Componentes: pistão, cilindro com gás, fonte quente e fonte fria.

Funcionamento:

O gás dentro do cilindro move o pistão em 4 etapas que se repetem continuamente e estão descritas abaixo.

- (1) - O gás é aquecido ao entrar em contato com uma fonte quente, recebendo calor e se expandindo.
- (2) - A fonte quente é removida, e o gás continua se expandindo por conta do movimento do pistão, resfriando naturalmente.
- (3) - O gás é comprimido enquanto está em contato com uma fonte fria, liberando calor para o ambiente.
- (4) - A fonte fria é retirada e o gás continua sendo comprimido, aumentando sua temperatura até retornar ao estado inicial, completando o ciclo.



O operário explica:

– Esse motor está com um problema, ele não possui 100% de eficiência energética, você sabe qual é o problema dele?

[Deve ter uma peça quebrada, deixa eu dar uma olhada pra ver se consigo consertar.](#)

[Esse motor nunca vai chegar a 100% de eficiência pois há perdas de energia por atrito ou calor que se dissipam no meio.](#)

[Estou achando que isso é problema de junta. Junta tudo e joga fora! HAHAHA](#)

5

Você tenta mover o pistão para observar onde ele faz contato com a fonte de calor quando o pistão prende sua camisa na fonte de calor, o gás do pistão continua expandindo até que a parede do cilindro não aguenta e explode destruindo tudo em seu redor, incluindo você.

Parece que a aventura acabou para você, mas, você pode escolher iniciar novamente ou retornar para a página “dos portais”.



[CLIQUE AQUI PARA VOLTAR](#)

6

— Perdas? Se alguma coisa for perdida aqui vai ser descontado do meu salário. Mas se o doutor é o engenheiro deve entender melhor essas coisas do que eu. Então o que a gente faz?

Acho que deveríamos investir em fontes de energia renováveis, mesmo que eficiência energética também não seja 100% ainda vai causar menos danos ao ambiente.

Acho que você deveria comprar mais máquinas, já que não dá pra gerar energia na qualidade temos que gerar na quantidade.

7

Operário:

— Comprar mais máquinas? Essa ideia sim parece boa! Quanto mais máquinas, mais energia, mais produção, mais lucro!

Ele corre animado para chamar outros operários e logo a fábrica inteira começa a se encher de novas máquinas, todas soltando fumaça escura e barulhenta.

O ar vai ficando pesado, quase irrespirável. Você tosse e percebe que a fuligem cobre suas roupas e mãos.

Você corre para o portal antes que fique impossível ver ou respirar ali.

[sala dos portais II](#)

8

Operário:

— Energias renováveis? O que é isso?

Jogador:

— É a energia gerada de fontes naturais e abundantes, que se renovam constantemente como o sol, o vento e várias outras fontes.



Operário:

— Energia de graça? Isso é incrível, quero colocar na fábrica o mais breve possível, como eu faço isso?

Mas antes que pudesse responder você sente algo te puxar e você é transportado daquele lugar.

[sala dos portais II](#)

9

5

Operário:

— Isso foi uma piada? Afinal, você é engenheiro ou comediante? Seja lá qual for sua carreira não me ajudou em nada. Acho melhor você voltar por onde veio, eu mesmo vou resolver comprando mais máquinas, se não dá para gerar muita energia com qualidade vou gerar com quantidade!

Decepcionado por não conseguir ingressar na carreira de humorista, você retorna ao portal de onde veio e o atravessa.

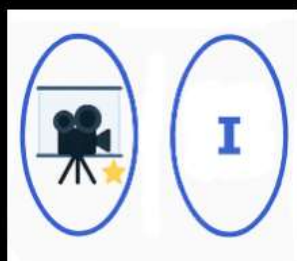
[sala dos portais II](#)

10

5

Você está de volta à sala dos portais, mas algo está diferente, os 3 portais continuam lá mas as imagens espectrais que eles exibem são diferentes. Antes que você possa averiguar melhor uma voz ecoa pelo salão:

— Olá novamente, parece que você viu de perto alguns dos fatores que estão fazendo a terra virar uma churrasqueira gigante. Você pode escolher voltar de onde veio, caso ache que ainda há algo para aprender, ou você pode escolher continuar com sua jornada para desvendar o que é a entropia. O que vai escolher?



AQUI VOCÊ PODE VOLTAR PARA VISITAR OUTRO RAMO DA HISTÓRIA OU CONTINUAR

[Voltar à sala dos portais I](#)

[Estúdio de cinema](#)



Você sai do portal, o sol está tão claro quanto na praia, mas ao invés de areia você está cercado de neve por todos os lados, tudo parece igual, apenas gelo e neve, mas ao longe você consegue avistar um grupo de pinguins.

Você se aproxima do grupo e percebe que um dos pinguins caiu na água e não consegue voltar para a geleira, você corre para ajudá-lo mas é parado por alguém.

Um homem com um grosso casaco laranja está segurando você pelo braço.

— Olá, colega, sinto muito, mas você não pode interferir na vida selvagem daqui, aliás, o que você está fazendo aqui?

— Não sei bem, acho que estou procurando um jeito de reverter o aquecimento global.

— Uau! Essa é uma missão muito nobre e difícil. Para ser bem sincero, não acho que seja possível, como você pretende fazer isso?



Posso começar salvando aquele pinguim (PULA NA ÁGUA)

Vou comprar várias geladeiras para produzir gelo e jogar no oceano para resfriá-lo.

Acho que a melhor solução seria reduzir as emissões de gases do efeito estufa e adotar formas de geração de energia limpa.

Antes que o homem de casaco laranja possa agir você corre para ponta da geleira e pula na água.

Você nada em direção ao pinguim, mas ele fica com medo e foge de você. O homem de casaco grita algo sobre hipotermia mas você não consegue escutar, você está muito longe e assim como aquele pinguim não consegue achar uma maneira de subir.

Você nada em volta da geleira em vão, seus membros estão queimando do esforço mas sua respiração está gelada, o peso da roupa molhada é gigantesco e você começa a afundar quando de repente você sente uma mudança de peso, a água parece se mover a sua volta e fica tudo escuro.



Infelizmente você foi engolido por uma orca e terá que recomeçar a aventura.

[CLIQUE AQUI PARA VOLTAR](#)

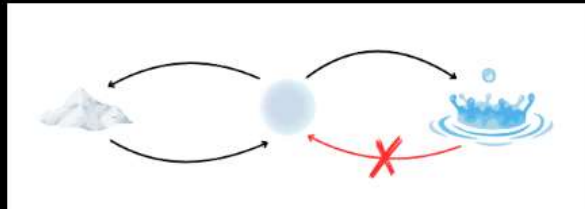
— Não acho que usar geladeiras para resfriar os oceanos seria uma solução viável. As geladeiras funcionam retirando o calor de dentro delas e jogando para fora, isso só deixaria a atmosfera mais quente. Além disso, a energia que elas usam para funcionar também gera calor, sem falar na poluição da sua fabricação. Vou te mostrar algo sobre processos reversíveis e irreversíveis.

Ele se agacha, pega um punhado de neve e o aperta nas mãos, formando uma bola.

— Se eu largar essa bola, ela pode voltar a ser neve solta, não é? Isso seria um processo reversível, em que as coisas poderiam, teoricamente, voltar ao estado inicial.

Ele então joga a bola de neve em uma poça de água próxima. A bola começa a derreter rapidamente.

— Agora, veja bem, quando a neve derrete e se mistura com a água, esse processo é irreversível. Você não consegue simplesmente “desderreter” e voltar a ter a mesma bola de neve sem gastar energia extra. Precisaríamos da geladeira, que utiliza energia da rede elétrica que por sua vez é proveniente de alguma usina. Se todas as usinas elétricas precisarem gerar mais energia para manter milhões de geladeiras ligadas, estaremos emitindo ainda mais gases do efeito estufa. Ou seja, essa solução pioraria o problema em vez de resolvê-lo.



— Se as usinas agravam o aquecimento global e as geladeiras também agravam o aquecimento global, então o que vamos fazer? Parar de usar energia elétrica?

— Não podemos frear totalmente o aquecimento global, mas podemos tomar medidas que o amenizem, como utilizar fontes de energia renováveis, como o sol e os ventos para diminuir o impacto no ambiente. Apesar de achar que talvez já seja tarde, estou com tanto calor que começo a alucinar com um portal atrás de você.

Antes que pudesse explicar qualquer coisa você é sugado pelo portal.

[sala dos portais II](#)

– Essa é uma ótima abordagem. Nós não podemos reverter o aquecimento global, mas podemos minimizá-lo com fontes de energia sustentáveis e mudanças no nosso modo de vida.

– Mas... por que não conseguimos reverter o aquecimento global?

O homem respira fundo, pega um pedaço de gelo e o mostra na palma da mão.

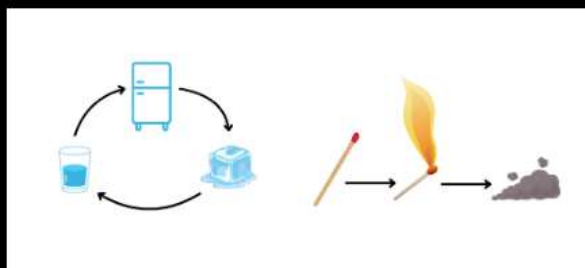
– Vou te dar um exemplo. Imagine o gelo derretendo. Ele vira água, mas se colocarmos de volta no congelador, conseguimos formar gelo de novo. Esse é um processo reversível, porque dá para voltar ao estado inicial.

Ele então acende um fósforo e o aproxima de um papel que tira do bolso. Em poucos segundos, o papel se transforma em cinzas.

– Agora veja: o papel queimado não pode voltar a ser o mesmo papel de antes. Esse é um processo irreversível.

Ele guarda as cinzas em uma pequena caixa e conclui:

– O aquecimento global se parece mais com o papel queimado. Algumas mudanças já aconteceram e não podemos simplesmente “desfazer” o que foi feito. Mas, assim como evitar queimar o papel em primeiro lugar, ainda podemos impedir que os danos fiquem muito piores. Investir em energias limpas, como solar e eólica, é um passo importante nessa direção.



O homem fica surpreso e aponta para trás de você.

– Que estranho, eu nunca havia visto uma aurora austral como essa.

Você olha para trás e percebe o mesmo portal que o trouxe ali. Antes que pudesse explicar qualquer coisa ao homem de jaqueta é puxado através do portal.

[Sala dos portais II](#)

Você está no meio da rua, por todos os lados pessoas passam fantasiadas, carregando câmeras e equipamentos, ao fundo você percebe um letreiro em uma montanha. Você está em Hollywood, no meio da gravação de um filme.

Uma mulher de colete, fone e prancheta corre em sua direção e pergunta:

— Oi, você é o convidado? Vem comigo, não dá para ficar aqui porque é onde vão gravar.

Você acompanha a mulher mas se pergunta, ela não deveria estar falando inglês? Como você a entende tão naturalmente? Deve ser a magia do roteiro.

Vocês sentam em cadeiras junto a equipe de filmagem e o diretor explica:

— Cuidado pessoal, essa uma cena muito complicada, temos que gravar e colocar no modo reverso na edição por conta da entropia reversa!

Ao ouvir a palavra “entropia”, você imediatamente se lembra da voz naquela sala estranha e pergunta:

— Você poderia me explicar melhor sobre essa tal de entropia?

— Claro, explicando de maneira resumida, ela mede o nível de desordem de um sistema, por exemplo, se eu tenho um quarto limpo e arrumado então a entropia é baixa, porém se esse mesmo quarto está bagunçado então a entropia é alta!



— Só isso? Então é só sair quebrando tudo pra aumentar a entropia.

— Esse é o ponto, independentemente do que você faça a entropia sempre vai aumentar, tudo sempre tende a desordem se o sistema em questão for o universo.

No exemplo do quarto temos um sistema isolado, nele podemos arrumar o quarto, isso significa uma diminuição da entropia dentro daquele sistema, mas se considerarmos a energia e a água gasta com a limpeza, o lixo que foi descartado em outro local e toda a cadeia produtiva dos recursos utilizados vemos que a entropia geral no universo aumentou.

— Acho que entendi. Mas o que isso tem haver com esse filme?

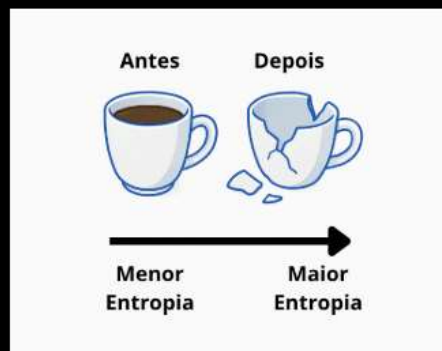
— Ah! É graças a um conceito chamado de seta do tempo, mas eu gostaria que você me explicasse como ele funciona.

Eu? mas eu nem entendi o primeiro conceito direito, poderia esclarecer melhor os dois?

Desculpa moça, não entendi nada do que você falou, eu estava distraído com aquele carro do Batman.

Já que a entropia sempre aumenta, meu palpite é que um estado de menor entropia sempre acontece antes de um de maior entropia, assim definindo a seta do tempo.

— Claro, a entropia é realmente um conceito complexo. Vou tentar mostrar um outro exemplo. Uma xícara cheia de café representa um estado de baixa entropia pois as moléculas de café estão todas ordenadas dentro da xícara, mas se essa xícara quebrar, as moléculas de café irão se espalhar pelo chão, caracterizando um estado de maior entropia. Assim, podemos definir um ordem para os acontecimentos, já que, naturalmente, um estado de menor entropia sempre acontece antes de um estado de maior entropia.



— Acho que agora entendi, então a xícara inteira aconteceu antes da xícara quebrada, afinal se a entropia pudesse diminuir, nesse caso veríamos cacos de xícara montando um xícara por conta própria.

[continuar](#)

— HaHaHa! Tudo bem, também acho aquele protótipo muito bem feito. Você acha que se dermos uma voltinha nele, você conseguiria se concentrar na entropia?

— Claro! vamos nessa.

Você entra no carro muito empolgado, mas ao sentar pisa no acelerador que está mal posicionado, afinal é um protótipo. O carro dispara em direção à uma parede próxima, colide contra ela e explode.

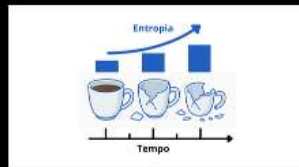


— No fim das contas acho que não é uma boa ideia deixar uma criança dirigir um protótipo automotivo. Ninguém sai ferido, a não ser você, que precisa reiniciar a aventura novamente.

[CLIQUE AQUI PARA VOLTAR](#)

— Isso mesmo! É por isso que o tempo sempre corre em um único sentido. Nessa cena, entretanto, acontece uma situação fictícia, em que a entropia de alguns objetos está invertida, fazendo com que a consequência aconteça antes da causa, como se eles constantemente voltassem no tempo. Se pegarmos o exemplo da xícara, veríamos primeiro a xícara quebrada e depois ela inteira, mas isso não acontece naturalmente.

Para gravar esse tipo de cena com entropia invertida, o diretor grava a cena isolada do objeto, por exemplo a xícara quebrando, inverte e coloca na cena final com edição.



— Entendi, mas tenho uma dúvida.

— Pode falar.

— Se a entropia sempre aumenta e tudo sempre tende a desordem, então já sabemos o que vai acontecer no futuro, tudo vai ficar tão desorganizado que não vai ter nada formando um objeto, só um monte de partículas fluando pelo espaço.

— Calma, talvez você esteja certo, mas existem fenômenos acontecendo hoje que a nossa física quântica não consegue explicar, imagine fenômenos que acontecerão no futuro. Mas uma coisa é certa, temos que cuidar do nosso planeta para que ele não acabe, a entropia não pode ser revertida, mas ela pode ser acelerada.

— Uau! Então isso é entropia?

— Bom, de certa maneira sim, mas ainda existe mais sobre a entropia para ser explicada, acho que está na hora de você voltar para entender. Você é sugado pelo portal de onde veio.

[sala dos portais III](#)

Você se encontra na sala dos portais e novamente o silêncio é quebrado pela voz misteriosa.

— Gostou do filme?

— Não cheguei a assistir, você me puxou antes.

— Não se preocupe, o filme é bom mas não é nenhum Jackie Chan, o jeito que aquele cara luta parece quebrar as leis da física!

— Ok...

— Enfim, ao que importa. Se você aprendeu tudo que precisa para prosseguir, pode enfrentar seu próximo desafio, mas se acha que precisa de mais informação ou se quiser pilotar aquele batmóvel pode voltar.



[Voltar para Estúdio](#)

[Cassino](#)

[Universidade](#)

Você chega e imediatamente é atingido pelo show de luzes, pela música alta e pelo espetáculo aquático do chafariz a sua frente. Você está em Las Vegas, em frente ao cassino mais conhecido do mundo, o Bellagio.

Você entra no cassino e se depara com uma infinidade de mesas e máquinas caça-níqueis, com pessoas apostando, rindo e chorando.

Um homem de chapéu se aproxima e fala com você.

— É triste, não? As pessoas vêm sonhando em ficar ricas, mas elas só irão perder dinheiro, estatisticamente a banca tem muito mais chances de ganhar do que nós.

— O que você veio fazer aqui então? Já que só vai perder dinheiro.

— Eu vim fazer um experimento. Pode não parecer, mas na verdade eu sou professor da faculdade de Las Vegas onde estamos fazendo uma pesquisa sobre entropia. Se quiser posso te levar até a universidade, minha colega tem um experimento pronto para demonstrar a natureza da entropia, ou então posso demonstrar aqui mesmo no cassino.

O que acha?



[Como você disse, esses jogos só tiram nosso dinheiro, eu gostaria de ver o experimento da faculdade.](#)

[Quero só ver como você vai me ensinar entropia num cassino](#)

[Prefiro tentar a sorte sozinho.](#)

Você aparece em frente à um prédio com uma enorme placa escrito “Universidade de Nevada - Las Vegas”. Uma mulher de jaleco aparece para recebê-lo.

— Olá, eu sou a professora Marie, e você deve ser o visitante que veio aprender sobre a entropia, certo? Gostaria de me acompanhar em um experimento?

— Claro!

Vocês vão até um laboratório repleto de tubos de ensaio, máquinas e telas. Você observa tudo com fascínio até que um homem de chapéu aparece a porta e fala:

— Boa noite, Doutora. Estou de saída para realizar uma observação científica no cassino, gostaria de me acompanhar?

— Boa noite, Doutor. No momento estou ocupada com um visitante, irei explicar um pouco sobre o que é a entropia.

— Isso é perfeito. Se ele quiser me acompanhar até o cassino, posso explicar um pouco como a entropia está relacionada à estatística, mas claro que a escolha é sua, visitante.



Aprender entropia e conhecer os cassinos de Las Vegas? pode contar comigo.

Desculpe mas irei recusar o convite, prefiro ficar longe dos perigos noturnos, além disso a professora reservou esse experimento para mim, então gostaria de vê-lo.

HaHaHa! Você tem razão, vamos aproveitar que viemos a um cassino e vamos tirar o maior proveito possível da situação. Bem ali está justamente o jogo de que preciso para demonstrar meu ponto.

Você acompanha o sujeito até uma mesa de dados, e ele explica:

— Esse jogo é muito simples: o jogador lança dois dados de 6 faces, e você aposta seu dinheiro no valor que a soma deles irá resultar. Por exemplo, o jogador acabou de rolar um dado com valor 5 e outro com valor 4, totalizando 9. Se tivéssemos apostado no 9, teríamos ganho. Então, quanto você acha que será o resultado?

Acho que vai dar 12, afinal é o máximo que pode dar.

Acho que vai dar 7, é meu número da sorte.

23

Os dados são lançados na mesa, eles rolam e o número 6 aparece, você se empolga e já imagina a mansão que vai comprar com o dinheiro, mas no outro dado aparece o número 1, totalizando 7, vocês perderam.



— Está tudo bem, garoto, nós perdemos, mas esse resultado mostra exatamente o que eu queria. Dos 11 resultados possíveis, o 7 é o que tem mais chances de acontecer, assim como na entropia.

— Espera um segundo. O que a entropia tem haver com dados?

[CONTINUAR](#)

24

Os dados são lançados na mesa, eles rolam e os números 3 e 4 aparecem. Você não consegue acreditar, vocês ganharam.



— Boa escolha, garoto, acabamos de ganhar 10 dólares, não é muito, mas posso te pagar um sorvete. Mais importante do que sorvete, o resultado dos dados mostra exatamente o que eu queria explicar. Dos 11 resultados possíveis, o 7 é o que tem mais chances de acontecer, assim como na entropia.

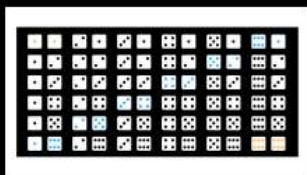
— Espera um segundo. O que a entropia tem haver com dados?

[CONTINUAR](#)

— Vou explicar. Um sistema isolado é como essa mesa de dados, as partículas do sistema podem se arranjar de várias maneiras, assim como o resultado dos dados. Se eu segurar essas partículas em um ponto do sistema eu tenho um sistema organizado e a entropia...

— Essa eu sei — Você o interrompe — A entropia diz que um sistema organizado sempre fica desorganizado com o tempo.

— Isso mesmo! Então se eu soltar 2 partículas desse sistema, e cada partícula puder se arranjar de 6 maneiras diferentes, então será como os dados. A chance delas se combinarem formando o número 12 ou número 1 é apenas uma, já que as duas precisariam dar o número 6 ou ambas precisariam dar o número 1, mas para formar o número 7 existem 6 combinações diferentes, são elas: 1 e 6; 2 e 5; 3 e 4; 4 e 3; 5 e 2; 6 e 1. Essas combinações representam quase uma média dos resultados possíveis, isso é o que a entropia dita, o resultado mais provável é o que vai acontecer.



— Mas 1 para 6 não é uma diferença tão grande, se eu continuar jogando os dados eventualmente vou tirar 12.

— Para esse caso sim, mas imagine que agora você vai lançar quatro dados, as chances de sair 24, caso os quatro fossem 6, continuaria 1, enquanto a chance de sair 14, o resultado médio, as chances seriam 146. Agora imagine que o número de dados é o número de átomos do universo. Outro exemplo que posso dar é jogar um balde de tintas misturadas em uma tela, existem bilhões de chances de apenas aparecer um borrão no quadro, mas só existe apenas uma única chance de pintar perfeitamente o quadro da Mona Lisa.

— Então uma xícara quebrada tem a chance de voltar a ser inteira novamente, mas isso é tão improvável que isso nunca acontece, é isso?

— Sim, o mesmo acontece se colocarmos uma xícara de café quente próximo a um sorvete gelado, os átomos de café possuem mais calor e estão mais agitados, assim sendo mais provável transferir parte desse calor para o sorvete e para o ambiente. O pouco calor presente nos átomos de sorvete poderia ser transferido para o café, mas isso é tão pouco provável que podemos dizer que nunca acontece.

— Se coisas improváveis nunca deveriam acontecer então qual é a chance de um portal dimensional aparecer de repente?

Mas antes que o cientista pudesse responder qualquer coisa você é sugado novamente pelo portal.

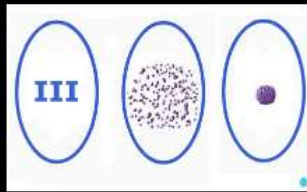
[sala dos portais 4](#)

Você está de volta a sala dos portais mas algo está diferente, não há portais à vista, além disso o silêncio e clima parecem pesados e decisivos, como em um chefe final de vídeo-game. O silêncio é quebrado pela voz ecoante.

— Muito bem, jovem humano, parece que você aprendeu tudo o que precisava sobre a entropia. Infelizmente não tenho mais energia para manter os portais abertos, durante sua jornada você influenciou pessoas e tomou decisões que mudaram o curso da história. Agora você precisa utilizar o que aprendeu para tomar uma última decisão.

Portal a) — A entropia é puramente desordem, não há como prevê-la ou controlá-la. A natureza sempre encontra um jeito de se equilibrar sozinha, então não precisamos mudar nosso comportamento.

Portal b) — A entropia mostra que a tendência natural é a desordem aumentar. Por isso, precisamos reduzir nossas emissões e usar fontes de energia renováveis, para evitar mudanças irreversíveis e preservar melhor o equilíbrio do planeta.



[voltar à sala dos portais III](#)

[Portal a](#)

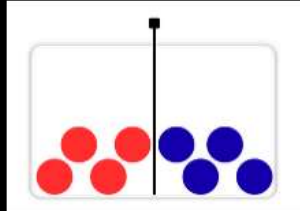
[Portal b](#)



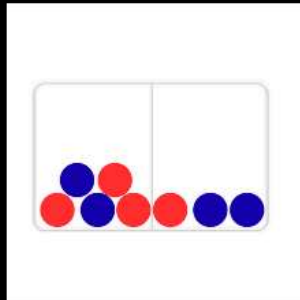
— Ótima escolha, a universidade é o melhor lugar para aprender na prática. Vamos realizar um experimento simples, basta esse equipamento.

A professora coloca sobre uma mesa, 4 bolas vermelhas, 4 bolas azuis e uma caixa transparente com uma portinhola no meio.

Então, a professora coloca as 4 bolas vermelhas na câmara esquerda da caixa e, em seguida, as 4 bolas azuis na câmara direita. Então, ela explica:



— Essa configuração é considerada um estado de **BAIXA ENTROPIA**, pois temos um estado **ORDENADO**. Todavia se abirmos a portinhola no meio da caixa e chacoalhar um pouco, agora temos 3 bolas vermelhas e 2 azuis do lado esquerdo 1 vermelha e 2 azuis do lado direito, esse estado é considerado **ALTA ENTROPIA**, pois o sistema está mais **DESORDENADO** do que antes.



Contudo ele ainda não atingiu seu estado de máxima entropia, você sabe qual é o estado de máxima entropia?

Quando tiverem 4 bolas de cada lado independente da cor.

Seria com 2 bolas de cada cor em cada lado?

— Você está quase certo. A entropia se trata da desordem do sistema, mas até essa desorganização tem um certo padrão, e esse padrão é estatístico. Tipo quando lançamos uma moeda, ela pode dar cara ou coroa, ou seja 50% de chance de cair um dos lados, por isso se lançarmos várias moedas o resultado mais provável é que metade seja cara e metade seja coroa.



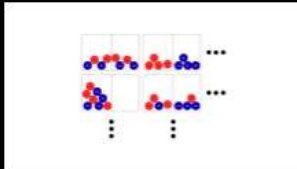
— Então quer dizer que se chacoalhar-mos a caixa de novo o resultado mais provável é ficar 2 bolas de cada cor em cada lado?

[É isso?](#)

— Exato! Se continuarmos chacoalhando, a probabilidade do sistema apresentar um estado desordenado é maior do que a probabilidade dele apresentar um sistema ordenado.

— Mas se eu continuar chacoalhando, em algum momento eu vou conseguir as bolas vermelhas de um lado e as azuis do outro, a entropia nem sempre vai em direção à desordem.

— Essa é uma boa observação, e é aí que entra a estatística. Se enumeramos as bolas como $V_1, V_2, V_3, V_4, A_1, A_2, A_3$ e A_4 , e observamos que cada bola pode assumir dois micro-estados, o lado direito da caixa ou o lado esquerdo da caixa, temos, assim, 256 macro-estados possíveis.



— Uau, são muitas combinações!

— Sim, e as chances de todas as bolas vermelhas ficarem de um lado da caixa e as azuis do outro lado como no início do experimento são apenas 2 em 256, isso é, menos de 1% de chance, enquanto há cerca de 27% de chance de ter duas bolas de cada cor de cada lado. Isso significa que a cada 256 chacoalhadas, em apenas 2 momentos o sistema estará em um macroestado de baixa entropia e em 70 momentos estará em um macroestado de alta entropia. Isso porque estamos avaliando um sistema minúsculo, se houvessem 6 bolas de cada cor, as combinações como todas as bolas vermelhas na esquerda ou na direita e as azuis no lado oposto continuariam 2, mas haveriam 4096 combinações diferentes, isso é as chances do sistema apresentar um macroestado de baixa entropia são 0,05%, enquanto as chances do sistema apresentar um macroestado de alta entropia são de quase 10%. E esse sistema continua pequeno se comparado a quantidade de moléculas no universo interagindo e sendo chacoalhadas a todo momento.

Nº de bolas de cada cor	Probabilidade de entropia mínima	Probabilidade de entropia máxima
2	12,5%	25%
4	0,781%	14,062%
6	0,049%	9,765%
8	0,003%	7,470%
10	0,0002%	6,056%

— São muitos números, mas acho que entendi. A entropia aumenta porque é o resultado mais provável de acontecer quando você chacoalha alguma coisa?

— HaHaHa! Isso mesmo, basta trocar o chacoalhado por tudo o que acontece no mundo: o vento que sopra, a água que corre, o calor do sol, até o ar que respiramos. Tudo está sempre se mexendo e misturando. E então? que tal observarmos outro experimento?

Mas antes que você pudesse responder, um portal surge e você é transportado novamente para a sala dos portais.

[Sala dos portais IV](#)

30

QUE PENA!

Parece que a praia continua esquentando, talvez você não tenha feito a melhor escolha para o planeta, ou talvez a entropia seja muito caótica para ser dominada.



Mas não desista ainda, você pode tentar salvar o planeta novamente.

[REINICIAR](#)

31

PARABÉNS!!!

Você dominou a entropia e fez o máximo que pode para ajudar a preservar o planeta.

Pode voltar para praia e curtir seu coco gelado. Mas lembre-se nada de canudinho plástico.



32

Você vai até uma máquina caça-níqueis que acabou de desocupar. Você vê uma moeda perto do slot de pagamento da máquina e decide jogar.

Você coloca a moeda na máquina, baixa a alavanca e observa as roletas de figuras girarem. As roletas vão perdendo velocidade até pararem bruscamente nas imagens de uma cereja, o número 7 e um buraco negro?

Surge, então, uma singularidade a sua frente e começa a engolir você e tudo a sua volta.



Pelo visto o universo não quer que você desvie da sua rota por ganhos pessoais

[CLIQUE AQUI PARA VOLTAR](#)

33

Powered by Twine

Criado por Lucas Gadelha Fonseca

Orientado por Paulyne Matthews Jucá



"Você não pode ensinar nada a ninguém, mas pode ajudar as pessoas a descobrirem por si mesmas."

GALILEO GALILEI

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DO LIVRO-JOGO

Questionário do Google Forms convertido para texto por meio do complemento *Form to Docs da* Pipiform.

Avaliação de usabilidade de para ensino de entropia

1. TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está sendo convidado(a) a participar da pesquisa “Usabilidade do livro-jogo para o ensino de entropia”, que tem como objetivo avaliar a experiência dos usuários com o material desenvolvido.

Sobre a pesquisa

Sua participação consiste em responder a este formulário, que inclui perguntas sobre sua experiência de uso do livro-jogo, bem como algumas informações demográficas (nome, idade e escolaridade).

As respostas serão utilizadas apenas para fins acadêmicos, no âmbito de um Trabalho de Conclusão de Curso (TCC).

Riscos e benefícios

Os riscos envolvidos são mínimos, restritos ao desconforto eventual em responder às perguntas.

Como benefício, sua participação contribuirá para a melhoria de materiais didáticos inovadores para o ensino de conceitos de Física.

Confidencialidade

Os dados coletados serão analisados de forma sigilosa e não serão divulgados individualmente.

Nenhuma informação pessoal será utilizada fora do contexto desta pesquisa.

Participação voluntária

Sua participação é voluntária e você pode se recusar a responder qualquer pergunta ou desistir a qualquer momento, sem qualquer prejuízo.

Contato

Em caso de dúvidas, você pode entrar em contato com o(a) pesquisador(a):

Lucas Gadelha Fonseca — Email: lgfonseca@alu.ufc.br / Celular: (85)997293453

Consentimento

Ao selecionar a opção “Li e concordo em participar da pesquisa”, você declara estar ciente das informações acima e consente em participar deste estudo.

Select one

Li e concordo em participar da pesquisa

Dados demográficos

Sessão destinada a definição do público que realizou o teste do livro-jogo.

2. Qual o seu nome?

3. Qual é sua idade?

- 6 - 10 anos
- 11 - 14 anos
- 15 - 17 anos
- 18 - 25 anos
- 26 anos ou mais

4. Qual sua escolaridade atual?

- Fundamental 1
- Fundamental 2
- Ensino Médio
- Ensino Superior
- Superior completo

Objetivos

Antes de realizar o teste o autor pode ter pedido que você cumprisse alguns objetivos enquanto lia o livro-jogo, mesmo que ele não tenha pedido é possível que você tenha cumprido alguns objetivos.

Esta sessão visa coletar dados relacionados ao cumprimento desses objetivos.

Link do livro-jogo: https://lucas-gadelha.github.io/livro_jogo_entropia/

5. (OBJETIVO) - Você fez uma escolha? Clicou no texto para ir para outra página

- Sim
- Não

6. (OBJETIVO) - Você voltou para uma SALA DO PORTAL que já havia passado?

- Sim
- Não
- Não lembro

7. (OBJETIVO) - Você visitou a mesma página 2 vezes? Realizou um loop

- Sim
- Não
- Não lembro

8. (OBJETIVO) - Você chegou a uma página de FIM DE JOGO? Página em que o personagem morre e deve retornar à página anterior

- Sim
 Não
 Não lembro

9. (OBJETIVO) - Você chegou ao fim do livro? Tanto a página de vitória quanto a página de derrota são válidas.

- Sim
 Não
 Não lembro

10. Nessas páginas, Vitória ou Derrota, são gerados alguns números no final, como mostrado na imagem, você poderia digita-los em ordem, separados por vírgula?

Ex: 2,4,6,9,10,15,17,15,18,19,20.

Usabilidade

Esta sessão é destinada à coleta de dados sobre usabilidade e sua opinião pessoal sobre o livro-jogo.

11. Em uma escala de 1 a 5, o quanto você acha que aprendeu sobre entropia a partir do livro?

Sendo 1 não aprendi nada, e 5 aprendi muito.

- 2 3 4 5 6

12. Em uma escala de 1 a 5, o quanto você achou os textos claros e explicativos?

Sendo 1 nada claros nem explicativos,

E 5 muito claros e explicativos.

- 2 3 4 5 6

13. Em uma escala de 1 a 5, o quanto você achou o livro divertido?

Sendo 1 nada divertido,

E 5 muito divertido.

- 2 3 4 5 6

14. Em uma escala de 1 a 5, o quanto o livro-jogo motivou você a saber mais sobre a entropia?

- 2 3 4 5 6

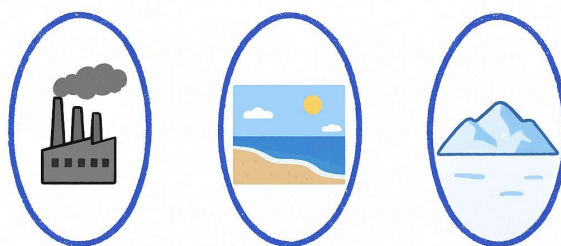
15. Você tem alguma dúvida ou comentário sobre o livro-jogo? Qual?

APÊNDICE C – UTILIZAÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL (IA) GENERATIVA

Aqui serão demonstrados os prompts utilizados no modelo de IA generativa chatGPT e seus respectivos resultados.

Prompt 1: poderia criar outra imagem igual a essa mas invés do texto dentro dos portais poderia colocar uma imagem simples da revolução industrial, da praia e da antártida?

Olá, você foi escolhido para uma importante missão. Você deve desvendar os mistérios da entropia e salvar seu planeta da extinção.



Prompt 2: poderia fazer outra imagem, com o modelo parecido com esse mas mostrando buraco negro nos 3 slots e com um buraco negro aparecendo a frente da máquina distorcendo o ar em volta.



Prompt 3: poderia gerar uma imagem desse trecho? Você acordar novamente na calçada, percebe que todos estão correndo descontrolados, o calor se intensifica cada vez mais, na televisão é apresentado o lamento de cientistas dizendo que tudo isso poderia ser evitado se a humanidade tivesse tomado atitudes mais ecológicas. A televisão começa a chiar e desliga, a água começa a evaporar e parece que esse é o fim de tudo. "Sua aventura chegou ao fim, mas você pode retornar para sala dos portais."



Prompt 4: poderia gerar uma imagem desse trecho Antes que o homem de casaco laranja possa agir você corre para ponta da geleira e pula na água. Você nada em direção ao pinguim, mas ele fica com medo e foge de você. O homem de casaco grita algo sobre hipotermia mas você não consegue escutar, você está muito longe e assim como aquele pinguim não consegue achar uma maneira de subir. Você nada em volta da geleira em vão, seus membros estão queimando do esforço

mas sua respiração está gelada, o peso da roupa molhada é gigantesco e você começa a

afundar quando de repente você sente uma mudança de peso, a água parece se mover a sua volta e fica tudo escuro. Infelizmente você foi engolido por uma orca e terá que recomeçar a aventura.



Prompt 5: poderia fazer uma imagem de um pinguim se afogando no mar com blocos de gelo em volta, próximo de uma geleira alta em que você e um homem de casaco laranja observam surpresos

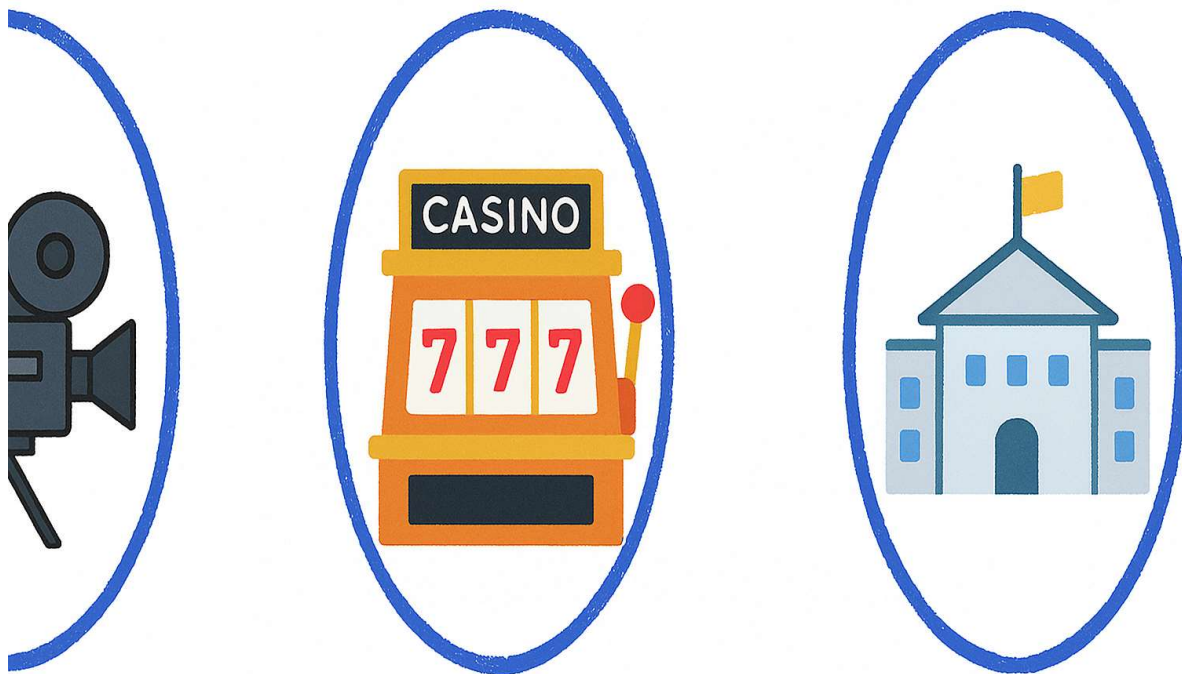


Prompt 5: Você entra no carro muito empolgado, mas ao sentar pisa no acelerador que está mal posicionado, afinal é um protótipo. O carro do batman



dispara em direção à uma parede próxima, colide contra ela e explode. poderia fazer uma imagem desse trecho?

Prompt 6: bom dia, chat, poderia fazer uma imagem semelhante a essa, mas com os portais sendo estúdio de cinema, cassino e universidade?



Prompt 7: poderia gerar a imagem de uma xícara inteira e do lado dela a mesma xícara só que quebrada?



Prompt 8: Poderia refazer a imagem usando essa xícara de referência e com os quadros mais centralizados na imagem?

