

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 24 – UFJF / IF – SUDESTE MG

Abílio Bittar

Rally da Física: uma abordagem problematizadora e lúdica do ensino de termodinâmica

Juiz de Fora

2024

Abílio Bittar

Rally da Física: uma abordagem problematizadora e lúdica do ensino de termodinâmica

Dissertação apresentada ao Polo 24 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Juiz de Fora / Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Física na Escola Básica.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Henrique Dias Menezes

Juiz de Fora
2024

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Bittar, Abílio.

Rally da Física : uma abordagem problematizadora e lúdica do ensino de termodinâmica / Abílio Bittar. -- 2024.
219 f.

Orientador: Paulo Henrique Dias Menezes
Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais, ICE/IFSEMG. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2024.

1. PBL. 2. CTS. 3. jogo. 4. termodinâmica. 5. ensino de física. I. Menezes, Paulo Henrique Dias, orient. II. Título.

Abílio Bittar

**RALLY DA FÍSICA: UMA ABORDAGEM PROBLEMATIZADORA E LÚDICA
DO ENSINO DE TERMODINÂMICA**

Dissertação apresentada ao Polo 24 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Juiz de Fora / Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Física na Escola Básica.

Aprovada em 28 de junho de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Paulo Henrique Dias Menezes - Orientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. André Maurício Brinatti
Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof. Dr. Andre Gondim Simao
Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais - Campus Juiz de Fora

Juiz de Fora, 27/06/2024.



Documento assinado eletronicamente por Paulo Henrique Dias Menezes, Professor(a), em 04/07/2024, às 19:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por Andre Gondim Simão, Usuário Externo, em 10/07/2024, às 23:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por André Maurício Brinatti, Usuário Externo, em 11/07/2024, às 16:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-U f (www2.ufjf.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador 1842078 e o código CRC 3381A9BC.

Dedico este trabalho aos meus pais Salim Bittar e Ada Bittar que sempre estão presentes em minha memória.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter iluminado meus caminhos nesta trajetória. Tenho imenso agradecimento aos meus pais Salim Bittar e Ada Bittar, pôr em vida sempre torcer, acreditar e me incentivar a estudar e nunca desistir.

Aos professores da banca examinadora, André Gondim Simão e André Maurício Brinatti, pelas correções e contribuições.

Ao grupo de estudos intitulado “Os veteranos”: Antônio Carlos de Amaral, Anderson Kneipp Duarte e Erick de Oliveira Feitosa, pelas ricas discussões que vieram a contribuir para o presente trabalho.

Ao meu orientador, Paulo Henrique Dias Menezes, pelo apoio na orientação deste trabalho, pelas valiosas sugestões e observações, e pela extrema paciência que possibilitaram novas reflexões e crescimento intelectual.

Aos professores Marlon Cesar de Alcantara, Wilson de Souza Melo e Júlio Akashi Hernandes que já no processo de seleção do mestrado avaliaram e contribuíram no projeto inicial do trabalho. Em especial ao professor José Luiz Matheus Vale e o Marlon que vieram acompanhado e criticando o trabalho durante o curso.

À psicóloga Gisele Torres de Souza, que acompanhou as aplicações do produto.

Aos demais discentes do MNPEF da UFJF/IF-Sudeste-MG que, de alguma forma, colaboraram para o presente trabalho.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

Sou capaz de imaginar o prazer de um artista ao observar seu quadro pronto, a alegria de um escritor ao pegar no livro recém editado. Vocês são capazes de imaginar o prazer que tenho ao preparar uma aula de qualidade?

Sou professor! Esta é minha obra de arte!

RESUMO

Neste trabalho apresentamos o desenvolvimento e a aplicação de um produto educacional para o ensino de conceitos de termodinâmica orientada pela metodologia da aprendizagem baseada em problemas (*Problem Based Learning* – PBL) e pelo enfoque CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade). A dinâmica do trabalho consiste na apresentação de uma história inicial, acompanhada de um vídeo, que visa a imersão dos estudantes em uma situação problema que tem como foco as consequências da poluição causada por veículos movidos por motores à combustão nos grandes centros urbanos. Na sequência, os estudantes, organizados em equipes, participam de um jogo, denominado Rally da Física, em que serão estimulados a explorar diversos conteúdos associados às leis da termodinâmica e ao rendimento dos motores à combustão. No final, as equipes são convidadas a completar a história inicial, dando um desfecho ao problema apresentado. O produto educacional foi aplicado em uma turma do 3º ano do ensino médio de uma escola pública. Consideramos que a escolha da metodologia da PBL foi satisfatória e que, aliada aos recursos lúdicos do jogo, permitiu que conseguíssemos motivar e gerar engajamento dos estudantes no aprendizado da Física. Apesar das dificuldades ocorridas durante a aplicação, observamos ao longo do processo momentos de cooperação entre os colegas de equipe e o empenho das equipes em superar os desafios apresentados em nível de competição. Esse contexto motivou os estudantes e favoreceu o ambiente de aprendizagem. Esse envolvimento também foi percebido nas pesquisas realizadas pelos estudantes na resolução dos diferentes problemas apresentados, fornecendo indícios de uma aprendizagem significativa.

Palavras-chave: PBL, CTS, jogo, Termodinâmica, ensino de física.

ABSTRACT

In this work we present the development and application of an educational product for teaching thermodynamics concepts guided by the problem-based learning methodology (PBL) and the CTS (Science, Technology and Society) approach. The dynamics of the work consists of presenting an initial story, accompanied by a video, which aims to immerse students in a problem situation that focuses on the consequences of pollution caused by vehicles powered by combustion engines in large urban centers. Next, students, organized into teams, participate in a game, called Physics Rally, in which they will be encouraged to explore various content associated with the laws of thermodynamics and the performance of combustion engines. At the end, the teams are invited to complete the initial story, providing an outcome to the problem presented. The educational product was applied to a 3rd year high school class at a public school. We consider that the choice of PBL methodology was satisfactory and that, combined with the game's playful resources, it allowed us to motivate and generate student engagement in learning Physics. Despite the difficulties that occurred during the application, throughout the process we observed moments of cooperation between teammates and the teams' commitment to overcoming the challenges presented at the competition level. This context motivated students and favored the learning environment. This involvement was also noticed in the research carried out by students in solving the different problems presented, providing evidence of significant learning.

Keywords: PBL, CTS, game, thermodynamics, physics teaching.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Estrutura CTSA	21
Figura 2: Representação esquemática da lei zero da termodinâmica	27
Figura 3: Experimento de Joule para determinar a equivalência calor/energia	30
Figura 4: Representação esquemática da 1ª lei da termodinâmica	32
Figura 5: Eolípila de Herin	33
Figura 6: Máquina térmica de Newcomen	34
Figura 7 : Esquema ilustrativo da máquina de Newcomen modificada por Watt	35
Figura 8: Representação esquemática de uma máquina térmica	36
Figura 9: Transformação cíclica no motor	36
Figura 10: Gráfico do ciclo de Carnot	38
Figura 11: Esquema de um refrigerador “miraculoso”	40
Figura 12: Representação esquemática de um moto perpétuo	41
Figura 13: Fluxo de calor da fonte fria para fonte quente às custas de um trabalho	41
Figura 14 : Moto perpétuo de segunda espécie acoplado ao refrigerador	42
Figura 15: Modelo do Tabuleiro em perspectiva	48
Figura 16: Tela do jogo com a primeira aparição de Carnot	49
Figura 17: Tela do APP com dica sobre os valores apresentados	50
Figura 18: Registro da pré-aplicação da história/imersão	53
Figura 19: Espaço preparado para os estudantes se deitarem	55
Figura 20: Modelo do motor de 4 tempos	59
Figura 21: Estudantes jogando os dados e anotando os valores	60
Figura 22: Tela do aplicativo indicando erro na correlação entre as grandezas	63
Figura 23: Dica do aplicativo sobre o erro na correlação entre as grandezas inseridas	63
Figura 24: Imagem de captura de tela do quebra-cabeça dinâmico	66
Figura 25: Resposta da equipe “Acorda Pedrinho”	67
Figura 26: Captura de tela com <i>feedback</i> do APP	70
Figura 27: Explicação do APP para incoerência do valor 1.3 para o rendimento	72
Figura 28: Imagem da tela do aplicativo para os valores indicados no quadro anterior	75
Figura 29: Dica do aplicativo para a situação de rendimento de 1.3	75
Figura 30: Cálculo do rendimento mostrado no APP	78
Figura 31: Tela do aplicativo com os dados sugeridos pela equipe Acorda Pedrinho	81
Figura 32: Aparecimento de Carnot no APP	82
Figura 33: Nossa caracterização como Policial	85
Figura 34: Kit do personagem “Polícia da Escola”	86
Figura 35: Pesquisador caracterizado durante a aplicação do jogo	86
Figura 36: Imagem do aplicativo utilizado para explicar as probabilidades aos estudantes	88
Figura 37: Folha do JDM preenchida pela equipe Aloprados	90
Figura 38: Imagem da tela do APP com os dados fornecidos pela equipe Alopradas	92
Figura 39: Folha de resposta da equipe Acorda Pedrinho	93
Figura 40: Captura de tela com os dados da equipe Acorda Pedrinho	94
Figura 41: Exemplo de ficha utilizada no jogo dialogado	98
Figura 42: Tela do APP com a indicação dos dados originais do 1º exercício	99
Figura 43: Tela do jogo da memória aplicado após o JDM	100
Figura 44: Resposta de um dos estudantes para solucionar o problema do carro	101
Figura 45: Exemplo de resposta dada à questão 3 (a).	102
Figura 46: Exemplo de resposta dada à pergunta 3 (b)	103
Figura 47: Exemplo de resposta ao item 3 (c).	103
Figura 48: Estudantes respondendo o questionário	104
Figura 49: Sugestão de levar o monstro para a igreja	105

Figura 50: Sugestão de estimular o usos de bicicletas e patins	105
Figura 51: Sugestão de acabar com os veículos a combustão	105
Figura 52: Destaque do conhecimento proporcionado	106
Figura 53: Exemplo de resposta dada à questão 13	107
Figura 54: Self do professor deitado junto com a turma durante a narração da história	108
Figura 55: Resultados esperados pela equipe 2110 na primeira atividade	113
Figura 56: Justificativa da equipe 2110	113
Figura 57: Interpretação da dica – equipe 2110	113
Figura 58: Interpretação da 1ª dica – equipe 2110	114
Figura 59: Dica do APP para a situação em que Q_1 é igual ao trabalho	115
Figura 60: Dica do APP para os valores sugeridos pela equipe 2110	115
Figura 61: Parte da folha de resposta da equipe 2110 para na segunda atividade	116
Figura 62: Folha de resposta da primeira atividade da equipe “Tropa do Omar”	117
Figura 63: Tela do APP com os dados sugeridos pela equipe “Tropa do Omar”	118
Figura 64: Resultado esperado da equipe “Tropa do Omar” para a segunda atividade	118
Figura 65: Folha de respostas da equipe “Aloprados”	119
Figura 66: Quadro de respostas da equipe Aloprados para a atividade 2	120
Figura 67: Indicação do resultado esperado da equipe Aloprados	120
Figura 68: Trecho do texto produzido pela equipe “Tropa do Omar”	122
Figura 69: Trecho do texto produzido pela equipe “Acorda Pedrinho”	122
Figura 70: Trecho do texto produzido pela equipe “2110”	123
Figura 71: Trecho do texto produzido pela equipe “As Mosqueteiras”	123

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 PRINCÍPIOS BÁSICOS DA PBL NA CONSTITUIÇÃO DO JOGO RALLY DA FÍSICA.....	14
2.1.1 O trabalho em grupo como pilar da PBL.....	15
2.1.2 Os papéis do estudante e do professor na PBL.....	16
2.1.3 Etapas estruturantes da PBL adaptadas ao jogo Rally da Física	17
2.1.4 O desenvolvimento do cenário problemático	18
2.1.5 O processo de resolução do problema	19
2.2 O ENFOQUE CTS NO JOGO RALLY DA FÍSICA	20
2.2.1 Os problemas socioambientais associados ao jogo	23
2.3 AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE APRENDIZAGEM.....	24
2.4 DESAFIOS E LIMITAÇÕES DA METODOLOGIA PROPOSTA.....	25
3. PRINCÍPIOS FÍSICOS ABORDADOS NO PRODUTO EDUCACIONAL.....	27
3.1 LEI ZERO DA TERMODINÂMICA	27
3.2 O CALOR COMO FORMA DE ENERGIA.....	29
3.3 DEFINIÇÃO DE CALOR E A 1ª LEI DA TERMODINÂMICA	32
3.3.1 Generalização da lei de conservação.....	33
3.4 AS MÁQUINAS TÉRMICAS	33
3.5 TRANSFORMAÇÃO CÍCLICA NO MOTOR	37
3.6 A 2ª LEI DA TERMODINÂMICA E O CICLO DE CARNOT.....	38
3.6.1 Rendimento da máquina ideal de Carnot	39
3.6.2 Enunciados de Kelvin e de Clausius para a 2ª lei da termodinâmica	41
4. O DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO EDUCACIONAL	44
4.1 A HISTÓRIA VIAGEM.....	44
4.1.1 A narrativa do/a professor/a.....	45
4.2 O JOGO RALLY DA FÍSICA	49
5 PERCURSO METODOLÓGICO	53
5.1 O CONTEXTO DA APLICAÇÃO DO PRODUTO	53
5.2 DESCRIÇÃO DETALHADA DA APLICAÇÃO DO PRODUTO.....	54
5.2.1 A História Viagem – vivência guiada.....	54

5.2.2	Relato da aplicação da História Viagem	57
5.2.3	Iniciando o Rally da Física.....	60
5.2.4	O Quebra-cabeça dinâmico	68
5.2.5	A Continuação do Jogo – (aulas 5 e 6).....	70
5.2.6	Probabilidade e início do jogo dialogado modificado – (aulas 7 e 8).....	86
5.2.7	Redação do final da história – (aulas 09 e 10 – 20/06/22).....	97
5.2.8	O jogo dialogado – (aulas 11 e 12 – 01/07/2022)	99
6	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	104
6.1	ANÁLISE DO QUESTIONÁRIO APLICADO AO FINAL DA HISTÓRIA INICIAL	104
6.1.1	Questões Interativas - Números 2 e 3	104
6.1.2	Questões interpretativas e de equilíbrio emocional.....	108
6.1.3	Questões de avaliação da atividade pelos estudantes	109
6.2	ANÁLISE DO JOGO RALLY DA FÍSICA	111
6.2.1	Dificuldades enfrentadas.....	112
6.2.2	O Jogo Dialogado Modificado (JDM).....	114
6.2.3	Análise do Jogo Dialogado.....	115
6.2.4	Análise dos textos produzidos pelas equipes	124
6.2.5	Análise geral do jogo e de sua aplicação.....	127
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	132
	REFERÊNCIAS	135
	APÊNDICE A – TEXTOS PRODUZIDOS PELAS EQUIPES	139
	APÊNDICE B – MANUAL DO PRODUTO EDUCACIONAL: RALLY DA FÍSICA.....	144

1. INTRODUÇÃO

No ensino de física ainda é comum se deparar com uma prática pedagógica expositiva e unilateral, na qual o aluno assume uma postura passiva de ouvinte enquanto o professor explana sobre o conteúdo a ser ensinado. Diante disso é perceptível a necessidade de se buscar caminhos para o planejamento de aulas lúdicas, interessantes, prazerosas e interativas, uma vez que a motivação é um elemento propulsor no processo de ensino e aprendizagem.

Neste trabalho desenvolvemos um produto educativo que é uma ferramenta potencialmente lúdica para tornar o estudante um agente ativo no processo de ensino e aprendizagem. Trata-se de um jogo dinâmico intitulado Rally da Física. A proposta é embasada na metodologia de Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL), associada às potencialidades do enfoque CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade) na educação em ciência, visando promover a criticidade, o protagonismo e o envolvimento social dos estudantes.

O produto tem início com a narração interativa de uma história problematizadora que utiliza recursos de vídeo, relaxamento e outras estratégias narrativas e de contextualização utilizadas pelo professor para gerar uma imersão no mundo fictício de uma história, em que jovens, oriundos do campo, visitam seus avós na cidade grande e se deparam com um problema inerentes à poluição causada por veículos. A partir de uma questão norteadora, os estudantes serão instigados a pesquisar a respeito de veículos a combustão e das questões ambientais que eles envolvem.

Na sequência utilizamos o jogo para a construção dos conceitos necessários ao entendimento das situações apresentadas na história e ao embasamento para a resolução do problema central que deverá ocorrer no encerramento do trabalho, quando os estudantes são convidados a criarem um desfecho para o problema apresentado na história inicial.

No jogo os estudantes são desafiados a enfrentar desafios pertinentes a uma corrida de rally em que devem resolver problemas utilizando conhecimentos de termodinâmica aplicados ao funcionamento dos motores a combustão, utilizados na maioria dos veículos. Ao apresentarmos os conceitos de termodinâmica a partir de um objeto tecnológico, criamos um contexto de significação dos conceitos, leis e teorias que serão estudados de maneira a incentivar o interesse dos estudantes pelos conteúdos de ensino.

O jogo é orientado por uma abordagem CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade), na qual se discute a questão do uso intensivo do motor a combustão, apesar do seu baixo rendimento, e das consequências ambientais decorrentes.

Nesse sentido, o produto educacional, desenvolvido para fins deste trabalho, visa promover a formação crítica do estudante ao envolvê-lo na solução de problemas ambientais e sociais, por meio de decisões orientadas pela ciência. Este estudo tem como objetivo avaliar a efetividade da nova metodologia de ensino na promoção do engajamento ativo dos estudantes na resolução de problemas complexos, analisando a frequência com que eles propõem soluções inovadoras e a qualidade das estratégias utilizadas. Temos como objetivo avaliar e detectar o envolvimento dos estudantes na busca de soluções das situações problemas. O jogo busca exercitar o desenvolvimento de valores e a capacidade de tomada de decisão. Segundo Santos (2008, p.112), a educação em ciências com enfoque CTS visa

[...] promover a educação científica e tecnológica dos cidadãos, auxiliando o aluno a construir conhecimento, habilidades e valores necessários para tomar decisões responsáveis sobre questões de ciências e tecnologia na sociedade e atuar na solução de tais questões.

Com isso, pretendemos estimular uma aprendizagem crítica por parte dos estudantes, exercitando-os na pesquisa e no debate para que possam se posicionar diante de problemas sociais, com tomadas de decisões referendadas no conhecimento científico, frente a política de tecnociência referente ao uso dos veículos a combustão.

1.1 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O texto desta dissertação está organizado da seguinte forma:

No capítulo 2 apresentamos o embasamento teórico que dá sustentação a este trabalho. São destacados o papel do jogo como recurso didático, os princípios básicos da metodologia de Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL¹); e a estruturação do jogo no âmbito desta metodologia.

No capítulo 3 apresentamos uma breve discussão dos principais conceitos físicos abordados no produto educacional: a 1ª e a 2ª leis da termodinâmica e os conteúdos a elas relacionados.

O capítulo 4 traz o relato do desenvolvimento do produto educacional, da relação dos desafios e orientação sobre o jogo e os recursos que foram utilizados.

No capítulo 5 apresentamos o relato detalhado do percurso metodológico trilhado, com a descrição de todas as etapas da aplicação do produto em condições reais de sala de aula.

O capítulo 6 traz a análise realizada a partir dos resultados obtidos na aplicação do produto educacional, seguidos das nossas considerações finais, apresentadas no capítulo 7.

¹ Neste trabalho optamos por manter a sigla original PBL (Problem Based Learning).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O produto educacional resultante deste trabalho foi estruturado na metodologia de Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL) associada à potencialidade do enfoque ciência, tecnologia e sociedade (CTS) na educação em ciências e aos aspectos lúdicos inerentes aos jogos educacionais. Nas próximas seções apresentaremos a descrição dos atravessamentos desses referenciais na concepção do jogo Rally da Física.

2.1 PRINCÍPIOS BÁSICOS DA PBL NA CONSTITUIÇÃO DO JOGO RALLY DA FÍSICA

A metodologia da aprendizagem baseada em problemas, do inglês *Problem-Based Learning* (PBL), teve início na *McMaster University's Faculty of Health Sciences*, começou a ser desenvolvida no Canadá no final da década de 1960, objetivando a melhoria na formação de estudantes de medicina (BARROWS, 1996).

Logo que foram observados os resultados satisfatórios dessa metodologia, ocorreu a sua ampliação para as universidades de Maastricht (Holanda) e Newcastle (Austrália), se popularizando como uma inovação metodológica/curricular, que vem sendo utilizada com bastante sucesso mundo afora, agora não só nas universidades de medicina, mas também em cursos diversos (biologia, física, engenharia etc.) e diferentes níveis de educação (fundamental, médio e superior) (Barrows, 1996; Borges et al., 2014; Hung; Jonassen; Liu, 2008; Souza; Dourado, 2015).

De um modo geral, a PBL busca ativar a motivação dos estudantes ao apresentar problemas a serem solucionados por eles, preferencialmente relacionados a elementos cotidianos, em sua origem, o que a torna uma metodologia centrada no aluno, portanto uma metodologia ativa, diferenciando-se do tradicional ensino informativo/expositivo (Berbel, 1998; Borges et al., 2014).

Segundo Souza e Dourado (2015, p. 184-185) a PBL configura-se como

[...] uma estratégia de método para aprendizagem, centrada no aluno e por meio da investigação, tendo em vista à produção de conhecimento individual e grupal, de forma cooperativa, e que utiliza técnicas de análise crítica, para a compreensão e resolução de problemas de forma significativa e em interação contínua com o professor tutor.

No contexto do ensino tradicional os estudantes não estão habituados a enfrentarem situações de desafio. Em nossa experiência didática com jogos em sala de aula observamos os mais diferentes comportamentos dos estudantes ao enfrentarem os desafios apresentados em jogos individuais ou em grupo, tais como: a euforia, o desconforto, a frustração com o fracasso,

o prazer e o desprazer de vencer ou perder uma partida etc. No entanto, quase sempre prevalece a motivação e o envolvimento na solução dos desafios propostos.

A maioria das pessoas deseja ficar longe de situações conflituosas, portanto pode parecer inconsistente pensar numa proposta de aprendizagem baseada nos problemas. Situações problema geram ansiedade, podem fazer as pessoas se sentirem mal, de forma física ou emocional. Nesse sentido, caberá ao professor criar ambientes e oportunidades para que os estudantes possam aprender a lidar com essas situações. A resolução de problemas, individual ou em grupo, consiste em um fator motivador, exigindo dos estudantes o desenvolvimento de métodos e critérios para alcançar a solução, o que torna o conhecimento mais significativo e firmemente ancorado em suas estruturas cognitivas (Hung; Jonassen; Liu, 2008; Tatar; Oktay, 2011).

Nesse sentido, consideramos que o jogo pode ser um recurso potencialmente lúdico como suporte para aplicação da PBL, pois ele oferece oportunidades de enfrentamento de problemas que motivam e exigem dos estudantes a estruturação e a articulação de conhecimentos que, em geral, são adquiridos de forma fragmentada no contexto da educação tradicional.

2.1.1 O trabalho em grupo como pilar da PBL

A metodologia ativa da PBL, na situação de jogo, gera uma intensa relação entre os estudantes na busca pela solução dos problemas apresentados, produzindo convergências e divergências sob a mediação do professor, que deverá interferir o mínimo possível. Temos, portanto, situações nas quais os estudantes devem aprender a ser cooperativos, tolerantes, rigorosos etc. (Souza; Dourado, 2015).

Na PBL estimula-se não só a aprendizagem do conteúdo, mas também o desenvolvimento de atributos relativos à formação pessoal e social dos estudantes (Borges et al., 2014; Souza; Dourado, 2015). Nesse sentido, é importante que estes desempenhem diferentes papéis em um grupo: coordenador, relator, auxiliar etc. No caso do Rally da Física esses papéis podem assumir terminologias próprias, para forçar a ludicidade, como: piloto do carro, navegador, mecânico, electricista, médico etc. Cabe ao coordenador da equipe o papel de orientar a discussão, definir objetivos e metas, organizar as falas – evitando, por exemplo, que todos falem ao mesmo tempo – e estimular a participação. Os coordenadores de equipe podem auxiliar o professor no gerenciamento das atividades propostas. Já o relator tem a função de registrar as atividades realizadas pelo grupo, controlar o tempo e organizar os resultados para apresentação final.

2.1.2 Os papéis do estudante e do professor na PBL

Na PBL o problema pode ser apresentado antes mesmo do estudo formal do conteúdo necessário para sua resolução. Nesse tipo de abordagem espera-se que os estudantes possam assumir o protagonismo da sua própria aprendizagem, o que lhes permitirá desenvolver autonomia, raciocínio crítico, habilidade de comunicação, dentre outras habilidades (Borges, et al., 2014), por meio de um processo de aprendizado dinâmico em que bases teóricas e testes são trabalhados simultaneamente.

É importante que o professor tenha em mente que ao adotar a PBL, como direcionamento metodológico, toda a dinâmica da sala de aula fica modificada. O professor não pode mais se portar como um mestre que se posiciona em frente à classe para explicar sobre um assunto. De modo geral, na condução das atividades, o professor deverá atuar ora como tutor, ora como juiz. Será levado a buscar e a construir o conhecimento junto com os estudantes. Para isso é necessário que haja um período de transição em que ocorra uma abordagem gradativa para a adaptação tanto dos estudantes quanto dos professores.

Levando em consideração que a maior parte do processo de aprendizagem ocorrerá durante a resolução dos problemas, o professor deverá alternar entre as posturas de professor juiz e de professor tutor.

Na postura de professor juiz, que ocorrerá principalmente durante o jogo dinâmico, o professor não poderá oferecer ajuda durante a resolução dos problemas pelas equipes ou grupos, e isso deve ficar claro para todos os estudantes. Uma postura neutra é fundamental ao papel do professor juiz e contribuirá para o bem-estar de todos. Até mesmo os tradicionais questionamentos que poderiam servir de orientação para construção do conhecimento devem ser evitados. O professor juiz deverá oportunizar situações em que a construção do conhecimento se dê pela interação entre os diversos atores do contexto da corrida. Ele poderá, por exemplo, motivar a competição estimulando e favorecendo a ludicidade, produzindo um tom de voz apropriado a cada contexto, ou usando outros meios de encenação que favoreçam a imersão do aluno no ambiente do jogo.

No início os estudantes poderão sentir dificuldades em relação à postura do professor juiz, ficando à espera de um gabarito ou de comentários que possam ajudar a elucidar a problema. Durante a observação das equipes, o professor deverá fazer anotações de pontos importantes para debater posteriormente com os estudantes. O foco da atenção deve estar na equipe que estiver jogando no momento.

São atribuições do professor juiz:

- Oferecer toda a ambientação do jogo.
- Apresentar de forma clara e objetiva todas as regras e colocar à disposição dos estudantes um texto com as referidas regras.
- Apresentar as questões de forma desafiadora e contextualizadas, favorecendo a ambientação do jogo.
- Fornecer o material necessário para a resolução de cada etapa, permitindo ou não o uso do celular e de outros recursos (livro, vídeo, material experimental, e outros), dependendo da situação.

O professor deverá tratar com muito cuidado as divergências que poderão ocorrer entre as equipes. O alto grau de competição, que se faz importante no jogo, poderá trazer algumas situações indesejáveis, por isso é importante que o professor esteja atento o tempo todo.

Já a postura do professor tutor deverá ser assumida caso o problema fique recorrente a uma situação extrema em que as equipes não consigam “sair do lugar”, no caso de o jogo ficar “travado”. No papel de tutor, o professor passa a ser um mediador na relação dos estudantes com o conhecimento adquirido e o conteúdo de ensino necessários à resolução do problema. Ele ajuda na aprendizagem dos conhecimentos, conceitos da disciplina; instiga a competição nos grupos, realça a importância do trabalho em equipe para se obter um resultado satisfatório, favorece e motiva a criatividade na solução dos desafios (Souza; Dourado, 2015).

Caso o grupo não apresente a solução correta o professor tutor deverá se limitar apenas a questionar e a oferecer orientações de estudo, nunca deve oferecer a resposta aos estudantes. No caso específico do jogo as orientações ficaram a cargo dos diferentes feedbacks do APP. Poderá refazer a pergunta novamente de uma forma ligeiramente modificada. Neste momento seu comportamento se aproxima ao do professor juiz.

Há momentos em que a postura de professor tutor se aproxima da postura tradicional do professor, por isso deve-se ter o cuidado de questionar e auxiliar os estudantes, mas sem resolver o problema ou apresentar as soluções para eles.

Em qualquer postura, juiz ou tutor, é importante que o professor mantenha a motivação dos estudantes, estimulando a competição e destacando a cooperação do trabalho em equipe. Deve ficar claro que todos aprendem juntos.

2.1.3 Etapas estruturantes da PBL adaptadas ao jogo Rally da Física

Aqui apresentaremos as etapas da PBL adaptadas ao jogo Rally da Física, mas mantendo seus princípios norteadores. No jogo existe uma variedade de situações apresentadas como desafios aos estudantes. As diversas situações procuram levar em conta o grau de

dificuldade dos desafios, o material necessário à pesquisa e o espaço de trabalho dos estudantes. Essas situações são orientadas pelas etapas estruturantes da PBL, a saber:

- Primeira Etapa: As equipes são apresentadas ao cenário problematizador (Vídeo, material experimental, texto etc.).
- Segunda Etapa: Procede-se o levantamento das hipóteses e o planejamento da investigação.
- Terceira Etapa: Tentativa de resolução do problema utilizando os conhecimentos prévios.
- Quarta Etapa: Consulta ao material disponível para a resolução do desafio específico.
- Quinta Etapa: Apresentação da solução ou das dificuldades encontradas para a resolução do problema.
- Sexta Etapa: Avaliação da atividade.

No jogo propriamente dito a avaliação ocorrerá durante uma etapa denominada “jogo dialogado”, e em diferentes momentos, de modo a não prejudicar a dinâmica e a fluidez do jogo.

2.1.4 O desenvolvimento do cenário problemático

Na PBL, em sua concepção original, o estudo deve partir de uma única situação problema. Deve-se dar uma atenção especial à proposição do problema, pois pode haver casos em que os conhecimentos a serem adquiridos podem não fazer parte do objetivo estabelecido ou serem insuficientes para sua solução.

No Rally da Física, em que ocorre uma adaptação da PBL ao jogo, são propostos desafios mais objetivos e direcionados para dar suporte à solução do problema norteador da proposta. Procuramos criar situações problemas com aspectos relativos a motores, defeitos dos veículos e outras situações que podem ocorrer em uma corrida. Assim pretendemos estimular e envolver os alunos na solução dessas situações. Para isso foram utilizados vários recursos, como vídeos, textos, material concreto, filmes etc. (Edens, 2000; Souza; Dourado, 2015; Tatar; Oktay, 2011).

O jogo como um todo se configura como um problema dinâmico de múltiplos aspectos. Entretanto, ao jogarem os estudantes serão apresentados a problemas que podem ser classificados em três grandes grupos:

- a) Problemas de desafios específicos
- b) Problemas da dinâmica de jogo

c) Problemas históricos

Os Problemas de desafios específicos serão apresentados pelo professor juiz após a tentativa de ligar o veículo, o que ocorrerá mediante um possível sorteio, caso seja direcionado a uma equipe apenas. O professor deverá fazer a leitura do desafio para toda turma de forma clara e objetiva.

Os problemas da dinâmica de jogo estão presentes nos ajustes que os estudantes devem fazer, relativos à primeira e à segunda leis da termodinâmica, o rendimento dos motores e as estratégias de jogo. Já os problemas históricos serão abordados por meio das conversas com Carnot e versam sobre aspectos históricos relacionados às máquinas térmicas e à época em que ele viveu.

Na proposição dos desafios o professor deverá adotar a postura do professor juiz e não poderá fornecer informações que possam ajudar as equipes a resolverem o problema. Este é um posicionamento difícil para um professor acostumado a responder de forma objetiva aos questionamentos dos estudantes. Sugere-se que sejam dadas orientações genéricas aos estudantes no sentido de ambientá-los à forma de enfrentamento dos desafios, tais como: “O que nós sabemos sobre o problema?”; “O que precisamos saber?” e “O que nós precisamos fazer?” (Edens, 2000).

Perguntas específicas sobre a dinâmica do jogo e suas estratégias podem ser usadas apenas no jogo dialogado ou no jogo dialogado modificado. A seguir apresentamos alguns exemplos.

- Quais números vocês desejam obter nesta rolagem de dados?
- Por que este ou aquele número ocorre mais do que outros?
- Os números que saem mais são os que vocês desejam obter?
- Por que vocês desejam obter este resultado na rolagem dos dados?

No jogo dialogado, como já relatado, pedimos aos estudantes que explicitem seus desejos e objetivos ao jogarem, entretanto no JDM o mesmo problema é apresentado a todas as equipes ao mesmo tempo. A etapa seguinte consiste na formulação das hipóteses baseadas no conhecimento prévio que os estudantes já possuem e que irão orientar a solução do problema.

2.1.5 O processo de resolução do problema

Diferentes problemas exigem diferentes processos de resolução. Nos problemas de desafios ocorrerá a investigação, prioritariamente coletiva, estimulando-se o trabalho em equipe, utilizando material, espaço e tempo pré-definidos no roteiro da pergunta. A escuta

empática na socialização dos conhecimentos determinará o bom desempenho da equipe em todos os tipos de problemas.

A seguir apresentamos as etapas de resolução de problemas descritas por Borges et al (2014), com algumas modificações:

1. Leitura do problema;
2. Identificação do problema proposto;
3. Formulação de hipóteses;
4. Resumo das hipóteses;
5. Formulação dos objetivos de aprendizagem;
6. Estudo individual dos objetivos de aprendizagem;
7. Rediscussão do problema frente aos novos conhecimentos adquiridos.

O ato de jogar exigirá dos estudantes a construção de estratégias de jogo baseadas no raciocínio lógico-estratégico e criteriosas observações que irão nortear as tomadas de decisões ou até mesmo o uso de um raciocínio específico, abduutivo, muito comum nos jogos.

A solução dos problemas de desafios específicos e históricos, na maioria das vezes, será apresentada pela equipe de forma sintetizada para toda a turma, em formato definido pela equipe ou solicitado na guia do jogo.

2.2 O ENFOQUE CTS NO JOGO RALLY DA FÍSICA

As reflexões sobre os propósitos do papel da ciência e da tecnologia na sociedade começaram a ganhar ênfase na década de 1950 como movimento que buscava uma tomada de consciência sobre os problemas ambientais e éticos relacionados aos avanços científicos e suas implicações tecnológicas sobre a qualidade de vida das pessoas (Santos,2008). Naquela época os questionamentos sobre os aspectos negativos da ciência e da tecnologia foram ampliados após o término da II Guerra Mundial e o início da Guerra Fria.

Trabalhos relevantes publicados naquela época, como o livro *Primavera Silenciosa* (*Silent Spring*) de Rachel Carson, que discute a função da ciência e da tecnologia e seus efeitos sobre o meio ambiente, e a “A estrutura das revoluções científicas”, de Thomas Kuhn, tratando sobre desenvolvimento do conhecimento, colocavam em xeque a visão linear que considerava que aumento do desenvolvimento científico e tecnológico produziria mais bem-estar social.

Essa discussão ocupou inicialmente os meios acadêmicos e cientistas com a preocupação de debater sobre os propósitos da ciência e da tecnologia em relação à sociedade e o direcionamento dos investimentos e recursos governamentais. Só posteriormente, nas

décadas de 1980 e a 1990, que esse movimento atingiu o contexto educacional, por meio dos artigos de John Ziman (1980) e Glen Aikenhead (1992).

No Brasil as pesquisas com fundamentação CTS tiveram início na década 1980. Como exemplos de trabalhos desta época podemos citar o projeto Unidades Modulares de Química (AMBROGI et al., 1987), a coleção de livros de física do GREF (Grupo de Reestruturação no Ensino de Física, 1990, 1991, 1993) e Lutfi (1988,1992).

No final dos anos 1990 os Parâmetros Curriculares Nacionais (Brasil, 1998) já apresentavam propostas de alteração curricular com base na abordagem CTS. Como objetivos da educação com enfoque CTS, podemos citar:

- Alfabetização científica e tecnológica para a tomada de decisões responsáveis em assuntos controversos relacionados à ciência e à tecnologia (Acevedo-Diaz, 1997).
- Promoção de uma imagem mais autêntica da ciência e da tecnologia e de suas relações com a sociedade (Manassero-Mas; Vázquez-Alonso, 2002).
- Desenvolvimento de uma educação para um futuro sustentável, voltado para a formação de cidadãos conscientes dos problemas do planeta e preparados para adotar medidas corretas para superá-los (Vilches, Gil-Perez e Praia, 2011)

As diferenças na determinação dos objetivos ocorrem devido às complexidades das questões e as realidades das diferenças sociais. De qualquer forma, os objetivos da educação CTS são amplos, por tratarem dos aspectos ambientais, econômicos, sociais, éticos, políticos e suas interrelações.

Alguns autores, como Strieder (2008) procuram destacar as questões ambientais incluídas nas relações CTS, acrescentando a letra “A”, utilizando a terminologia CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente). Strieder (2008) destaca três aspectos na estrutura da educação CTSA e as interrelações por meio do diagrama apresentado na Figura 1.

Figura 1: Estrutura CTSA



Fonte: Strieder (2008)

Observa-se no diagrama que as “situações reais e não estabelecidas” devem ser construídas a partir de temas na estruturação curricular que fazem parte da realidade dos estudantes. A autora destaca a dificuldade das pesquisas nas investigações para determinação dos temas comprometidos com a realidade escolar dos professores.

Nas “relações CTSA”, do diagrama, torna-se necessário discutir a evolução tecnológica e científica racionalmente e suas implicações de forma a minimizar as desigualdades sociais e econômicas. Já a “cultura de participação” refere-se ao promover e estimular os estudantes em situações nas quais ocorra a participação junto aos meios de comunicação, políticas públicas, aos cientistas e a comunidade em geral.

No contexto das interrelações procuramos fazer uma implementação da abordagem CTS em nosso produto educacional problematizando um tema da realidade cotidiana dos estudantes: o motor a combustão interna como objeto tecnológico, com o objetivo de promover uma formação cidadã dos estudantes enquanto seres críticos, engajados em seu contexto social para uma participação na construção de uma sociedade mais igualitária e com menos diferenças sociais.

Nosso propósito com a implementação do enfoque CTS no produto educacional é aproximar o ensino da física da realidade dos estudantes, ao utilizar o objeto tecnológico, motor a combustão, promovendo questionamentos sobre as questões ambientais relacionadas à poluição gerada por esses motores e desenvolver competências e habilidades para os estudantes lidarem com as situações controversas nas tomadas de decisão.

Portanto, as questões problematizadoras ou desafios nas situações de jogo, ou não, como na história inicial, estimulam os debates em grupo, funcionando como exercício de relações interpessoais com os colegas e contribuindo na elaboração de valores morais e nas questões éticas. Espera-se por meio dessa interação o surgimento da cooperação, do respeito e da empatia necessária ao jogar.

Dentre as situações problemas apresentados no produto, a “história da viagem” estrutura o tema central em torno da poluição gerada pelos veículos a combustão nos grandes centros urbanos e os problemas de saúde advindos desse tipo de poluição. Ao apresentarmos esse tipo de problema aos estudantes visando uma formação humanística na ciência, exercitando a capacidade de enfrentar e resolver questões controversas de nossa sociedade sobre a poluição e as questões ambientais. Entendemos que a metodologia da PBL, associada ao jogo, estimula o processo de pesquisa e debate de problemas abertos permitindo a formação de cidadãos com maior senso crítico.

2.2.1 Os problemas socioambientais associados ao jogo

No jogo, Rally da Física, ou na história da viagem, os problemas desafiadores sobre os diferentes temas permeiam toda a proposta educacional. Listamos a seguir alguns desses problemas e suas justificativas.

A sequência didática começa com a “História Viagem” (ver capítulo 2 do manual do produto educacional – Apêndice B) que trata do tema da doença respiratória do avô por viver numa cidade poluída. Os estudantes participam ativamente nas questões interativas que devem responder no contexto da história, com toda a ludicidade gerada na imersão com a narração do professor e com a apresentação do vídeo. No fechamento do trabalho, parte final da sequência didática, os estudantes são convidados a propor uma solução para resolver o problema, completando a história inicial.

A problematização apresentada na história inicial visa discutir valores éticos, morais, religiosos, financeiros, os idosos em nossa sociedade, os diversos aspectos humanos relacionados com o problema de saúde do avô, tomar decisões conscientes e os resultados que estas escolhas podem gerar no contexto da história. O que os familiares devem fazer? O que é possível? Situações que exigirão dos estudantes reflexões em grupo sobre a generosidade, a fraternidade, a valorização de solidariedade e o respeito ao próximo. Esperamos que nesta reflexão coletiva os estudantes adquiram valores que possam nortear mudanças de comportamentos em suas ações sociais e pessoais.

Procuramos tratar o assunto globalmente (Martins, 2002a; 2002b) promovendo o conhecimento da termodinâmica a partir de situações reais, exigindo o protagonismo do estudante na sua própria aprendizagem.

Dada a amplitude do tema, recomenda-se uma abordagem interdisciplinar, a fim de proporcionar aos alunos uma visão mais completa e integrada do assunto.

Outro tema CTS presente no jogo é a “ponte histórica” gerada pelas conversas com Carnot. O diálogo com Carnot permite abordar ludicamente aspectos históricos relativos à termodinâmica, à revolução francesa e à evolução das máquinas térmicas, mostrando aos estudantes uma ciência em construção e as suas intrínsecas relações sociais. De acordo com Santos e Mortimer (2001, p.96) “A ciência não é uma atividade neutra e o seu desenvolvimento está diretamente imbricado com os aspectos sociais, políticos, econômicos, culturais e ambientais” (da sociedade).

Ainda de forma lúdica, durante o Rally da Física, ao vestirmos o papel de personagem “policia consciente” na apresentação da multa à equipe que estiver gerando muita poluição, estamos procurando destacar as consequências do uso dos veículos a combustão, informar e despertar a atenção dos estudantes sobre questões ambientais, aquecimento global e políticas governamentais. De acordo com Morais e Araújo (2012, p.87):

[...] todo professor desenvolve a sua atividade profissional em uma posição privilegiada na sociedade, o que lhes permite atuar de modo a colocar os alunos como corresponsáveis pelo processo de construção de novos conhecimentos. Porém, além de atuar visando apenas à dimensão cognitiva, compete aos docentes ajudá-los a refletir sobre suas aspirações, sua conduta e seus valores pessoais, contribuindo para que os estudantes desenvolvam atitudes renovadas e com isso possam aprimorar a sua personalidade, a sua percepção de entendimento da realidade que o cerca.

Na perspectiva do enfoque CTS, há a necessidade de oferecer aos estudantes um material que possa gerar dúvidas e controvérsias, associado a uma metodologia ativa que permita o exercício de construção crítica do conhecimento. Nesse sentido, os problemas abertos, formulados aos grupos, visam estimular os debates em sala de aula, de modo que os estudantes possam elaborar seus estudos em grupo e, com eles, modificar os conhecimentos sobre a ciência. (Azevedo, 2004).

2.3 AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE APRENDIZAGEM

O processo avaliativo foi previsto para ocorrer de forma dinâmica durante todo o jogo, não apenas no final da atividade, quando será realizada uma avaliação de conteúdo de forma

grupal e individual. Utilizaremos o jogo dialogado como ferramenta avaliativa, também, por estar em consonância com a metodologia da PBL e por permitir avaliar os diferentes conteúdos procedimentais e atitudinais (Zabala; Rosa; Farenzena, 2007).

A avaliação deverá permitir determinar a capacidade de aplicação dos conhecimentos adquiridos pelos estudantes em novas situações problemas e deverá ser balizada pelas seguintes questões: Os estudantes são capazes de aplicar os conhecimentos adquiridos em novos desafios? Ocorreu uma integração na estrutura interpretativa do aluno? O aluno transitou do jogar certo para o jogar bem?

A observação criteriosa do comportamento dos estudantes ao resolverem as situações de desafio também servirá de avaliação: Os estudantes são capazes de dialogar entre si? Estão fazendo as pesquisas de forma objetiva? Apresentam os resultados de maneira organizada? (Zabala; Rosa; Farenzena, 2007).

Situações de conflito, que normalmente ocorrem devido a intensa interação entre os estudantes, podem expor a conduta afetiva e podem ser utilizadas como recurso avaliativo. Avaliar a conduta e a afetividade dos estudantes pode parecer algo muito complexo devido às posições ideológicas do professor, no entanto, devido à intensa interação entre os alunos e entre estes e os professores, as situações conflituosas poderão ser utilizadas em observações sistêmicas.

Por fim, é importante que haja a autoavaliação dos estudantes e do próprio professor, em relação ao método de ensino, para possíveis reestruturações em novas aplicações do produto didático aqui desenvolvido.

2.4 DESAFIOS E LIMITAÇÕES DA METODOLOGIA PROPOSTA

Como qualquer proposta metodológica inovadora e diferenciada do ensino tradicional, consideramos que nossa proposta também apresenta entraves e desafios que necessitam ser superados para a sua plena execução.

De um modo geral os professores com formação na escola clássica oferecem resistência às mudanças (Menezes, 2003) e ficam inseguros quando precisam adquirir novas habilidades e praticar diferentes posturas em sala de aula. Na PBL é necessário que o professor seja capaz de dar autonomia aos estudantes, isto implica em saber lidar com novas formas de controle comportamental. Deverá aprender a lidar com estudantes mais ativos, com maior liberdade e autonomia.

Os estudantes também precisam adquirir novas habilidades e uma postura proativa. Portanto, é comum que no início das atividades eles busquem manter a passividade e a

dependência das orientações do professor, exigidas no ensino tradicional. Essa mudança de atitude exige tempo e paciência e não ocorre da noite para o dia. Por isso, é importante que haja um tempo de adaptação em que a proposta vá sendo inserida aos poucos. As atividades experimentais, a problematização e a construção do conhecimento pelo próprio estudante, irão exigir uma ampliação do tempo destinado ao trabalho com o conteúdo, uma reestruturação na carga horária e, sempre que possível, a negociação com outros professores para o desenvolvimento de trabalhos interdisciplinares (Borges et al., 2014; Souza; Dourado, 2015).

O alto grau de interatividade também pode favorecer a distração dos estudantes, o que deve ser contrabalanceado pela motivação do jogo. A valorização da autonomia também pode trazer insegurança, pois os estudantes podem ficar desconfortáveis sem saber se o conteúdo está correto. Esses e outros desafios vão surgir durante a prática e a superação deles irá depender do preparo do professor e do seu grau de engajamento com a mudança de postura.

3. PRINCÍPIOS FÍSICOS ABORDADOS NO PRODUTO EDUCACIONAL

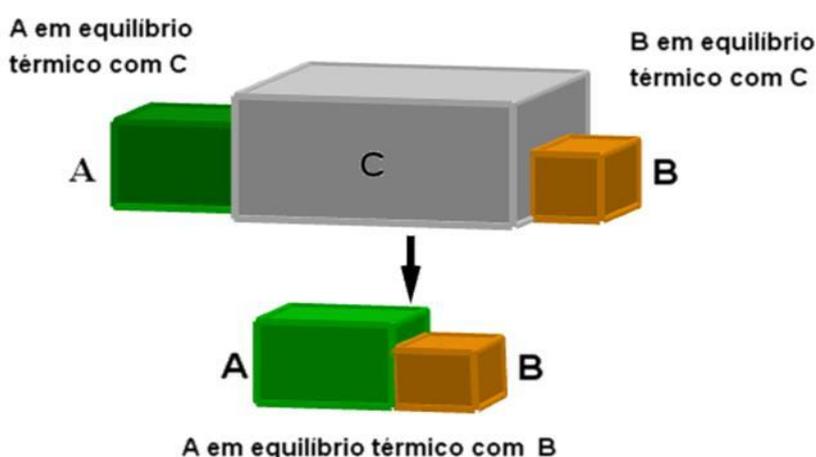
O produto educacional desenvolvido para fins deste trabalho discute a energia e sua conservação na formulação da primeira lei da termodinâmica e nas restrições de transformações impostas pela segunda lei da termodinâmica. De um modo geral, o termo energia e as expressões relativas a ele são utilizados em diferentes contextos e situações, tais como: energia solar, energia dos alimentos, calor, temperatura etc. Muitas vezes, na linguagem cotidiana, grandezas como temperatura, energia e calor são confundidas e utilizadas de forma inadequada. De fato, como já destacava Feynman (2001) não é fácil definir o que é energia, no máximo podemos verificar que a energia total se conserva, sendo um conceito fundamental e necessário.

Nesse sentido, não devemos esperar que os estudantes tenham facilidade para entender conceitos tão abstratos como os de energia e de sua conservação. Mesmo já possuindo algumas ideias sobre energia, construídas desde a infância, com base no senso comum, em nossa prática educacional temos observado que os estudantes apresentam bastante dificuldade em compreender o conceito de conservação da energia presente na primeira lei da termodinâmica. Neste capítulo vamos apresentar os principais conceitos que serão discutidos no jogo Rally da Física.

3.1 LEI ZERO DA TERMODINÂMICA

A lei zero da termodinâmica (Figura 2) está relacionada à definição de temperatura. Sua formulação ocorreu em 1935 pelo físico inglês Ralph H. Fowler (1889- 1944), e pode ser expressa da seguinte forma: “Se A e B estão em equilíbrio térmico com um terceiro corpo (o "termômetro"), então A e B estão em equilíbrio térmico entre si” (Halliday, 1982, p. 167). A Figura 2 mostra de forma esquemática a definição desta lei.

Figura 2: Representação esquemática da lei zero da termodinâmica



Fonte: autoria própria

A temperatura é um “rótulo” (nome) associado aos corpos que estão em equilíbrio térmico. Portanto a temperatura é a mesma para todos os corpos em equilíbrio térmico.

Mas, o que vem a ser o equilíbrio térmico? Para descrevermos macroscopicamente um sistema termodinâmico, como um gás por exemplo, necessitamos de um número pequeno de grandezas (pressão P, volume V e temperatura T). Dizemos que o sistema está em equilíbrio térmico quando o conjunto dessas grandezas, que caracterizam o estado do sistema, não variam com o tempo.

Observa-se que na definição de temperatura oferecida pela lei zero não precisamos discutir o que ocorre com o corpo na transição ao equilíbrio, as energias envolvidas, ou mesmo falar de calor, o que justifica o fato de ser a mais fundamental das leis da termodinâmica, intitulada lei zero. Curiosamente esta foi a última a ser formulada.

É a lei zero que nos permite medir a temperatura de um corpo/sistema utilizando um termômetro. Hewitt (2013), por exemplo, define temperatura como aquilo que você mede com um termômetro. Há outras definições que a indicam como a grandeza física que mede a energia cinética média do grau de liberdade de cada uma das partículas de um sistema em equilíbrio térmico, ou simplesmente como a medida do grau de agitação das moléculas de um corpo (Ramalho, Nicolau E Toledo, 2007)

Uma definição que tem origem na teoria cinética de gases, relaciona a energia cinética média com a temperatura da seguinte forma:

$$E_{cin} = \frac{3}{2}NkT. \quad (1)$$

Para o gás ideal monoatômico a equação de estado térmico é dada por:

$$U = \frac{3}{2}NkT, \quad (2)$$

ou para moléculas complexas de f graus de liberdade temos que:

$$U = \frac{f}{2}NkT. \quad (3)$$

Onde N é o número de moléculas, T é a temperatura absoluta e k é a constante de Boltzmann cuja valor é:

$$k = 1,380649 \cdot 10^{-23} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2\text{K}}.$$

Em nosso produto educacional não discutimos com os estudantes os conceitos de temperatura e as diferentes escalas termométricas, fizemos apenas uma rápida revisão da escala absoluta de temperatura e sua relação com a escala Celsius. Uma vez que o professor regente da turma relatou que os alunos já haviam visto o conteúdo durante a pandemia da Covid-19.

3.2 O CALOR COMO FORMA DE ENERGIA

No final do século XVIII, época da expansão das máquinas a vapor e da revolução industrial, existiam duas hipóteses sobre o calor, a mais usada teve Lavoisier como um dos grandes colaboradores. Dizia-se que o calor era uma substância fluida indestrutível que ocupava os “poros dos corpos”, era transferida do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura. Lavoisier chamava esta substância de "calórico" e que sua quantidade total se conserva, pois era apenas transferida entre os corpos.

Newton foi um dos dissidentes dessa hipótese ao dizer que o calor consiste num minúsculo movimento de vibração de partículas do corpo.

Até mesmo Sadi Carnot, considerado o pai da termodinâmica, utilizou em seus trabalhos o termo calórico, recorrente em sua época, o que nos levou a formular uma das falas de Carnot no APP do jogo, utilizando uma possível linguagem de Carnot, exigindo dos estudantes a identificação do termo calórico que foi muito aceito pela comunidade científica de sua época.

Fala de Carnot do nosso APP, intitulada: **Máquina de Fogo.**

“Vou atrapalhar o jogo apenas mais uma vez. Não posso perder a oportunidade desta viagem no tempo para saber como estão as coisas depois de tanto tempo.”

“Vocês falaram que meus estudos sobre o calórico e a máquina de fogo contribuíram para a construção de uma tal termodinâmica. Vocês acham que eu consegui produzir mais felicidade ou infelicidade na vida social de vocês?”

Talvez seja esta uma das questões mais difíceis dentre todas as falas de Carnot no jogo, pois os estudantes precisam explicar os termos calórico e máquina de fogo, apesar de a pergunta não se referir diretamente a essas questões. Observem que na época de Carnot não se utilizava o termo máquina a vapor ou máquina térmica e sim “máquina de fogo”.

O uso do termo calor na linguagem cotidiana de maneira incorreta dificulta ainda mais o entendimento dos estudantes, o que justifica o empenho em abordar o termo "calórico" na

fala de Carnot. Algumas expressões ainda reforçam a ideia de que o calor seja uma substância sendo transferida, como por exemplo: “o calor é transferido de um corpo para outro”, ou ainda, em livros didáticos, onde encontramos frases como “energia na forma de calor” ou “calor é energia em trânsito” (Bazarov, 1964; Atkins, 2010).

Vários cientistas tentaram determinar o peso do suposto calórico. No entanto, foi devido às experiências cuidadosas e precisas de Rumford, utilizando as melhores balanças da época, que se concluiu que isso era impossível. Com base em suas experiências, Rumford concluiu que o calor não passa de um movimento vibratório que tem lugar entre as partículas do corpo.

Apesar de a utilização das máquinas a vapor de James Watt evidenciarem, na prática, a transformação do calor em trabalho, a sistematização dessa conexão só foi estabelecida no século XIX. Até então a hipótese do calórico ainda era amplamente aceita.

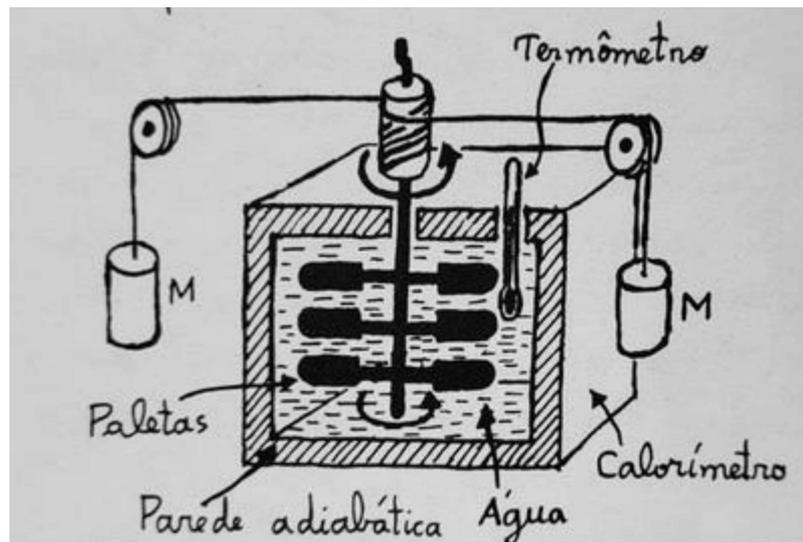
Foi o médico alemão Julius Robert Mayer que, ao refletir sobre a equivalência das energias, concluiu o quão grande poderia ser a taxa de conversão entre a energia mecânica e o calor, sugerindo que o calor está relacionado com a energia. Atualmente o calor deve ser entendido como uma forma ou um método de transferência de energia térmica entre dois corpos a temperaturas diferentes (Bazarov, 1964; Atkins, 2010).

Em 1847, o cientista amador inglês James Prescott Joule apresentou em Oxford vários resultados experimentais precisos sobre a equivalência calor/energia, considerados notáveis para a época e que discordavam entre si em aproximadamente de 5%. Joule realizou experimentos durante quase 30 anos procurando entender a natureza do calor, o que forneceu as bases para a 1ª lei da termodinâmica. Apesar de não ter sido o único cientista a realizar tais experimentos em sua época, é considerado o responsável pela formulação da 1ª lei da termodinâmica.

Dentre as várias experiências por Joule, a mais famosa foi constituída por um mecanismo que movia as pás de um dispositivo dentro de um recipiente com água devido à queda de um peso (Figura 3). O atrito das pás com a água realizava trabalho sobre ela num recipiente de paredes adiabáticas (em condição de isolamento térmico) aquecendo a água. Joule conseguiu mostrar que à medida que a energia mecânica de um sistema diminuía, seria gerada certa quantidade de calor equivalente a mesma quantidade de energia mecânica perdida.²

² <https://mnpes.ufersa.edu.br/wp-content/uploads/sites/94/2018/03/DISSERTA%C3%87%C3%83O-Tiago-Martins.pdf>

Figura 3: Experimento de Joule para determinar a equivalência calor/energia



Fonte: Moisés (1986, p. 284)

De acordo com Moisés (1986, p. 316), Joule afirmou a partir da análise de suas experiências que:

1. A quantidade de calor produzido por atrito entre corpos, líquidos ou sólidos é sempre proporcional à quantidade de energia despendida.
2. A quantidade de calor capaz de elevar 1° F a temperatura de uma libra de água requer o consumo de energia mecânica equivalente à queda de um corpo de 772 libras de uma altura de 1 pé.

A primeira afirmação permite descartar o suposto calórico, mostrando que calor é um processo de transferência de energia e não um fluido, como até então acreditava-se. A segunda afirmação fornece o "equivalente mecânico do calor", que no sistema internacional de unidades (SI) corresponde a: $1 \text{ cal} = 4,15 \text{ J}$, com um desvio de apenas 1% em relação ao valor atual.

Nas condições descritas, o trabalho realizado sobre o sistema termicamente isolado chama-se trabalho adiabático. O trabalho adiabático necessário para produzir uma variação de temperatura era sempre o mesmo, de uma temperatura inicial T_i , a uma temperatura final T_f . Joule em suas experiências mostrou que o trabalho independe do processo, dependendo apenas, no caso da água, da temperatura inicial e da temperatura final, tendo realizado o aquecimento da água de diferentes formas. Portanto, o trabalho independe do caminho no diagrama ($p \times V$). Como consequência do balanço energético podemos associar ao sistema uma função de estado chamada energia interna U :

$$\Delta U = U_{final} - U_{inicial} = -W_{(adiabático)} \quad (4)$$

Assim temos a seguinte convenção de sinais: a energia aumenta ($\Delta U > 0$) quando se realiza trabalho sobre o sistema ($W < 0$).

De maneira geral, para um fluido, podemos considerar U como função de duas das três grandezas de estado, conforme indicado na equação 5.

$$U = U(P, V); U = U(P, T); U = U(V, T) \quad (5)$$

3.3 DEFINIÇÃO DE CALOR E A 1ª LEI DA TERMODINÂMICA

Por outro lado, quando a mesma experiência era realizada com um recipiente de paredes diatérmicas (sem isolamento térmico) observava-se que: $W \neq \Delta U$, já que a energia interna é apenas função dos estados iniciais e finais. Portanto, a mesma quantidade de trabalho produzia uma variação menor de temperatura e, conseqüentemente, uma menor variação de energia interna U . O termo necessário para o balanceamento da energia foi chamado de quantidade calor Q , tendo a mesma unidade de energia.

$$\Delta U = Q - W \quad (6)$$

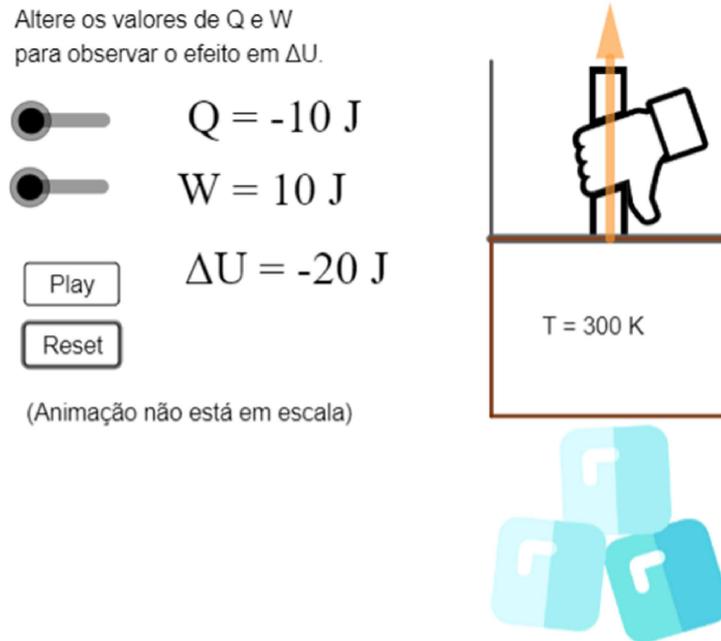
Ou na forma infinitesimal,

$$dU = d'Q - d'W \quad (7)$$

Lembramos que alguns autores diferem na representação das quantidades $d'Q$ e $d'W$, para indicar que não são diferenciais de funções, mas apenas pequenas quantidades infinitesimais. Para isso, utilizamos a simbologia d “linha”.

No APP apresentamos o postulado da 1ª lei como resultado empírico, não a sua demonstração, conforme mostrado na Figura 4.

Figura 4: Representação esquemática da 1ª lei da termodinâmica



Fonte: Adaptada de Kwang. (<https://www.geogebra.org/m/b3qwbvfz>)

3.3.1 Generalização da lei de conservação

Com os trabalhos de Joule sobre a equivalência das energias e as contribuições de Rumford e Mayer, a teoria do calórico, até então aceita, começou a perder adeptos.

Em julho de 1847, Helmholtz apresentou a formulação mais geral do princípio de conservação da energia. Mostrou sua aplicação a todos os fenômenos conhecidos, não apenas aos fenômenos mecânicos – como até então era conhecido – incluindo os fenômenos térmicos, elétricos, magnéticos, biológicos, na astronomia e também na físico-química. Em seu livro Helmholtz diz:

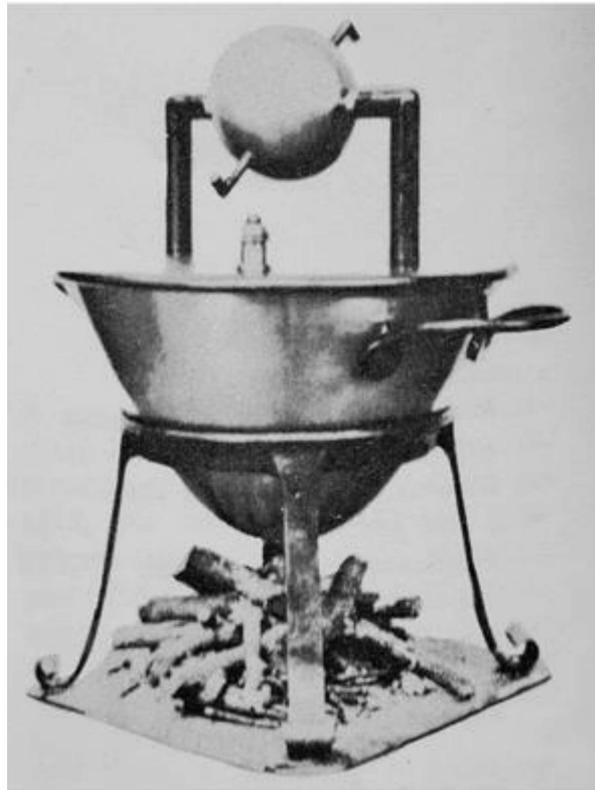
[...] chegamos à conclusão de que a natureza como um todo possui um estoque de energia que não pode de forma alguma ser aumentado ou reduzido; e que, por conseguinte, a quantidade de energia na natureza é tão eterna é inalterável como a quantidade de matéria. Expressa desta forma, chamei esta lei geral de "Princípio de Conservação de Energia". (Helmholtz, s/d, citado por Moysés, 1986, p. 273-274)

3.4 AS MÁQUINAS TÉRMICAS

Apesar de toda a discussão apresentada anteriormente, o princípio de transformação de calor (energia térmica) em trabalho já era conhecido pelo homem desde os tempos remotos.

A eolípila³ foi uma máquina inventada no ano 100 a.C. e usada por Heron de Alexandria como brinquedo (Figura 5). Entretanto, foi apenas no século XVIII, com o advento das máquinas térmicas, que o homem foi capaz de transformar energia em trabalho para intervir efetivamente nos processos de produção com a revolução industrial. Nesta época surgem as fábricas, os grandes centros urbanos, novos meios de transporte, junto a uma nova estrutura social, novas ideologias e doutrinas, política e economia.

Figura 5: Eolípila de Herin

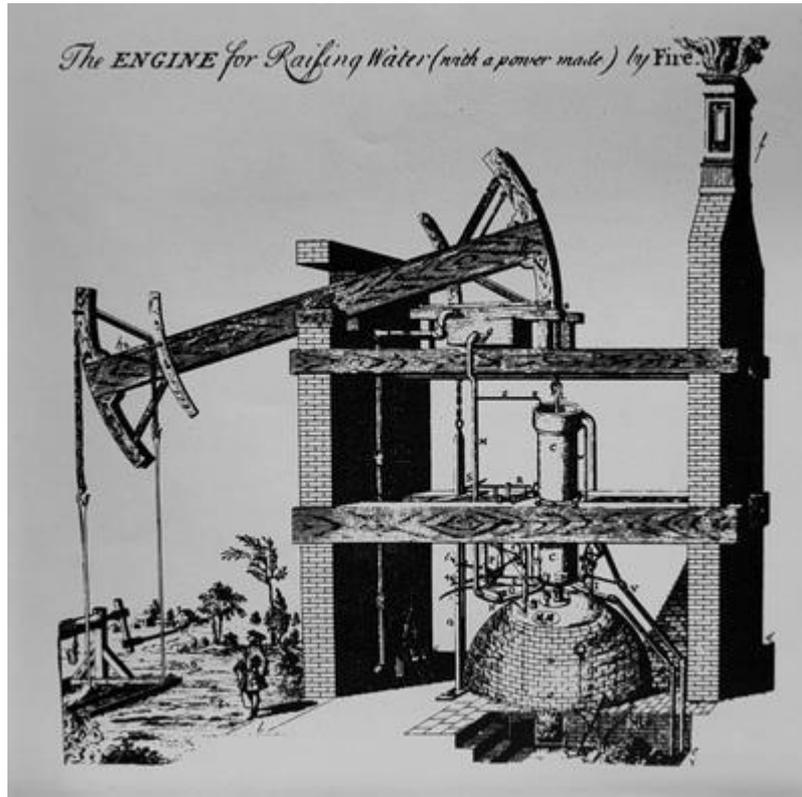


Fonte: projeto de física, p. 45

No inverno de 1763-1764, James Watt foi chamado para consertar a máquina de Newcomen (Figura 6) e as modificações produzidas por Watt (Figura 7) na máquina foram capazes de triplicar sua potência.

³ No diagrama da máquina térmica (<https://www.geogebra.org/m/pzxydqfw>), de autoria de Danny Schreiter, fizemos algumas modificações para que pudéssemos observar as grandezas Q_1 , Q_2 , T_1 , T_2 e W e a relação entre elas de maneira dinâmica, sem, no entanto, discutir o rendimento máximo até o momento.

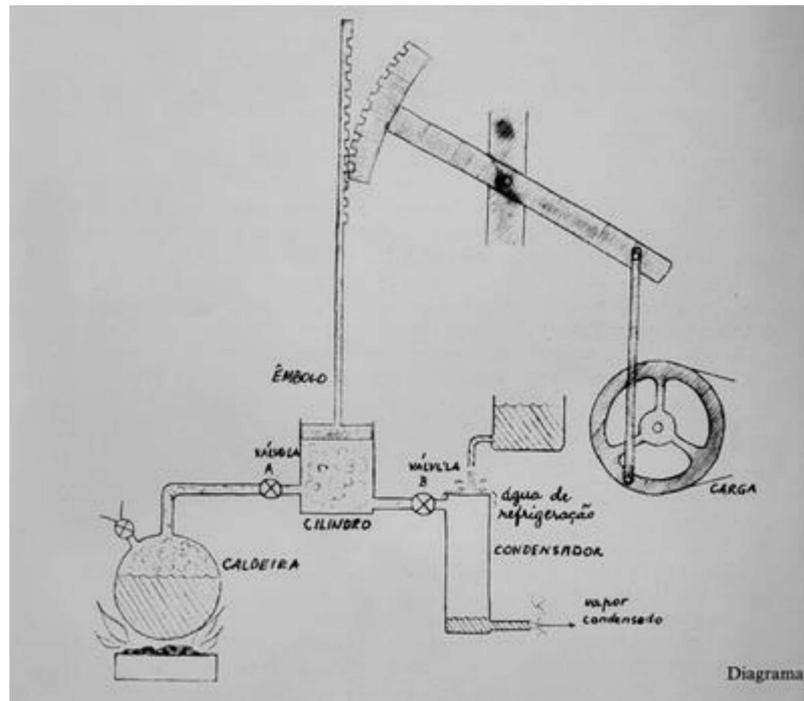
Figura 6: Máquina térmica de Newcomen



Fonte: projeto de física, p. 47

Na Figura 7 observa-se um esquema ilustrativo da máquina de Watt. O vapor produzido na caldeira erguia o braço móvel ligado ao pistão do cilindro ao ser liberado pela válvula A, que ao ser resfriado no condensador em seguida, após o fechamento da válvula A e abertura da válvula B, completava-se o ciclo, fazendo o braço retornar à posição inicial.

Figura 7 - Esquema ilustrativo da máquina de Newcomen modificada por Watt



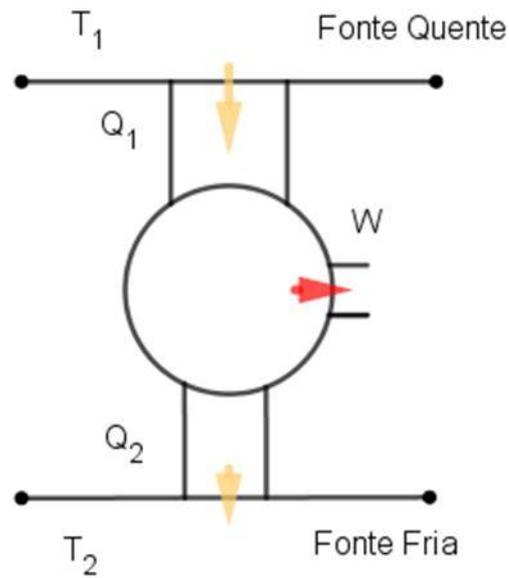
Fonte: projeto de física, p. 49

Para que a máquina térmica realize a conversão de calor em trabalho, uma fonte quente deverá fornecer uma quantidade de calor Q_1 a substância de trabalho, normalmente vapor ou gás. Parte desta energia recebida é utilizada na expansão, empurrando o pistão, e realizando trabalho mecânico W . Nesse processo há uma perda de energia (Q_2) para o meio ambiente, considerado como fonte fria. Da 1ª lei da termodinâmica temos que,

$$Q_1 = W + |Q_2| \quad (8)$$

As primeiras máquinas térmicas tinham um rendimento baixíssimo, em torno de 5%, sendo, no entanto, vantajosas quanto à versatilidade da origem do calor, o que as tornaram bastante populares. Na Figura 8 mostramos o diagrama genérico de uma máquina térmica. Seja Q_1 a energia recebida pelo motor da fonte quente à temperatura T_1 , e Q_2 a energia rejeitada a fonte fria, meio ambiente, à temperatura T_2 .

Figura 8: Representação esquemática de uma máquina térmica

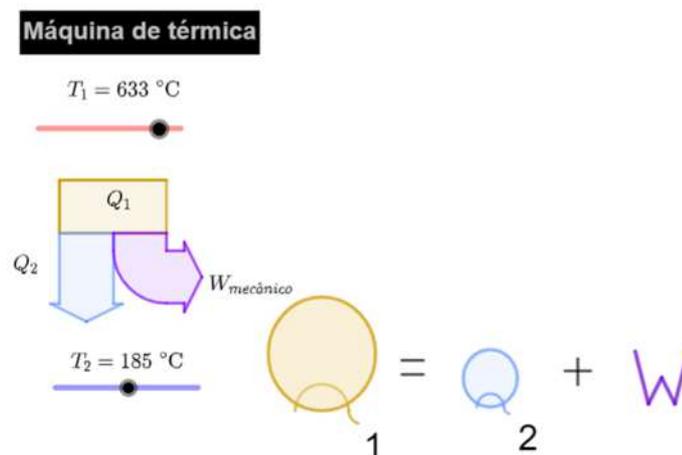


Fonte: autoria própria

3.5 TRANSFORMAÇÃO CÍCLICA NO MOTOR

O princípio de conservação da energia aplicado ao ciclo do motor permite escrever que: $\Delta U = Q - W$. Em uma transformação cíclica, isto é, num cíclico da máquina térmica teremos: $\Delta U = 0$. Já que a substância de operação retorna ao estado inicial e, portanto, à mesma temperatura, ficamos $Q = W$, satisfazendo o princípio de conservação da energia no ciclo. A Figura 9 mostra de forma esquemática a transformação cíclica em um motor.

Figura 9: Transformação cíclica no motor



Fonte: Adaptada de Danny Schreiter

Em módulo termos: $Q = Q_1 - Q_2$. Substituindo esse resultado na expressão anterior temos que: $Q_1 = W + Q_2$ ou que $W = Q_1 - Q_2$ ⁴.

Tradicionalmente a primeira lei da termodinâmica é apresentada aos estudantes da seguinte forma: $\Delta U = Q - W$. No entanto, em nosso produto discutimos a 1ª lei da termodinâmica no contexto do motor 4 tempos, para tanto abordaremos a 1ª lei da termodinâmica como: $W = Q_1 - Q_2$.

3.6 A 2ª LEI DA TERMODINÂMICA E O CICLO DE CARNOT

No contexto histórico da virada do séc. XVIII para o séc. XIX, Léonard Sadi Carnot (1796-1832), físico e engenheiro militar francês, publicou o trabalho: "Reflexões sobre a potência motriz do fogo". Na tentativa de melhorar o rendimento das máquinas térmicas, Carnot elaborou a 2ª lei da termodinâmica, ao formular e responder a seguinte questão: "Como se poderia aumentar o rendimento de uma máquina térmica, tornando-a o mais eficiente possível?" Carnot queria saber também se o vapor de água era o melhor fluido ou substância de trabalho para o acionamento dessas máquinas. Os estudos de Carnot precederam as máquinas térmicas mostrando que neste caso o conhecimento tecnológico antecedeu o conhecimento científico.

Carnot morreu muito cedo, com apenas 36 anos de idade, vítima de uma epidemia de cólera em Paris. Seu trabalho só foi reconhecido anos mais tarde por Lorde Kelvin e Rudolf Clausius que o reformularam gerando o que chamamos hoje de 2ª lei da termodinâmica. Carnot é tido nesse sentido como pai da termodinâmica.

Carnot interpretou corretamente o funcionamento da máquina térmica observando que ocorre transformação de calor em trabalho e que para tanto necessita funcionar entre duas fontes térmicas, uma quente e outra fria. Introduziu em seus estudos o conceito de processo reversível e irreversível. Nos processos reversíveis as transformações podem ser efetuadas nos dois sentidos, a volta ao estado original ocorreria desde que diminuíssemos a temperatura da fonte quente de uma quantidade infinitesimal.

Carnot observou que apesar de as máquinas térmicas terem sido amplamente utilizadas no final do século XIII e início do século IX detinha-se muito pouco conhecimento sobre as "leis" que regiam seu funcionamento. O que o levou a dizer que:

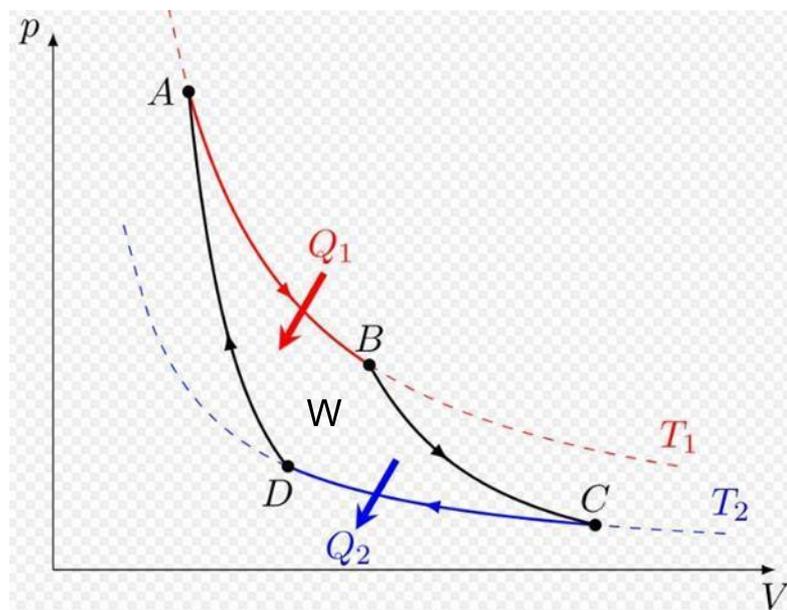
A máquina a vapor escava nossas minas, propele nossos navios, escava nossos portos e rios, forja o ferro... Retirar hoje da Inglaterra suas máquinas a vapor

⁴ No endereço pode-se visualizar https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Steam_Engine.ogv o vídeo da máquina de Heron em funcionamento.

seria retirar-lhe ao mesmo tempo o carvão e o ferro. Secariam todas as suas fontes de riqueza... Apesar do trabalho de toda sorte realizado pelas máquinas a vapor, não observamos o estágio satisfatório de seu desenvolvimento atual, a sua teoria é muito pouco compreendida. (Carnot (s/r), apud Sales, p. 44)

Para o rendimento máximo de uma máquina térmica ideal, Carnot propôs um ciclo (Figura 10) composto por duas transformações isotérmicas (temperatura constante) e duas transformações adiabáticas (não ocorre troca de calor), que são reversíveis, portanto, o ciclo também é reversível.

Figura 10: Gráfico do ciclo de Carnot



Fonte: Wikipedia

Observe que o calor admitido pela máquina ocorre a uma temperatura única T_1 (temperatura da fonte quente) e todo o calor rejeitado a uma única temperatura T_2 (temperatura da fonte fria). Invertendo o sentido do ciclo, em sentido anti-horário, temos a máquina frigorífica ideal que retira calor da fonte fria e o entrega à fonte quente graças a realização de trabalho⁵. Numericamente o trabalho é dado pela área interna do ciclo.

3.6.1 Rendimento da máquina ideal de Carnot

Dizemos que a máquina de Carnot é ideal pelo fato de não existir atrito mecânico ou atrito térmico, permitindo a inversão de sentido ao se produzir uma variação infinitesimal, dt , na fonte quente.

⁵ No endereço (<https://www.geogebra.org/m/cnc3fxnm>) encontra-se o APP do ciclo de Carnot que permite a visualização de cada etapa do ciclo e suas características, de autoria de Laura e Andrea Seellarodi disponível no repositório do GeoGebra.

No geral, o rendimento de uma máquina térmica pode ser determinado por

$$\eta = \frac{\text{Energia útil}}{\text{Energia total}} .$$

O que nos dá,

$$\eta = \frac{W}{Q_1} . \quad (9)$$

De acordo com o princípio da conservação da energia,

$$W = Q_1 - |Q_2|. \quad (10)$$

Ao substituir na expressão (9) em (10), obtemos para o rendimento da máquina,

$$\eta = 1 - \frac{|Q_2|}{Q_1} . \quad (11)$$

Para uma máquina térmica ideal que opera no ciclo de Carnot temos:

$$\frac{|Q_2|}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1} . \quad (12)$$

Substituindo 12 em 11 obtemos que,

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} . \quad (13)$$

O trabalho de Carnot permite determinar o rendimento teórico máximo de uma máquina que opere as temperaturas T_1 e T_2 .⁶

De forma resumida, os trabalhos de Carnot também permitem concluir que é impossível construir uma máquina térmica, operando em ciclo, cujo único efeito seja retirar calor de uma fonte e convertê-la totalmente em trabalho, impossibilitando a existência do moto perpétuo de segunda espécie.

Esse notável trabalho de Carnot antecedeu a formulação da 1ª lei da termodinâmica, havendo indícios de que ele teria formulado também a 1ª lei da termodinâmica no único artigo publicado em 1830 ("Reflexões sobre a potência motriz do fogo") antecedendo as publicações de Joule sobre a equivalência das energias que ocorreram só em 1847.

A lei fundamental que propomos para confirmação parece-nos, no entanto, exigir novas verificações a fim de ser colocado fora de dúvida. Ela baseia-se

⁶ No endereço (<https://www.geogebra.org/m/kzvzx3us>) fizemos algumas modificações no APP de autoria de Danny Schreiter que mostra o cálculo do rendimento de Carnot.

na teoria do calor atualmente aceita, mas de ser afirmado que a solidez deste fundamento parece ser discutível. somente novas experiências podem vir a decidir esta questão. Entretanto podemos aplicar as ideias teóricas expressas acima, considerando-as certas, ao exame dos diferentes métodos propostos até agora para a compreensão da potência motriz do calor (Índias, 1992, p. 141).

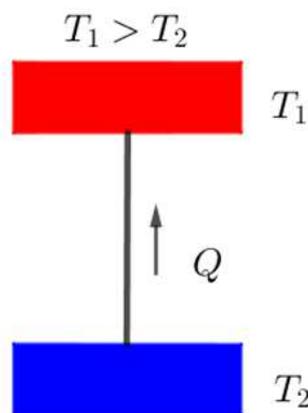
Neste sentido, propomos discutir com os estudantes alguns aspectos do ciclo de Carnot no desafio intitulado: “O Desperdício de Energia”, em que os estudantes são estimulados a construir o gráfico do rendimento e discutir algumas características e particularidades.

3.6.2 Enunciados de Kelvin e de Clausius para a 2ª lei da termodinâmica

Em 1850 Clausius se baseou na irreversibilidade da transferência de energia do corpo frio para o corpo quente ao enunciar que é impossível realizar um processo cujo único efeito seja transferir calor de um corpo mais frio para um corpo mais quente.

Um aparelho que violaria o enunciado de Clausius seria o “refrigerador miraculoso” (Figura 11) que poderia retirar calor da fonte fria espontaneamente, sem que para isto fosse necessário fornecer algum tipo de trabalho.

Figura 11: Esquema de um refrigerador “miraculoso”

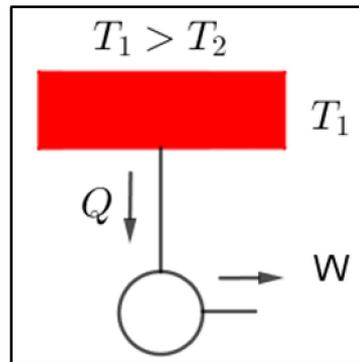


Fonte: autoria própria

Kelvin enunciou uma formulação para a 2ª lei da termodinâmica em que afirmou ser impossível realizar um processo cujo único efeito seja remover calor de um reservatório térmico e produzir uma quantidade equivalente de trabalho.

Observa-se que o termo "único", utilizado nessa formulação, significa que o sistema tem que voltar ao estado inicial, portanto deverá ser um processo cíclico. Com isso, um “motor miraculoso”, que pudesse transformar todo o calor em trabalho, violaria o enunciado de Kelvin, como representado na Figura 12.

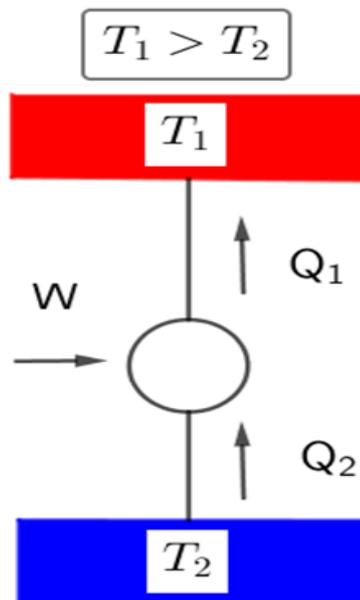
Figura 12: Representação esquemática de um moto perpétuo



Fonte: autoria própria.

Para mostrarmos a equivalência dos enunciados o de Clausius e o de Kelvin, imaginemos o acoplamento de duas máquinas. A primeira transformaria todo o calor em trabalho, o que violaria o enunciado de Kelvin. Este trabalho seria utilizado para colocar em funcionamento um refrigerador que retirasse um calor Q_2 da fonte fria e entregasse um calor Q_1 à fonte quente.

Figura 13: Fluxo de calor da fonte fria para fonte quente às custas de um trabalho

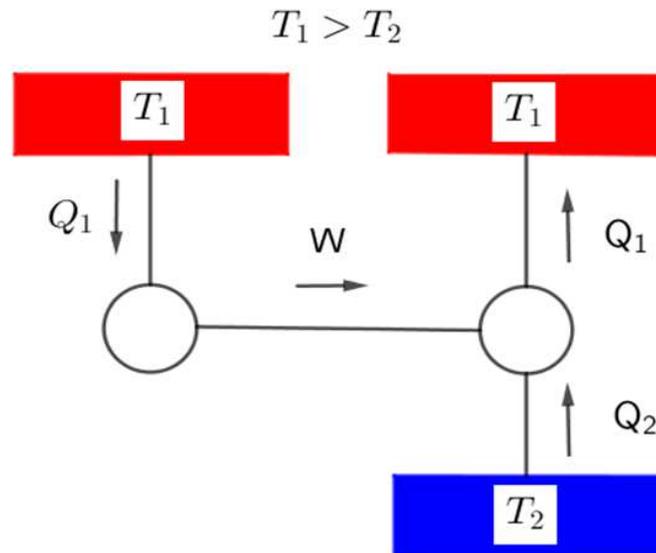


Fonte: Autoria própria

Imaginando este acoplamento como uma única máquina (Figura 13) teríamos transferência de calor da fonte fria para a fonte quente sem realização de trabalho, desta forma violando o enunciado de Clausius. O que nos permite concluir que ao violarmos o enunciado

de Kelvin também estaríamos violando o enunciado de Clausius, o que evidencia a equivalência.

Figura 14 - Moto perpétuo de segunda espécie acoplado ao refrigerador



Fonte: Autoria própria

De maneira análoga poderíamos investigar que a máquina que violasse o enunciado de Clausius também violaria o enunciado de Kelvin.

Por fim, cabe destacar que a segunda lei da termodinâmica indica os fenômenos que poderão ocorrer, sendo, portanto, uma seta do tempo capaz de diferenciar passado e futuro. Dizendo que a volta ao passado tem uma probabilidade infinitamente pequena de ocorrer, portanto improvável, a diferença entre passado e futuro é uma questão de diferença de probabilidade, portanto a 2ª lei termodinâmica está intimamente ligada ao conceito de tempo. Desta forma Boltzmann fornece a essa lei um caráter probabilístico e não determinístico.

Em nosso produto educacional torna-se necessário discutir com os estudantes as diferentes probabilidades ou multiplicidades, na rolagem dos dados e não necessariamente utilizar esta situação como exemplo para discutir o conceito de entropia. Mas deixamos aqui como sugestão.

4. O DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO EDUCACIONAL

O produto educacional desenvolvido para fins deste trabalho foi organizado em torno de uma sequência didática composta por uma história viagem, acompanhada por um vídeo, que é utilizada para a problematização e para imersão dos estudantes ao tema de estudo, e um jogo que explora alguns conteúdos de termodinâmica, associados ao funcionamento de motores a explosão, denominado Rally da Física. Ao final, os estudantes são estimulados a escrever um desfecho para a história viagem, sugerindo uma possível solução para o problema apresentado.

O infográfico a seguir apresenta uma síntese do produto educacional.

Representação esquemática do produto educacional



Fonte: autoria própria.

4.1 A HISTÓRIA VIAGEM

A primeira parte da sequência didática consiste na narração, ao vivo, de uma história que conta a viagem de uma família que mora no campo e vai visitar os avós das crianças na cidade grande (a história na íntegra se encontra no cap. 2 do produto educacional, disponível no Apêndice B desta dissertação). A narração é feita com auxílio de um vídeo elaborado para este fim. Foram preparados dois vídeos, um para ser usado pelo professor em sala com os estudantes (<https://youtu.be/nlLelZkIfWE>) e um outro com instruções e orientações para o professor (<https://youtu.be/yXX8KZxOYBw>).

O objetivo dessa história é promover a imersão dos estudantes no contexto da temática que será abordada no jogo.

O vídeo contém imagens e sons do ambiente de uma fazenda, da cidade e de veículos, contemplando as diversas partes da viagem. O objetivo deste vídeo é ajudar na descrição da história e estimular ainda mais a imersão dos estudantes no contexto das atividades que serão desenvolvidas posteriormente, ativando seus sentidos e emoções. Durante a história é abordado o problema da poluição da cidade grande, causada em grande parte pela queima de combustíveis nos motores a explosão, que pode ter causado problemas respiratórios no avô das crianças. O desfecho dessa história ocorrerá somente na última etapa da sequência didática, quando os estudantes serão estimulados a escrever um final para história, sugerindo uma possível solução para o problema apresentado.

O vídeo foi produzido a partir de uma coletânea de produções próprias, registradas na cidade de Juiz de Fora e imediações, e de recortes de outros vídeos. As imagens são usadas para auxiliar na ambientação da história. Acreditamos que a maioria dos estudantes já vivenciou experiências de imersão proporcionadas por bons filmes, livros e até mesmo por contadoras de história. Consideramos o potencial desse recurso para gerar uma imersão mais profunda dos estudantes na temática de estudo, produzindo uma problematização mais efetiva.

Para a narração da história, a preparação do ambiente é importante. Sugerimos que os estudantes se sintam confortáveis durante a narrativa para facilitar a imersão. Para isso, se possível, o professor deve preparar colchonetes, ou outros dispositivos (no nosso caso utilizamos placas de papelão) para que os estudantes possam se deitar e caixas de papelão como travesseiros. Se isso não for possível, recomenda-se que os estudantes relaxem nas próprias carteiras. Também é importante cuidar do som e da imagem para que sejam agradáveis. O ambiente deve estar parcialmente iluminado. Pode-se fechar cortinas ou persianas, se existirem.

4.1.1 A narrativa do/a professor/a

Após a preparação do ambiente e uma breve apresentação da proposta, o professor deverá iniciar a narrativa, seguindo o roteiro apresentado no capítulo 2 do manual do produto educacional (Apêndice B desta dissertação). Os estudantes precisam ter liberdade de participarem ou não desta atividade, pois ela poderá gerar algum tipo de incômodo.

Caso o professor possua alguma experiência com férias em fazendas poderá relatar aos estudantes, buscando despertar memórias que eles possuam do ambiente rural para gerar os primeiros envolvimento com os personagens da história.

A narração deve ser feita de forma integrada com o vídeo. O início do vídeo destaca a natureza da fazenda, os animais, as árvores frutíferas, o ar puro, os sons da natureza e, de maneira geral, a vida na fazenda. Neste momento o/a professor/a poderá destacar e descrever

características das imagens. Optamos por não utilizar gravações das falas no vídeo de forma a permitir um livre diálogo sobre a história e um melhor controle da vivência guiada.

Durante a exibição do vídeo é importante direcionar a atenção dos estudantes para os aspectos das imagens relativas à história, procurando orientar a visualização ao descrever a imagem, com exceção do pesadelo do menino, apresentado mais ao final.

Após destacar as características do ambiente rural, o professor deverá fazer algumas observações referentes à transição da paisagem do “verde” da fazenda para o “concreto” da cidade, destacando a quantidade de indústrias já nas imediações da cidade e o trânsito intenso quando a família adentra a cidade dos avós.

A transição entre a história e a vivência guiada deverá ocorrer de forma gradativa. No início da vivência guiada a fala do professor fica direcionada aos estudantes, como se eles fossem os personagens da história.

A partir do início da vivência guiada o professor deverá solicitar aos estudantes que se deitem em colchonetes, previamente preparados, fiquem confortáveis e que fechem os olhos para relaxar. Para essa imersão os estudantes devem ser orientados previamente a usarem roupas confortáveis e a tirarem os sapatos, se assim preferirem. A voz do professor deve apresentar tom e intensidade mais baixos e falar pausadamente. Deve solicitar que os estudantes respirem lenta e profundamente. O relaxamento inicial prepara para a tarefa, mas se relaxarem demais, a tarefa poderá ficar comprometida. Desde o início da atividade a iluminação deverá ser restrita e neste momento o ambiente deve estar o mais escuro possível ou com iluminação suave e indireta. Na história apresentada no capítulo 2 do manual do produto educacional (Apêndice B desta dissertação) são apresentadas algumas falas que podem ser utilizadas para um pequeno relaxamento, visando facilitar a imersão dos estudantes na vivência guiada.

Editamos os sons da cidade no vídeo para que pudéssemos usá-los para auxiliar na imersão e no isolamento sonoro do restante da escola. A fala do monstro foi incluída no vídeo após termos feito algumas edições de som na própria voz gravada. Esta passagem foi corroborada pela vivência intitulada: “Quarto Escuro” do livro: “Tornar-se presente: experimentos de crescimento em Gestalt-terapia” (Stevens, 1976, p. 154), que lista um conjunto de atividade de vivências, que poderá ser consultado caso o professor deseje fazer outras aplicações ou modificações. Gostaríamos de destacar que este momento exigirá do professor cuidados especiais no sincronismo entre a narrativa e a fala do monstro. O personagem do monstro de fumaça visa estimular lembranças relacionadas a situações de incômodo com a poluição e de possíveis situações de dominação pelas quais os estudantes possam ter passado. Reparem que na situação descrita na narrativa da história (cap. 2 do manual do produto

educacional - Apêndice B desta dissertação) o monstro de fumaça tem o total controle da situação, do quarto, da cidade e do corpo do menino.

Procuramos gerar uma vivência de impotência perante uma situação problema que pode produzir muito desconforto, visando estimular nos alunos uma postura ativa para que se tornem protagonistas na história final. Com isso, temos o intuito de despertar a consciência dos estudantes para o problema da poluição e a situação que ele poderá resolver.

Cabe destacar que o professor deverá fazer as devidas adaptações, principalmente na parte da vivência guiada, respeitando o perfil e a faixa etária dos estudantes. Cuidados especiais devem ser tomados mesmo com turmas de idade mais avançadas. Sugere-se, quando possível, o acompanhamento de um profissional da área da psicologia, dependendo da abordagem que o professor desejar imprimir à atividade. Com pequenas modificações o professor, se assim o desejar, poderá transformar a vivência em apenas uma história de um pesadelo.

Ao término da narrativa do pesadelo do menino, o professor deve dar uma breve pausa na narrativa da história para que os estudantes possam responder por escrito duas questões de uma lista: "Monstro de fumaça - Avaliação da Imersão" (Apêndice A do manual do produto educacional) que será entregue aos alunos:

1. Somos nós que alimentamos o monstro da poluição todos os dias ao utilizarmos veículos a combustão. Imagine que você irá ajudar a se ver livre desse monstro. Para onde você o levaria? Você pode discutir com os colegas. Escreva sua resposta de uma forma bem sucinta.
2. Sobre os sentimentos e emoções que ocorreram durante o encontro com o monstro de fumaça:
 - a. Cite três palavras que traduzem seus pensamentos (emoções) quando o monstro de fumaça estava no quarto.
 - b. Se você fosse o menino também teria tido medo do monstro de fumaça?
 - c. Você teve algum tipo de receio ou medo quanto ao monstro de fumaça?
 - d. Se você pudesse concretizar este medo no seu corpo, em que parte seria?

Segundo orientações da psicóloga que consultamos para nos orientar sobre a técnica de vivências guiadas, este é o momento em que os estudantes poderão expressar possíveis desconfortos, e deverá ocorrer logo após a vivência do monstro, e não ao final da história.

Após os estudantes terem respondido as perguntas por escrito, o professor deve retomar a narrativa seguindo as indicações do manual do produto educacional (Apêndice B desta dissertação).

Quando houver necessidade, o vídeo poderá ser pausado para que o professor tenha tempo de inserir os debates sugeridos. Algumas questões são interativas, como a que se segue:

1. Ajude o menino da história a contribuir no conserto do carro, propondo uma causa para o defeito e a justificativa para o seu pai.

Algumas questões podem ficar para serem respondidas por escrito ao final da história, de forma a minimizar o risco de ocorrer uma interrupção da própria história. Caso o professor disponha de tempo poderá apresentar outras questões oralmente aos estudantes, tais como: Como vocês resolveriam a situação problema do carro enguiçado se fossem os pais do menino? Adiaram a viagem? Voltariam de ônibus? Tentarão consertar o veículo? Dessa forma procuramos promover a interação dos estudantes com a história para que eles possam ficar à vontade para se expressarem.

Na narrativa algumas informações são suprimidas de forma proposital no momento da troca dos veículos, como, por exemplo, o fato de o carro do avô ser elétrico. Indicativos de que o carro do avô é elétrico são fornecidos apenas na pergunta que o menino fez ao pai durante a viagem de volta.

Durante a narrativa da viagem de volta o/a professor/a deverá solicitar que os estudantes respondam por escrito as seguintes perguntas do menino ao pai, como transcrito da folha entregue aos estudantes:

2. Durante a viagem de volta o menino faz uma série de perguntas ao pai. Ajude o pai a responder os questionamentos do garoto:
 - a) O carro do vovô "tava" ligado na tomada que nem o liquidificador da mamãe. Por que o senhor não coloca o nosso carro na tomada?
 - b) O carro do vovô não faz barulho e não solta fumaça! Por que o nosso faz barulho e solta fumaça?
 - c) Como a gasolina empurra o carro? Ela não tem braço e nem mão!

Depois disso a viagem continua com o pai tentando explicar a diferença entre o carro do avô e o carro da família. O professor orienta os estudantes de que este assunto será abordado nas próximas aulas. Ao final, a imersão termina com o retorno das crianças à fazenda. É importante lembrar que as situações problemas apresentadas durante a narração da história serão abordadas no decorrer da sequência didática e que os estudantes serão estimulados a buscar possíveis soluções para os problemas apresentados durante a narrativa da história apresentada no capítulo 2 do manual do produto educacional (Apêndice B desta dissertação).

4.2 O JOGO RALLY DA FÍSICA

O interesse pelos jogos vem da minha experiência docente. Já faz vários anos que venho trabalhando com diversos tipos de jogos, com objetivos educativos e recreativos diversificados. Porém, sempre motivado pelo interesse que eles causam nos estudantes.

Segundo Kishimoto (2017), a imersão no mundo fictício do jogo é capaz de produzir o engajamento e uma suspensão da realidade, produzindo um movimento espacial e temporal do jogador. Por meio desse engajamento, entendemos que o jogo pode se configurar como um importante aliado nos processos de ensino e de aprendizagem dos estudantes.

O prazer gerado pelo jogo em crianças, jovens e adultos é capaz de proporcionar atividades de socialização diversificadas e promover o aprendizado de diferentes conteúdos, favorecendo o desenvolvimento de aspectos cognitivos e comportamentais.

O jogo Rally da Física procura desenvolver a personalidade integral do estudante ao estimular sua criatividade e promover a socialização na resolução de desafios em equipe. De acordo com Winnicott (1975, p.80), é “no brincar, e somente no brincar que o indivíduo, criança ou adulto, pode ser criativo e utilizar sua personalidade integral, e é somente sendo criativo que o indivíduo descobre o eu”.

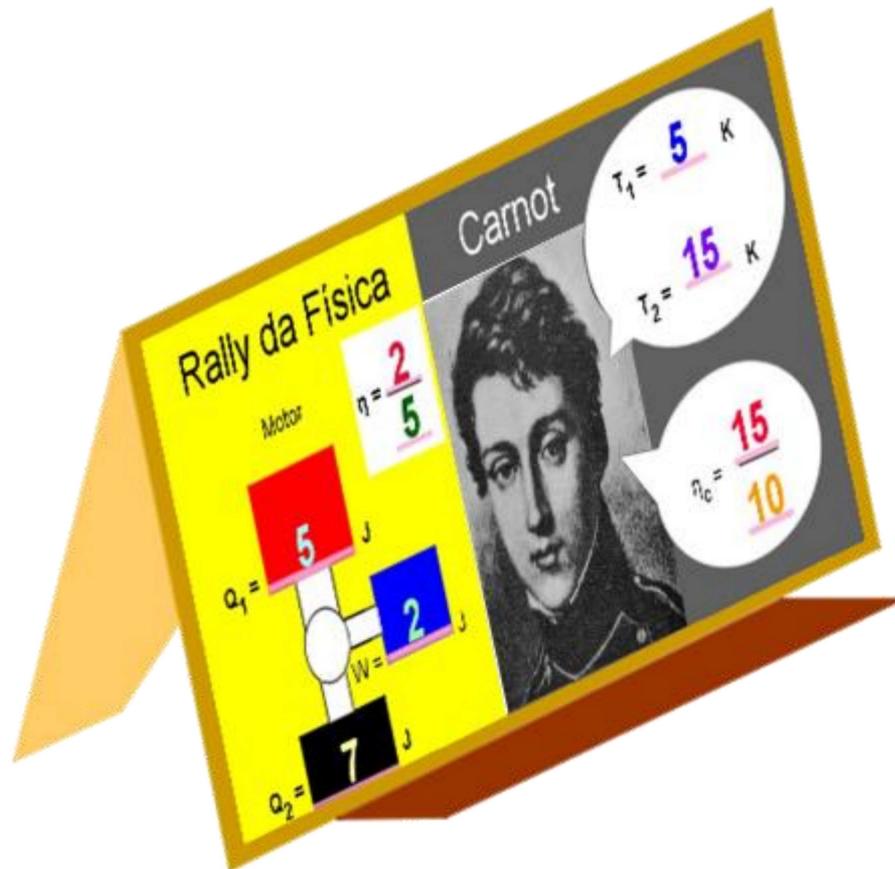
A ideia inicial do jogo Rally da Física surgiu a partir da solicitação de um professor da disciplina Termodinâmica e Mecânica Estatística para desenvolver uma sequência didática que abordasse esse conteúdo. Na época apresentamos dois trabalhos. O primeiro envolveu uma sequência didática estruturada em torno da construção experimental da 1ª lei da termodinâmica e das transformações gasosas, que utilizava aplicativos do PhET⁷ para realizar experiências investigativas e o GeoGebra⁸ na construção dos gráficos. O segundo, que seria apresentado como trabalho de conclusão da disciplina, envolvia a criação de um jogo, inicialmente pensado no formato de tabuleiro, para explorar as leis da termodinâmica e suas aplicações nos motores a combustão. Por falta de tempo, a apresentação acabou não ocorrendo. Porém já havíamos criado os fundamentos do que mais tarde iria se tornar o jogo Rally da Física.

Para a elaboração do jogo procuramos nos orientar pelas seguintes questões: Quais as experiências que temos sobre o assunto? Conhecemos algum aplicativo que pode ser usado? O que podemos criar para trabalhar este conteúdo em sala de aula? Não tínhamos na época a intenção de usar o computador e muito menos produzir um game. O protótipo inicial era de um jogo de tabuleiro (Figura 15) para uso presencial.

⁷ https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/gases-intro e https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/gas-properties

⁸ <https://www.geogebra.org/>

Figura 15: Modelo do Tabuleiro em perspectiva



Fonte: acervo do autor.

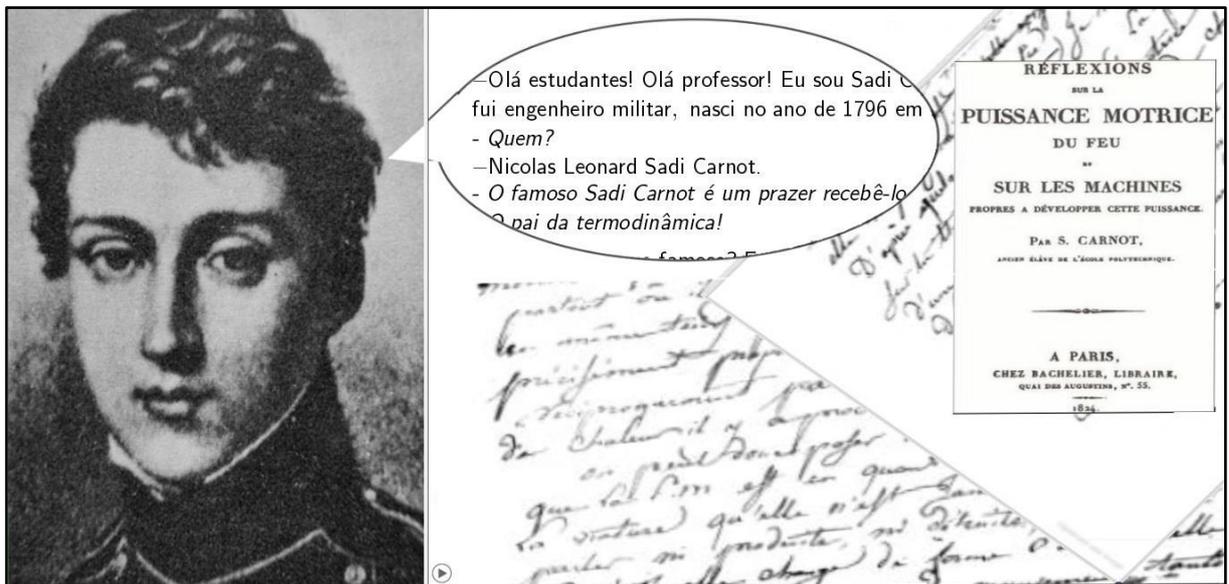
À medida em que o jogo foi sendo desenvolvido, fazíamos pré-aplicações para avaliar sua dinâmica e começamos a usar o GeoGebra para criação de tabuleiros virtuais. Na época as aulas presenciais ainda estavam suspensas em decorrência da pandemia da Covid-19 e as atividades letivas ocorriam de forma online. Com isso, precisávamos produzir estratégias em que os estudantes pudessem acessar o jogo mesmo que de forma virtual.

Já tínhamos experiência no uso do GeoGebra e recorremos a ele, inicialmente, apenas para fazer o desenho do diagrama do motor e depois para criar os tabuleiros virtuais para que as pré-aplicações pudessem ocorrer de forma online. A partir daí foram surgindo outras possibilidades de uso do GeoGebra no jogo, como o uso de simulações, as animações, os diferentes bônus, as dicas, o policial militar e a conversa com Carnot, que explicaremos a contento.

Assim, as coisas foram acontecendo até que o GeoGebra se tornou um importante complemento ao jogo.

Por meio do GeoGebra foi possível, por exemplo, desenvolvemos uma “conversa” dos estudantes com Sadi Carnot, possibilitando uma viagem lúdica no tempo que só os recursos computacionais permitem. Para tornar a conversa mais realística, pedimos a ajuda de um colega francês, professor de física, para gravar os áudios que seriam utilizados nos diálogos com os estudantes. O aparecimento de Carnot (Figura 16) durante o jogo foi configurado para funcionar como um dado aleatório, de modo a causar surpresa nos estudantes. O vídeo tutorial do jogo⁹ traz detalhes da explicação do funcionamento do diálogo com Carnot.

Figura 16: Tela do jogo com a primeira aparição de Carnot



Fonte: acervo do autor

Dessa forma, esperávamos despertar o interesse dos estudantes sobre quem foi Sadi Carnot e sobre o seu trabalho de uma forma lúdica, possibilitando a aquisição de bônus que seriam usados no contexto do jogo. A ideia era de que os estudantes pudessem discutir com Carnot diferentes aspectos históricos, políticos e econômicos relacionados à revolução industrial e às máquinas térmicas, fazendo um paralelo entre as duas épocas.

Com o GeoGebra também foram criadas dicas "inteligentes" com comentários orientadores sobre os conjuntos de valores numéricos específicos utilizados em uma jogada, conforme indicado pela seta vermelha mostrada na Figura 17.

⁹ Disponível em: <https://youtu.be/F48RIRMIaCI>

Figura 17: Tela do APP com dica sobre os valores apresentados

Rally da Física
Ligue o Carro!

$Q_1 = 15 \text{ J}$

$W = 8 \text{ J}$

$Q_2 = 3 \text{ J}$

Rendimento
Entre com a fração

$\eta_e = 13/10 = 1.3$

Dicas

Confira seus dados!
Lembre-se que o rendimento é uma comparação entre Q_1 e o W , portanto o que significaria um rendimento maior que 1?
Façamos uma analogia. O que significa dizer que você teve um bom rendimento no estudo?
Que comparação deve ser feita?
Matematicamente, como podemos compara duas quantidades?

Notas Placar
Config. Ajuste
Cont. Des.
Ligar CC NV.
Dicas Apagar

Fonte: acervo do autor

Desenvolvemos também diversos “contadores”, entre eles um avalia o número de respostas corretas consecutivas, e são usados para determinar o tipo de dica a ser exibida para um conjunto de valores numéricos específicos. Criamos ainda diferentes feedbacks que o aplicativo fornece às respostas dos estudantes: emojis, cálculos numéricos, efeitos sonoros, animações. Enfim, procuramos utilizar o máximo de recursos do GeoGebra e de sua plataforma.

O link de acesso e a descrição completa das regras do jogo encontram-se no capítulo 3 do manual do produto educacional (Apêndice B desta dissertação). No próximo capítulo apresentaremos a descrição detalhada da aplicação do jogo, na qual daremos mais detalhes dos diversos recursos que foram utilizados.

5 PERCURSO METODOLÓGICO

A aplicação do jogo ocorreu em uma turma do 3º ano do ensino médio de uma escola pública, com recursos tecnológicos precários. Isso nos permitiu avaliar as dificuldades que o professor poderá encontrar na aplicação do produto educacional em outros contextos. As dificuldades enfrentadas durante a aplicação nos motivaram a produzir um material didático com maior flexibilidade de aplicação. Ao final desta dissertação propomos algumas soluções e possibilidades de adaptação para o produto, principalmente na falta ou limitações de recursos tecnológicos.

5.1 O CONTEXTO DA APLICAÇÃO DO PRODUTO

O produto educacional resultante deste trabalho foi desenvolvido para ser aplicado na modalidade presencial. Foi estruturado na metodologia PBL (Aprendizagem Baseada em Problemas) associada à perspectiva crítica do enfoque CTS (ciência, tecnologia e sociedade). Conforme já mencionado, o jogo começou a ser desenvolvido no ano de 2019, em um período anterior à pandemia da Covid-19.

Os pré-testes ocorreram de forma remota nos anos seguintes, de 2020 e de 2021. Situação que, de certa forma, modelou a estrutura do produto. Ou seja, apesar de ter sido estruturado inicialmente para ser aplicado presencialmente, o jogo oferece recursos de aplicações a distância devido aos pré-testes realizados remotamente.

A aplicação ocorreu de forma presencial, com uma turma do 3º ano do ensino médio, de uma escola pública do município de Juiz de Fora, MG, nos meses de maio, junho e julho, no ano de 2022, após o retorno das atividades presenciais nas escolas estaduais. Durante a aplicação o pesquisador foi acometido pela Covid-19, o que acarretou um encurtamento prematuro do trabalho. Apesar da situação imprevista foi possível manter a estrutura original da sequência didática proposta.

Para a aplicação foi feita uma parceria com o professor de física regente da turma da escola que atuou como colaborador durante o desenvolvimento da SD. Todas as aulas utilizadas na aplicação foram geminadas (dois módulos de 50 min). No total foram utilizadas 12 aulas.

As duas primeiras aulas foram utilizadas para trabalhar a história inicial na qual apresentamos o tema central do trabalho: as leis da termodinâmica, tendo ocorrido no dia 31 de maio de 2022. As seis aulas seguintes foram utilizadas para a aplicação do jogo propriamente dito. Na sequência, foram utilizadas duas aulas para a produção de texto pelos estudantes em torno do tema central. O objetivo desse texto era completar a história inicial. Foi neste ponto

que a aplicação teve que ser interrompida devido ao fato de o pesquisador ter sido acometido pela Covid-19. Com isso, ajustes foram necessários para a finalização da aplicação.

Nas duas últimas aulas fizemos uso do jogo dialogado modificado (JDM), termo utilizado para o momento que fizemos algumas alterações no jogo dinâmico em que discutimos, oralmente e por escrito, sobre o jogo e sobre os conteúdos de física relacionados com os estudantes. Gostaríamos de ter retomado o jogo dinâmico a partir deste ponto, mas não foi possível devido ao recesso escolar do mês de julho. Assim, a aplicação ocorreu da seguinte forma:

- História Inicial (vivência guiada) – duas aulas
- Jogo Dinâmico – seis aulas
- História Final – duas aulas
- Jogo Dialogado Modificado – duas aulas

5.2 DESCRIÇÃO DETALHADA DA APLICAÇÃO DO PRODUTO

Nesta seção apresentamos uma descrição detalhada de cada uma das etapas de aplicação do produto educacional.

5.2.1 A História Viagem – vivência guiada

Esta seção está dividida em três partes. Inicialmente, apresentamos uma breve descrição dos pré-testes realizados antes da aplicação na escola. Em seguida, falamos dos preparativos e adaptações necessárias para a aplicação. E, na sequência, descrevemos a aplicação propriamente dita.

5.2.1.1 Pré-aplicação da história inicial e os ajustes realizados

Fizemos uma única pré-aplicação da história inicial em uma pequena turma de um espaço de reforço escolar no início do ano de 2022, o que nos permitiu fazer alguns ajustes na história inicial. Aplicamos o questionário (Apêndice A do manual do produto educacional), ouvimos as opiniões dos estudantes e explicamos que estávamos em fase de ajustes de um recurso didático que seria utilizado posteriormente. Os estudantes foram solícitos e procuraram fazer comentários e críticas sobre a atividade.

Nesta fase pudemos contar a presença da psicóloga que fez comentários relevantes sobre a postura corporal dos estudantes durante a atividade, sobre o comportamento deles, sobre a distribuição de tempo de cada etapa do vídeo e ajudou a interpretar os comentários dos estudantes durante e após a atividade. Graças aos resultados e críticas desta aplicação ajustamos

a sincronia do vídeo com a contação da história, reduzimos algumas partes e ampliamos o tempo de outras.

Melhoramos a interatividade dos estudantes com a história adicionando perguntas que eles deveriam responder como personagens da história, o que aumentou a dinâmica e evitou uma possível narrativa monótona e cansativa. As perguntas do questionário foram redistribuídas, não ficando apenas no final da atividade.

A interatividade criada foi fundamental para contrabalançar o tempo total da atividade, demasiadamente extenso (2 horas\aula). A Figura 18 mostra o registro da pré-aplicação.

Figura 18 – Registro da pré-aplicação da história/imersão



Fonte: acervo do autor

Por se tratar de uma turma pequena, utilizamos colchão na atividade de relaxamento.

5.2.1.2 A escolha do espaço o material necessário

A escola escolhida apresentou boas condições de aplicação. No entanto, alguns ajustes foram necessários quanto ao espaço físico e o material disponível da escola para o nosso uso. Relataremos as dificuldades e soluções encontradas, pois acreditamos que poderá contribuir em futuras aplicações.

A aplicação da história/imersão seria inviável na sala de aula da turma devido a todo o material que deveríamos montar e desmontar entre as aulas: computador, projetor, caixa de som, além do material de coleta de dados para a pesquisa, como filmadora e gravadores. A atividade inicial, a história, exigiria um bom espaço, onde os estudantes pudessem se deitar e, para isso, precisaríamos forrar o chão de forma a permitir um razoável conforto e limpeza para os estudantes.

Relatamos nossas necessidades à vice-diretora da escola, e ela nos disse que poderíamos utilizar o anfiteatro que estava desativado provisoriamente, aguardando reformas.

Por isso estava sendo utilizado como espaço para armazenar carteiras e exigiria limpeza e organização. Consideramos o local bastante conveniente, apesar do trabalho que teríamos para colocar o espaço em condições de uso.

O anfiteatro apresentava um distanciamento físico das salas de aula e do restante da escola, o que favoreceria o isolamento acústico, facilitando o processo de imersão na história. As cadeiras danificadas que já tinham sido retiradas forneceram o espaço necessário para que os estudantes pudessem se deitar. As cortinas do anfiteatro permitiriam o ajuste de iluminação necessário para a vivência do pesadelo do menino na história (um ambiente mais escuro). Como o anfiteatro não estava em uso, poderíamos montar e desmontar todo o equipamento sem que isto causasse qualquer transtorno ao funcionamento da escola. Esse espaço também seria útil quando estivéssemos aplicando o jogo, pois poderíamos deixar as carteiras organizadas em grupos de uma aula para a outra.

Pelo fato de a escola não ter colchonetes, EVA ou outro tipo de material para que os estudantes pudessem deitar-se, conseguimos a doação de 200 folhas de papelão junto a uma fábrica de papéis da cidade e com mais algumas caixas de papelão arrecadadas nos supermercados da cidade, conseguimos forrar o chão. Colocamos inicialmente o papelão reciclado por baixo e por cima o papelão novo.

Improvizamos travesseiros com caixas de papelão do supermercado (recortes e dobras foram necessários no ajuste de tamanho). Estes foram fornecidos aos estudantes para maior conforto no relaxamento, permitindo um bom ângulo de visualização da tela de projeção.

O professor regente da turma relatou-nos após a atividade, que gostou de usar o travesseiro e disse-nos que a ideia foi muito boa e que a altura do travesseiro permitia uma angulação de visualização ótima da tela. Ele participou da atividade deitando-se no papelão junto com os estudantes. A Figura 19 mostra o espaço preparado para os estudantes se deitarem.

Figura 19: Espaço preparado para os estudantes se deitarem



Fonte: Acervo do autor

O fato de termos escolhido uma turma do 3º ano do Ensino Médio do turno da tarde, com aulas geminadas, facilitou a montagem e desmontagem do equipamento necessário para aplicação, já que a preparação do material ocorria para duas aulas consecutivas.

5.2.2 Relato da aplicação da História Viagem

A atividade de imersão com a narração da história inicial ocorreu no dia 31 de maio de 2022. Combinamos com o professor regente da turma que recebesse os estudantes em sala de aula e os levassem para o anfiteatro. O professor nos relatou que já havia conversado com os estudantes sobre a aplicação do produto. Foram utilizadas as aulas dos dois primeiros horários da 3ª feira.

Assim que os estudantes foram chegando no anfiteatro pedimos que eles tirassem os calçados e assentassem na parte forrada com papelão. Por se tratar da nossa primeira atividade com os estudantes, fizemos uma breve explicação sobre o projeto, já que o professor da turma tinha apresentado o trabalho previamente sem a nossa presença.

Nos apresentamos e explicamos a importância da aplicação do produto na pesquisa que estávamos a realizar. Avisamos que poderiam sair do anfiteatro a qualquer momento se

tivessem algum tipo de incômodo ou desconforto com a história. Não queríamos forçar a presença dos estudantes em uma situação de desconforto, principalmente no momento do pesadelo do menino com o monstro. Para isso bastaria que eles levantassem a mão e fizessem o pedido, para não atrapalhar a imersão do restante dos colegas.

Iniciamos a atividade com 20 estudantes. Por ser a primeira aula do turno da tarde, alguns deles chegaram no decorrer da atividade, totalizando 26 ao final. O tempo total da atividade foi de 2h/aulas. Não houve resistência à participação na atividade e até o professor da turma deitou-se sobre os papelões e participou da atividade.

Ao iniciarmos a narrativa de imersão do pesadelo, dois estudantes riram e conversaram rapidamente, não conseguimos ouvir sobre o que conversaram, mas o restante da turma participou com os olhos fechados, sem que tivéssemos solicitado. Segundo observações da psicóloga, que acompanhou a aplicação, os risos podem expressar desconforto perante a situação de incômodo gerada pela imagem do monstro de fumaça e os efeitos sonoros. Acreditamos que o comportamento desses dois estudantes possa ter dificultado a imersão do restante da turma apenas neste momento, mas não temos como avaliar.

Já na parte final da atividade, o relaxamento transcorreu sem intercorrências, com total participação. Dois estudantes relataram ter dormido durante o relaxamento, tudo dentro do esperado, sinal de que o relaxamento funcionou.

Um estudante, mais agitado, levantou e conversou algumas vezes, estava procurando uma caneta para responder o questionário. Os estudantes tinham deixado todo o material na sala de aula.

Alguns estudantes manifestaram o interesse pela história, oralmente, mesmo sem termos perguntado, mostrando que a atividade foi capaz de envolvê-los e disseram que gostariam de ter mais aulas naquele formato – “Tem mais alguma história para contar?”; “Quando a história continua?”

Após preencherem o questionário por escrito tivemos alguns minutos para que pudessem se expressar livremente. Tivemos o acompanhamento de uma psicóloga durante toda a atividade. No final, ouvimos seu relato e colhemos suas observações e críticas a respeito da atividade desenvolvida. Ela ofertou seu trabalho de forma voluntária e contribuiu significativamente para os ajustes na elaboração do produto.

Nos últimos minutos da aula estimulamos um debate livre e espontâneo entre os estudantes, repetindo inclusive algumas questões que eles já haviam respondido por escrito. Também tivemos que responder algumas curiosidades. Uma das estudantes ficou curiosa sobre quem eram os atores do trecho do vídeo no momento do carro enguiçado na garagem, insistindo

que eu era o ator que aparece de costas. Outra relatou que estava achando que conhecia o rapaz que fez o personagem do vizinho. Dissemos que o adulto era meu irmão e que o rapaz era o meu sobrinho.

Apesar de ser o nosso primeiro contato com a turma, observamos que a atividade inicial foi capaz de quebrar o "gelo" com a turma. As curiosidades sobre como produzimos o vídeo foram muitas e as mais diversas. Insistimos no encaminhamento do debate planejado antecipadamente.

Perguntamos se alguém saberia dizer por que estávamos discutindo sobre poluição nesta história? Um estudante relatou que “na Alemanha estavam usando bicicletas nas cidades para diminuir a poluição.” Outro disse que “em Juiz de Fora não dá para usar bicicleta porque tem muita montanha.” Comentários importantes relacionados à pergunta inicial. Até então havíamos apresentado uma situação problema sem pedir explicitamente uma solução para os estudantes, no entanto pelas respostas acima percebemos o interesse deles em apresentar soluções.

O debate ocorria livre e solto. Esperávamos realmente criar um momento em que os estudantes pudessem se expressar livremente. Perguntamos se tinham gostado da história? Disseram que sim. Uma estudante (A3) comentou sobre o áudio do vídeo dizendo que “o som ficou legal”. Utilizamos uma grande caixa de som fornecida pelo colégio na maior parte da atividade, o que foi necessário devido ao tamanho do anfiteatro. Falamos que nós mesmos fizemos a edição do áudio do monstro. Outro perguntou como foi feita. Procurávamos responder as curiosidades sobre a história e o vídeo. Outra estudante perguntou se o menino da história era nosso filho, dizendo que “curioso e chato desta forma só sendo filho de professor de física”. Todos riram.

Entendemos que essas perguntas inesperadas surgiram a partir da interatividade gerada pela história. Conforme já descrito, criamos questões para estimular a participação dos estudantes: O que conseguimos com isto? De que forma vocês reagiriam? Com isso conseguimos um comportamento e atitudes que acreditamos serem consequências da forma como a atividade foi estruturada. O tempo todo procuramos envolver todos os estudantes no contexto da história e criar situações de interação entre eles.

Observamos que tínhamos conseguido atingir o objetivo de gerar uma relação de empatia entre professor e estudantes, tão necessária no processo de ensino, geramos um ambiente descontraído e espontâneo no debate final.

A situação problema foi apresentada aos estudantes gerando envolvimento e despertando sentimentos e emoções as mais diversas como gostaríamos. Inclusive gerando

interesse por outros aspectos relacionados à produção do material, não só as situações da história.

5.2.3 Iniciando o Rally da Física

A terceira e quarta aulas de nossa aplicação não ocorreram no horário que a turma teria aula de física com o professor regente. Os horários foram cedidos gentilmente pelo professor de biologia e pela professora de português, e as aulas ocorreram no dia 06 de junho de 2022.

Conforme ocorreu anteriormente, combinamos com o professor de biologia que recebesse os estudantes em sala de aula e os levasse para o anfiteatro, onde ficamos esperando. Ao chegarem, explicamos que para iniciarmos o jogo eles teriam que se organizar em 5 equipes, com cerca de 5 estudantes cada, e que estas equipes deveriam ser mantidas durante todo o jogo. Dissemos também que escolhessem os nomes das equipes. Os nomes escolhidos foram: “Acorda Pedrinho”, “As Alopradas”, “2110”, “Tropa do Omar”, “As 3 Mosqueteiras”.

Explicamos que iniciariamos o jogo naquela aula. Fizemos um breve relato das regras básicas e dissemos que as outras regras seriam explicadas à medida que fossem necessárias. Evidenciamos apenas que só conseguiriam ligar o veículo quando os valores estivessem corretos, pontuando nestas condições. Mostramos como funciona o APP, os emojis, os cálculos, as dicas, introduzindo valores errados e mostramos o efeito sonoro quando tentamos ligar com valores errados. Também mostramos como proceder para comprar dicas, quando necessário.

Alguns estudantes solicitaram que ligássemos o carro com um conjunto de valores corretos, para servir de exemplo. Dissemos que isso não seria possível porque assim eles visualizariam os valores e a possível relação entre eles, que é o objetivo do jogo. Perguntamos se tinham entendido como funciona o jogo. Alguns responderam dizendo que sim e outros não se posicionaram.

Na fase inicial do jogo abordamos a primeira lei da termodinâmica conforme descrito no manual do produto educacional (Apêndice B desta dissertação). No início os estudantes sentiram dificuldade na escolha dos valores esperados ao jogarem os dados, o que atrasou o andamento do jogo mais do que havíamos previsto. Não explicamos quantos dados deveriam jogar para obter os valores esperados ou sobre as correspondentes probabilidade. Também não formulamos a primeira lei da termodinâmica de forma antecipada. Deixamos que eles tentassem deduzir os valores esperados ao jogarem os dados.

Explicamos a simbologia das grandezas presentes no APP: Q_1 (quantidade de calor que entra no sistema), W (trabalho realizado) e Q_2 (quantidade de calor descartado para fonte fria). Explicamos as grandezas sem nos referirmos à relação entre elas. Para tornar o jogo mais

realístico, mostramos o modelo concreto e em corte de um motor 4-tempos (Figura 16), identificando algumas partes. Falamos sobre onde ocorre a combustão (câmara de combustão) e simulamos o movimento no pistão devido a combustão. No modelo concreto o movimento das válvulas e do pistão é obtido com auxílio de uma manivela. A identificação dos 4 tempos e do ciclo completo ficaria para serem discutidos nos desafios do “Quebra cabeça dinâmico” e da “Construção do ciclo do motor 4 tempos”. O modelo utilizado foi obtido por empréstimo em uma universidade pública, caso o professor não tenha essa disponibilidade sugerimos que utilize um vídeo.

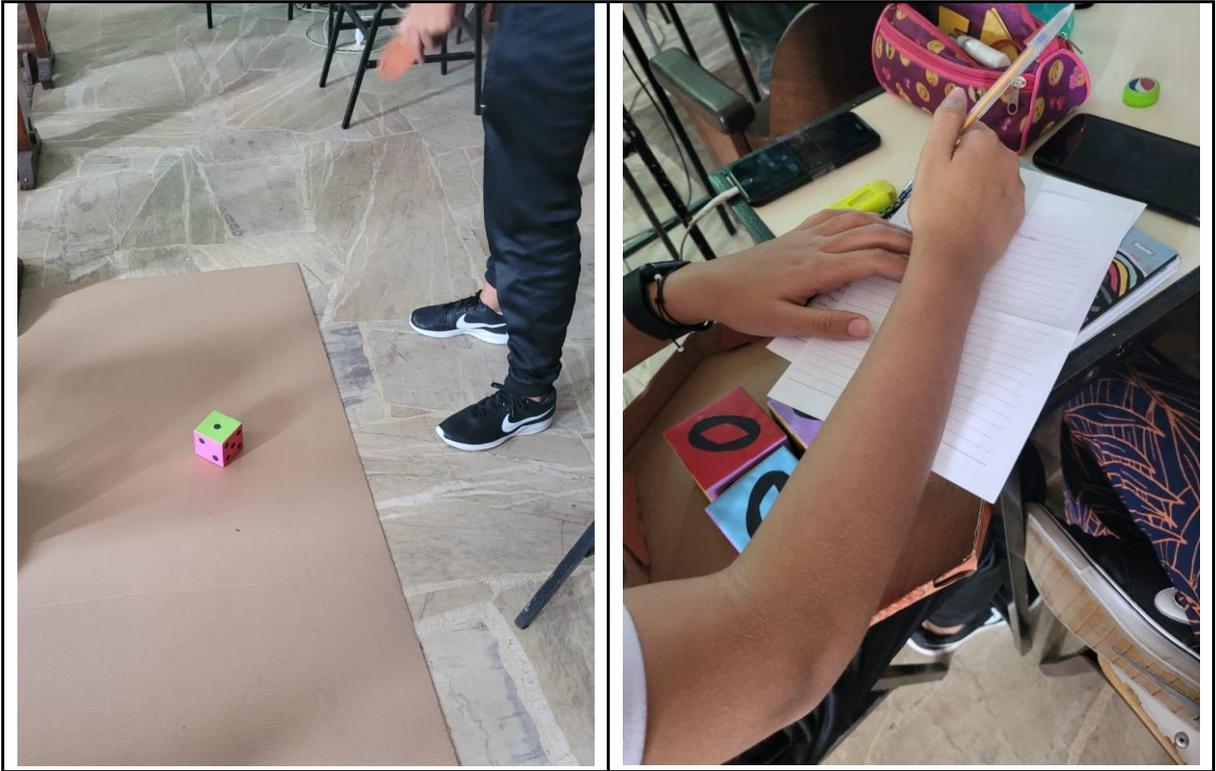
Figura 20: Modelo do motor de 4 tempos



Fonte: acervo do autor

Mostramos os dados que os estudantes utilizariam para jogar, explicamos o porquê de terem sido construídos de forma maior, justificando o 7,5 cm de aresta, o que permitiria uma melhor visualização. A Figura 21 mostra os estudantes jogando os dados

Figura 21: Estudantes jogando os dados e anotando os valores



Fonte: acervo do autor

Antes de iniciarmos o jogo rolamos os dados para determinar a ordem de jogada de cada equipe. E apenas neste momento inicial clicamos no botão que gera todos os valores de forma aleatória, “Novos Valores” (NV), obtendo:

Q_1 (J)	W (J)	Q_2 (J)
10	8	6

Pedimos à equipe da vez (“Acorda Pedrinho”) para escolher uma das grandezas e rolar os dados. A equipe estava bem perto de nós e ouvimos comentários de que gostariam de obter o valor 4 na rolagem dos dados para o trabalho. Porém, não participamos da conversa. O professor regente da turma já havia nos alertado da presença de um aluno diferenciado nesta equipe, capaz de produzir uma dinâmica diferente no jogo, como observaremos. O estudante A1 estava explicando aos colegas o porquê deste valor desejado. No entanto, escolheram erradamente a quantidade de dados a serem rolados: 2 dados. Demoraram um pouco a fazer a escolha e não justificaram a escolha do número de dados. A probabilidade seria maior ao rolarem apenas 1 dado. Não fizemos qualquer comentário. Estávamos preocupados em manter a postura de professor juiz, conforme explicado no tópico sobre a PBL.

Na jogada a equipe obteve o número 2, e ficamos com os seguintes valores:

Q ₁ (J)	W (J)	Q ₂ (J)
10	2	6

Perguntamos se gostariam de tentar ligar o carro. Responderam com grande convicção, que não. Com isso, observamos que já sabiam a relação entre as grandezas. Não percebemos pesquisas na internet e não as proibimos. Esquecemos de limitar o uso do celular neste momento como tínhamos previsto no produto.

A próxima equipe a jogar foi a “2110”. Optaram por jogar 2 dados também para o trabalho. Não percebemos qualquer debate entre os participantes ou se houve o intuito de seguir os passos da equipe anterior, por ser considerada uma “boa equipe”. Apenas perguntamos se eles tinham certeza do número de dados a serem jogados?

Mudaram facilmente de escolha para 3 dados. Diminuindo ainda mais a probabilidade de acerto. Mantivemos nossa postura de professor juiz. Mas, a provocação valeu para verificar que não tinham convicção na escolha que fizeram, confirmando nossa hipótese de estarem apenas repetindo a escolha da equipe anterior. Jogaram os dados e obtiveram o valor 9. Também não quiseram tentar ligar o carro. A tabela ficou com a seguinte configuração de valores:

Q ₁ (J)	W (J)	Q ₂ (J)
10	9	6

A equipe seguinte foi “As 3 Mosqueteiras” e escolheram jogar 3 dados para o valor de Q₂. Como já relatamos a grandeza escolhida e o número de dados a serem rolados ficam a critério da estratégia de jogo da equipe

Uma escolha muito ruim, pois poderiam ter escolhido jogar apenas um dado para Q₂ ou para o trabalho, a probabilidade seria maior. Não sabíamos dizer se tinham um valor esperado ou se apenas estavam rolando dados. Nesse momento tivemos que assumir a postura do professor tutor e interceder, sugerindo que discutissem a escolha. Dissemos que poderiam comprar dicas do APP ficando com débito na pontuação. Queríamos estimular os pedidos de dicas pelas equipes que ainda não tinham ideia dos valores esperados. Porém, optaram por não requisitar as dicas, apesar de nossa sugestão. O resultado da rolagem dos dados foi 5 e o conjunto de dados passou a ter a seguinte configuração:

Q ₁ (J)	W (J)	Q ₂ (J)
10	9	5

Observamos que os estudantes estavam discutindo sobre como jogar, mas não temos indícios de que tinham conhecimento da lei de conservação. Entendemos que a escolha do número de dados a serem jogados pela equipe permitiria, de uma forma indireta, indicar o valor desejado pela equipe, isto é, quando a equipe escolheu lançar 3 dados para Q_2 , entendemos que desejavam obter um valor alto, o que não seria adequado pela primeira lei de conservação.

Com isso, começamos a ficar preocupados, pois as probabilidades neste jogo são pequenas mesmo para as escolhas corretas no número de dados a serem lançados. Além disso, a inexistência de bônus no início do jogo dificultava ainda mais os ajustes. Se não bastasse, o fato de não estarem requisitando as dicas forçou-nos a fazer algumas mudanças, pois os estudantes poderiam ficar desmotivados ao jogarem dados aleatoriamente sem obter um resultado satisfatório.

O fato de não sabermos os valores esperados pelos estudantes ao rolares os dados e suas justificativas nos levaria futuramente a propor algumas mudanças fundamentais na continuidade do jogo e nas próximas aplicação.

A equipe “Tropa do Omar” escolheu jogar 3 dados para Q_1 , outra escolha equivocada em termos de probabilidade. Até poderiam estar desejando obter o valor 14, mas não sabíamos e não podíamos perguntar. Obtiveram 12, e o conjunto de valores ficou da seguinte forma:

Q_1 (J)	W (J)	Q_2 (J)
12	9	5

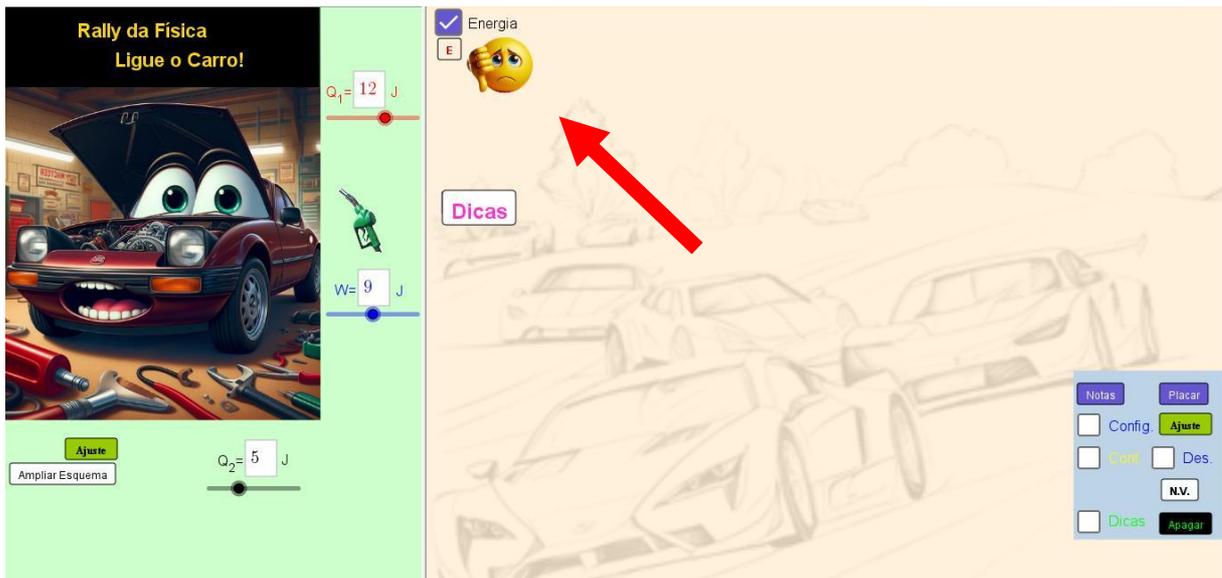
Os estudantes continuavam a insistir em não usar as dicas. Não tínhamos como interceder, nem como professor tutor. Perguntamos se gostariam que ligássemos o carro. Um dos participantes da equipe pediu para ligar. Por termos observado que os colegas da equipe não se pronunciaram, insistimos na pergunta: liga ou não liga? O mesmo estudante repetiu que ligássemos. Explicamos novamente que ocorreria uma penalização se os valores estivessem errados. Os colegas continuaram sem posicionamento. Tentamos ligar o carro e como era de se esperar ele não funcionou.

De acordo com a regra dissemos que perderam o valor de Q_2 em pontos. Observe que não conseguiram ajustar corretamente as grandezas de acordo com o princípio de conservação da energia. Lembremos que se tivessem acertado teriam o valor do trabalho somado à pontuação, entretanto como erraram, nesta fase, o valor de Q_2 foi subtraído.

Avisamos à turma que apresentaríamos um desafio, o “Quebra cabeça dinâmico”, e que esta equipe não poderia pontuar e a equipe vencedora seria agraciada com o bônus de engenheiro mecânico.

Mostramos o emoji (Figura 22), confirmando o gabarito, já sinalizado pelo próprio efeito sonoro do motor. Porém, não mostramos os cálculos da energia e não explicamos por que estava errado.

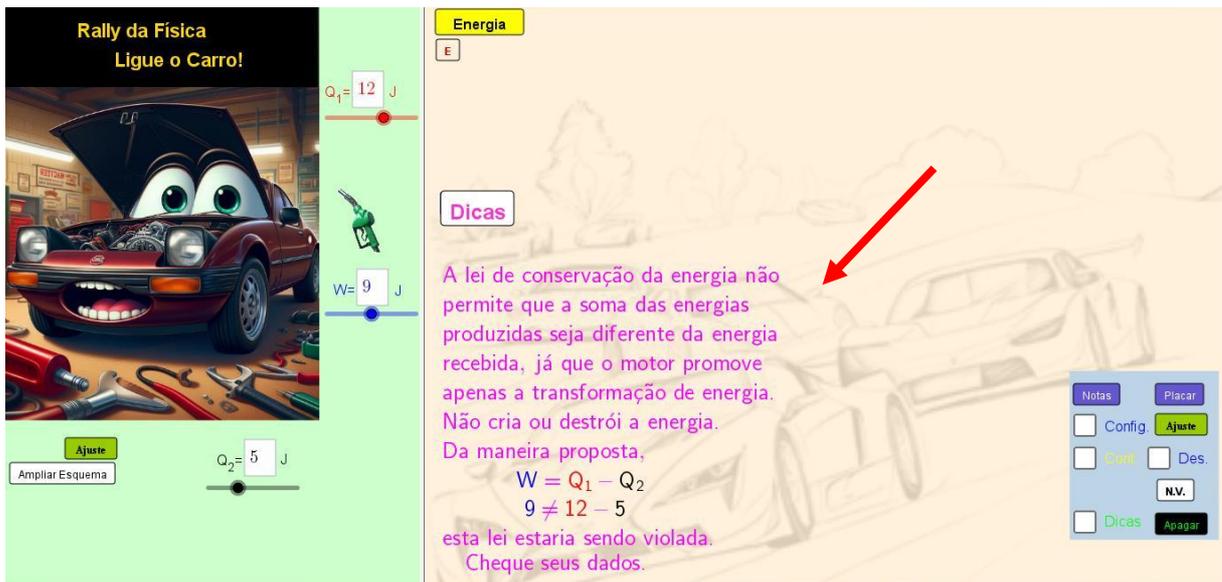
Figura 22: Tela do aplicativo indicando erro na correlação entre as grandezas



Fonte: acervo do autor

Apesar da grande quantidade de dicas que produzimos no APP, não havia dicas para todas as situações possíveis. A visualização de uma dica consiste em uma questão de um conjunto de valores que satisfazem as condições de exibição da dica. A dica para este conjunto de valores errados (Figura 23) surgiria, segundo nossas configurações, somente após a construção do conceito de conservação de energia, o que não gostaríamos de mostrar naquele momento aos estudantes, já que nesta condição interromperia o processo de elaboração do conteúdo.

Figura 23: Dica do aplicativo sobre o erro na correlação entre as grandezas inseridas



Fonte: acervo do autor

Tínhamos previsto tal situação, mas neste momento do jogo precisávamos fornecer orientações. O jogo estava literalmente "travado". A compra da dica e o fato de os estudantes terem ou não a dica comprada foram estratégias pensadas como elementos de sorte ou azar para potencializar a dinâmica do jogo. Naquele momento, não tínhamos ferramentas para avaliar a real situação dos estudantes.

Entre as aulas acessamos as gravações de cada equipe e observamos que não tivemos a oportunidade de usar as animações do aplicativo que ajudariam na compreensão do princípio de conservação. Como resolver este problema? Só mais tarde (quinta e sexta aula do jogo) implementamos o jogo dialogado modificado (JDM), que será explicado mais adiante, e as informações pelo WhatsApp para que as equipes pudessem informar estratégia pensada para o lançamento dos dados. O JDM não tinha sido previsto no produto original, essa modificação foi introduzida durante a aplicação a partir das dificuldades que observamos. Conforme relatado, até então não tínhamos como saber se a dificuldade dos estudantes estava na escolha das quantidades de dados a serem lançados, no conjunto de possibilidades ou na falta de conhecimento da lei de conservação. E a difícil postura de professor juiz, nos impedia de averiguar que era a dificuldade.

Naquele momento, para tentar contornar a situação, introduzimos um breve debate sobre uma analogia, já utilizada por nós com outras turmas, além do jogo, para tentar despertar nos estudantes a ideia do princípio de conservação da energia. Fizemos a seguinte pergunta:

— Se tivermos um pouco de dinheiro neste bolso da esquerda e passarmos para o bolso da direita ficaremos mais ricos ou mais pobres?

Os estudantes riram e responderam que “nem uma coisa ou outra”.

Continuamos, e perguntamos: — Por quê?

Um dos estudantes respondeu que "se não cair dinheiro no chão, você apenas passou dinheiro de um bolso para outro".

Completamos dizendo que o dinheiro foi apenas transferido de um bolso para o outro. Apesar da quantidade de dinheiro em cada bolso ter variado, a quantidade total de dinheiro total não aumenta e nem diminui. Observem que não falamos explicitamente no princípio de conservação da energia até o momento, gostaríamos que os estudantes percebessem sozinhos com a analogia. Continuamos dizendo:

— E se prestarmos atenção em um único bolso, imaginem que esteja furado, depois de muito tempo não teremos nada. OK? Podemos dizer que a quantidade de dinheiros se conserva?

Um estudante disse que “não”. E continuamos a conversa:

— Pensem como a quantidade de dinheiro que colocamos no bolso está relacionada com a quantidade de dinheiro que sai do bolso quando retiramos ou ao cair pelo buraco, como essas quantidades estão relacionadas? Vou dar 5 min para vocês pensarem.

Um estudante perguntou se “não ficou nada no bolso” e dissemos que não saberíamos dizer em quanto tempo “perderíamos” todo o dinheiro.

O estudante A1 da equipe “Acorda Pedrinho” disse que “a quantidade que eu coloquei tem que ser igual àquela que tirei mais o que caiu”. Respondi:

— Muito bem! A quantidade de dinheiro no bolso varia, mas essa relação só é válida por causa da “lei de conservação total do dinheiro”. Já ouviram falar desta lei? kkkk. Nem com mágica conseguimos retirar mais dinheiro do que colocamos. Ou cairá do bolso mais dinheiro do que colocamos. Pensem nisso quando retornarmos ao jogo. Observem os valores presentes no APP. Temos um combustível que é queimado, um trabalho realizado (movimento) e uma energia liberada para o meio ambiente na forma de calor.

Observamos alguns questionamentos dos estudantes sobre a quantidade de dados a serem jogados, mas nenhuma fala explícita sobre probabilidade, talvez já estivessem percebendo a dependência da probabilidade em função do número de dados a serem jogados, mas não conseguimos confirmar isso. Observamos que as equipes procuraram falar de forma resguardada, sem socializar as informações com as outras equipes. O que demonstrava um certo nível de competição entre as equipes.

Os estudantes não fizeram uso da dica, apesar de termos explicado que poderiam ficar em débito ao consultar as dicas no início do jogo.

5.2.4 O Quebra-cabeça dinâmico

No final da terceira aula e início da quarta, demos continuidade ao jogo apresentando o desafio do “Quebra-cabeça dinâmico¹⁰”. Na concepção original do jogo, esse desafio seria apresentado quando uma equipe tentasse ligar o carro equivocadamente, gerando a possibilidade de aquisição do bônus engenheiro mecânico, para que a equipe pudesse tentar resolver o desafio. Porém, devido à escassez de tempo, fizemos uma adaptação, apresentando o desafio na ordem de jogada de cada equipe, e a equipe que conseguisse resolver primeiro seria bonificada. Neste momento, fizemos uso da flexibilidade oferecida pelos desafios e a utilizamos sem que uma das equipes tivesse tentado ligar o carro equivocadamente.

Projetamos o desafio na tela (Figura 24), da mesma forma que no jogo, e as equipes foram orientadas a fazer o registro de suas respostas por escrito, que foram recolhidas antes de iniciar o debate. As partes do vídeo foram apresentadas inicialmente em velocidade normal e depois foram repetidas mais duas vezes, sendo uma com velocidade reduzida para que os estudantes pudessem atentar aos detalhes. Depois foi dado um prazo de 10 minutos para que as equipes entregassem suas respostas.

Figura 24: Imagem de captura de tela do quebra-cabeça dinâmico

Identifique a sequência correta das etapas e os respectivos nomes.

1 2 3 4

Expulsão (Eu) Compressão (Co)
Explosão (Eo) Admissão (A)

a) 1342.....
AEoEuCo

b) 1243.....
ACoEoEu

c) 1324.....
ACoEoEu

d) 1234.....
ACoEoEu

e) 1423.....
AEuCoEo

f) 1432.....
AEuEoCo

Fonte: acervo do autor

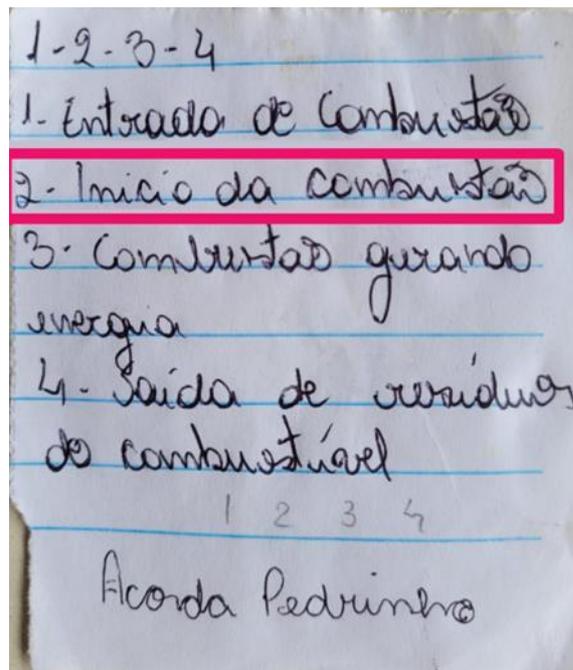
¹⁰ Disponível em: https://docs.google.com/presentation/d/1p9Ng0OO3Cw-7FW3ueAXswqFjFBpFAwLVKef0_7oLOwo/edit?usp=sharing

No exemplo ilustrado anteriormente, o gabarito é letra d, portanto a admissão corresponde ao número 1, a compressão corresponde ao número 2, a explosão corresponde ao número 3 e a expulsão ao número 4. As respostas das equipes foram as seguintes:

Equipe	Resposta
“Acorda Pedrinho”	1, 2, 3 e 4
“Aloprados”	1, 3, 4 e 2
“Tropa do Omar”	1, 2, 3 e 4
“As três Mosqueteiras”	1, 2, 4 e 3
“2110”	1, 4, 3 e 2

A primeira equipe a acertar a resposta foi a “Acorda Pedrinho”. Oralmente eles responderam corretamente, mas na resposta escrita verificamos que não especificaram corretamente o tempo de compreensão, dizendo que seria "Início da combustão" (Figura 25). Entretanto as respostas escritas foram consultadas apenas após a aula, na análise da aplicação, o que não permitiu o ajuste do placar.

Figura 25: Resposta da equipe “Acorda Pedrinho”



Fonte: acervo do autor

Um dos participantes da equipe “Tropa do Omar” reclamou por não terem sido agraciados com o bônus, pois também haviam acertado, conforme indicado no quadro apresentado anteriormente. Porém, eles haviam sido alertados que somente a primeira equipe a acertar, na sequência do jogo, ganharia o bônus.

As outras duas equipes não conseguiram montar o vídeo na sequência correta.

Perguntamos aos estudantes se gostariam de discutir algumas alternativas e disseram que estava tudo ok. Não insistimos porque já estávamos no final da aula e já havíamos mostrado o funcionamento do motor em outros dois momentos anteriores. Assim, conseguimos ajustar o tempo para a atividade como havíamos previsto.

Depois do jogo do “Quebra-cabeça dinâmico” utilizamos novamente o modelo em corte novamente, apresentado na Figura 20, e explicamos o que ocorre em cada etapa de funcionamento do motor, como recurso complementar ao desafio da atividade. A manivela do modelo permite gerar movimento no pistão e nas válvulas de admissão e escape. E a visualização do modelo poderia ajudar a sanar possíveis dúvidas dos estudantes.

Encerramos a atividade do dia com a promessa de que na próxima aula continuaríamos o jogo utilizando os mesmos conteúdos e outros seriam acrescentados. Sugerimos que estudassem sobre o conteúdo em casa ou com os colegas de equipe. Desta forma procuramos motivar a pesquisa entre os estudantes.

Após o encerramento da aula alguns estudantes se levantaram de suas carteiras para olharem o modelo do motor, que estava sobre a mesa, mais de perto, enquanto outros retornaram para a sala de aula. Neste momento, observamos algumas falas:

- “Mas o motor não é aberto desse jeito!” (A1)
- “Nunca imaginei que fosse assim o motor por dentro.” (A2)
- “Fica mais fácil de ver do que no vídeo como é o motor.” (A3)

Um dos estudantes pediu para movimentar a manivela do modelo, observou e relatou sobre o sincronismo das válvulas e o movimento do pistão. Ficamos satisfeitos, já que tal interesse evidenciava que a atividade estava atendendo a nossa expectativa.

Não tivemos tempo para mostrar o vídeo em 3D que selecionamos do motor 4 tempos, e deixamos para a próxima aula a explicação dos benefícios do bônus para a equipe vencedora e toda a turma.

5.2.5 A Continuação do Jogo – (aulas 5 e 6)

O jogo teve continuidade no dia 07 de junho em duas aulas cedidas pelo professor regente da turma. No início da aula relembramos aos estudantes de que o jogo é objeto de pesquisa em ensino de física e falamos que seria importante a gravação em áudio das discussões das equipes como fonte de dados para nosso trabalho. Sugerimos que eles gravassem com seus próprios celulares e que lembrassem de enviar o áudio posteriormente. Demos a opção de eles enviarem os arquivos pelo Google Drive. Imaginamos que poderia haver dificuldades no envio dos registros pelos próprios estudantes e, por isso, ainda mantivemos o uso do nosso próprio

equipamento (celulares e gravadores de som). Reiteramos que eles não seriam identificados e que os registros seriam utilizados apenas para fins da pesquisa.

Conforme já indicamos, gostaríamos de ter mantido as mesmas equipes durante todo o jogo, mas a irregularidade na frequência nos forçou a promover arranjos diferentes dos participantes. No entanto, os nomes das equipes foram mantidos.

Explicamos novamente sobre a possibilidade de comprarem dicas no APP, ficando com débito no trabalho, caso não tivessem pontuação suficiente para a compra, pois consideramos que as dicas constituem um recurso poderoso, criado para orientação dos estudantes e não estavam sendo utilizadas.

Explicamos novamente aos estudantes que durante o jogo estaríamos assumindo a postura de professor juiz e que não poderiam contar com nossa ajuda para sanar dúvidas ou apresentar o gabarito. Falamos também que em um momento posterior assumiríamos o papel de professor tutor, quando então discutiríamos as jogadas em grupo (JDM). Dissemos ainda que eles ficassem à vontade para pesquisar.

No início da aula, utilizamos um dos conjuntos de valores numéricos de uma situação da aula anterior para recordar os recursos do APP, os emojis, os cálculos, as dicas e tentamos ligar o carro com valores errados para ilustrar o funcionamento do jogo. Explicamos como funciona o bônus engenheiro mecânico, que uma das equipes havia adquirido ao final da aula anterior, e oferecemos uma tampinha de refrigerante para representar esse bônus.

Perguntamos ao professor regente da turma se ele estava entendendo a dinâmica do jogo, já que a aula anterior ocorreu em horários destinados às aulas de biologia e de português, sem a sua participação e ele respondeu que sim.

Nesta rodada do jogo os estudantes não jogaram os dados, apenas ajustaram os valores de Q_1 , de W , de Q_2 , ao somar ou subtrair uma unidade ou no máximo um décimo no caso do rendimento. A equipe detentora do bônus engenheiro mecânico poderia somar ou subtrair até duas unidades. Essa rodada foi prevista caso na rodada anterior a turma não tivesse conseguido ligar o carro. Fizemos isso na tentativa de identificar as jogadas pelos valores desejados sem o uso dos dados.

Ao clicarmos no botão “Novos valores” (NV) geramos os seguintes valores aleatórios para recomençar o jogo:

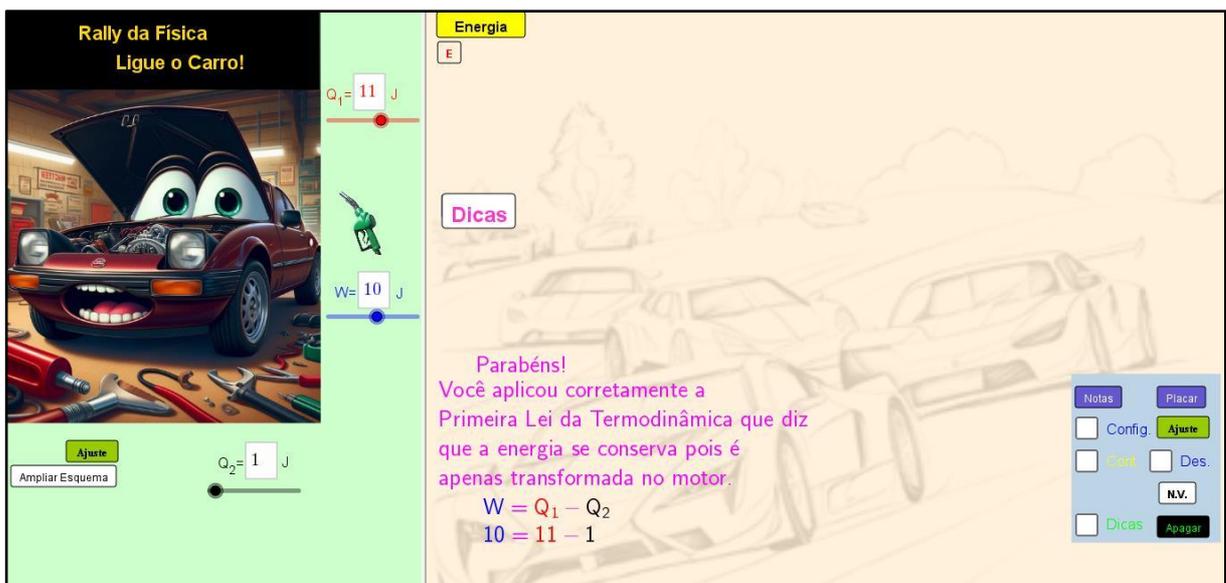
Q_1 (J)	W (J)	Q_2 (J)
9	10	1

A primeira equipe a jogar (“Acorda Pedrinho”), detentora do bônus, propôs um ajuste correto ao pedir para somar duas unidades em Q_1 . Perguntamos ao restante da turma se concordavam e seis estudantes disseram que sim. Perguntamos à equipe da vez o porquê de somar duas unidades e um dos estudantes respondeu:

“Por causa que a fórmula da 1ª lei da termodinâmica, diz que o trabalho é igual a energia inicial menos a energia final, então vai ser 11 menos 1 que dá 10, então ficou uma igualdade” (A1).

Aproveitamos este momento para reiterar o enunciado da 1ª lei da termodinâmica. Mostramos o *feedback* do APP (Figura 26), e, em seguida, ligamos o carro, mostramos o emoji, o cálculo da energia no APP, a dica que dá os parabéns pela resposta certa e também fornece o enunciado da 1ª lei da termodinâmica.

Figura 26: Captura de tela com *feedback* do APP



Fonte: acervo do autor

Um estudante (A2) levantou-se para observar os valores na tela de projeção dizendo que não estava conseguindo enxergar bem, o que nos alertou sobre o tamanho do texto no APP e nos motivou a fazer uma ampliação da fonte utilizada para as próximas aulas. Procuramos repetir os valores em “voz alta” até o final da aula na tentativa de minimizar o problema do tamanho da fonte.

Uma estudante perguntou: — “Isto é um jogo?”

Dissemos que sim, e destacamos que ela havia perdido a aula anterior em que tínhamos feito a apresentação do mesmo. Perguntamos se ela tinha entendido a 1ª lei e ela disse que sim.

Perguntamos à turma se tinham alguma dúvida sobre a 1ª lei da termodinâmica e disseram que não. A partir dessa resposta, compreendemos que os estudantes já haviam entendido a 1ª Lei e entramos na segunda fase do jogo que adiciona a grandeza rendimento, como será descrito a seguir.

O assunto abordado no jogo é acumulativo, portanto, a 1ª lei ainda continuaria sendo discutida nas próximas etapas. Como veremos na 2ª fase do jogo, os estudantes sentiram um pouco mais de dificuldade por terem que manipular simultaneamente as relações de energia e o rendimento.

Explicamos o conceito de rendimento e perguntamos à turma se sabiam como calcular o rendimento. Um dos estudantes respondeu verbalmente, fornecendo a seguinte expressão:

$$\eta = 1 - Q_1/Q_2$$

Dissemos que havia um pequeno equívoco na expressão e que a expressão correta era:

$$\eta = W / Q_1 .$$

E demonstramos que se trabalhada matematicamente, nos daria:

$$\eta = 1 - Q_2/Q_1 .$$

Dissemos que o estudante havia trocado as posições de Q_2 e Q_1 . Ainda antes de reiniciarmos o jogo, perguntamos se os estudantes sabiam o que significa um rendimento de 40% ou 0,4. Como não houve nenhuma manifestação, procuramos esclarecer o significado.

Neste momento observamos que a estudante (A4) manipulava o dado olhando as diferentes faces e relatou que o dado do jogo não tinha o valor 1. Esperamos para que encontrasse a face com o valor 1 e pedimos que ela observasse que o valor 6 foi substituído pelo zero, explicamos sobre a importância dos valores nulos das grandezas Q_1 , W e Q_2 , e que mais a frente discutiríamos esses valores.

Na sequência demos prosseguimento ao jogo, gerando valores aleatórios ao clicar no botão Novos Valores (NV), produzindo os seguintes resultados:

Q_1 (J)	W (J)	Q_2 (J)	η
3	8	3	1,3

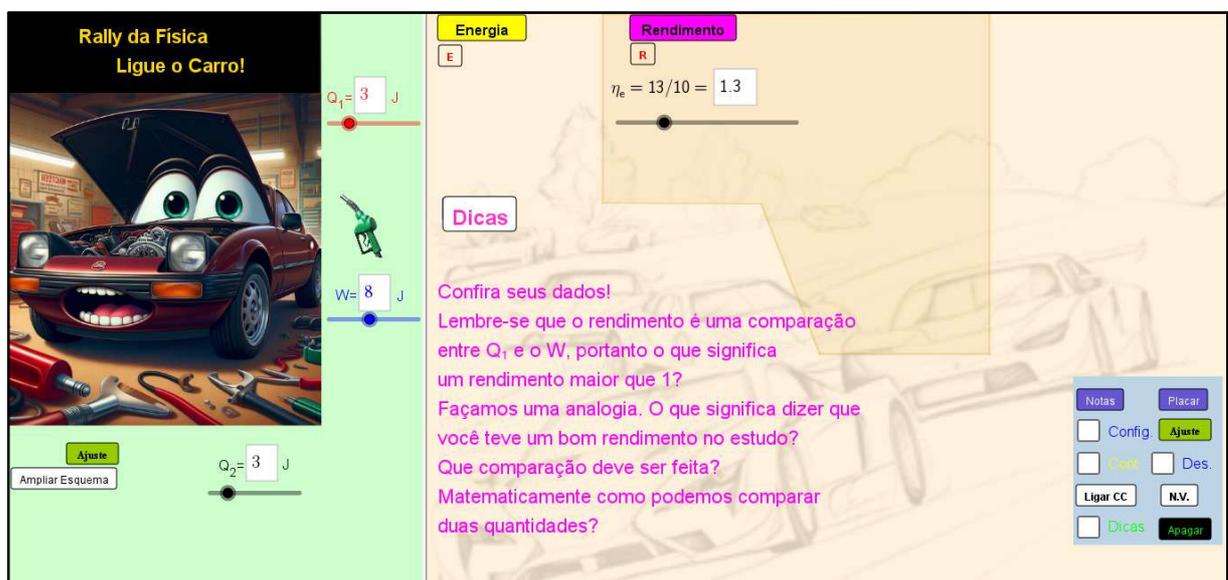
O APP também gera valores aleatórios para rendimento maior que 1. Acreditamos que esses valores podem prover um debate bastante frutífero. Mas, consideramos que poderíamos ter evitado esses valores neste primeiro contato dos estudantes com o conceito de rendimento.

Explicamos naquele momento o porquê de o rendimento não poder ser maior que 1, e que, portanto, os valores gerados eram incoerentes.

Nossa previsão inicial no produto era de informarmos aos estudantes sobre a necessidade do rendimento e propor que procurassem encontrar o valor que permitisse ligar o carro, mas tivemos que fazer algumas modificações para acelerar o processo e acabamos apresentando o assunto de forma expositiva, na contramão da proposta inicial.

Mostramos a dica do APP (e discutimos com os estudantes, antes de eles jogarem, sem que alguma equipe tivesse pedido. A Figura 27 mostra a dica gerada pelo APP.

Figura 27: Explicação do APP para incoerência do valor 1.3 para o rendimento



Fonte: acervo do autor

Dois alunos chegaram atrasados na aula e montaram uma nova equipe. Não atentamos ao fato de que, segundo relatos a posterior do professor regente da turma, tratava-se de estudantes novatos na escola e, por isso, não tinham assistido às aulas anteriores. Melhor seria se eles tivessem entrado em uma das equipes já constituídas.

A equipe “Acorda Pedrinho” achou melhor jogar apenas um dado para o rendimento e obteve o valor 1. Indicamos que eles deveriam dividir esse valor por 10, o que daria um rendimento de 0,1. Com isso, perderam a chance de tentar pontuar jogando desta forma. No entanto, raciocinaram corretamente sobre a quantidade de dados a serem jogados para o rendimento. Apesar de não terem verbalizado o valor esperado, ficou evidente que nossa fala sobre valores maiores que 1 para o rendimento influenciou na forma de escolherem a quantidade de dados a serem jogados.

A partir do valor obtido pela equipe “Acorda Pedrinho” ficamos com o seguinte conjunto de valores:

Q ₁ (J)	W (J)	Q ₂ (J)	η
3	8	3	0,1

Não fizemos comentários sobre a escolha inadequada da jogada pela equipe. Mantendo naquele momento a postura de professor juiz, procuramos deixar que os próprios estudantes tivessem a oportunidade de perceberem seus equívocos, procurando interceder apenas em situações muito repetitivas, seguindo as orientações da PBL.

A próxima equipe (“2110”) jogou três dados para o rendimento, obtendo o valor 6, que foi dividido por 10 e resultou 0,6. Outra jogada equivocada.

Q ₁ (J)	W (J)	Q ₂ (J)	η
3	8	3	0,6

Pelo fato de os estudantes não estarem percebendo o erro, tivemos que assumir a postura de professor tutor. Dissemos à equipe, após jogarem, que não adiantaria jogar dados para ajustar o rendimento se a relação de energia estiver errada. Esta deveria ser ajustada primeiro, caso contrário não conseguiriam pontuar jogando dados para o rendimento. Além disso, existia a probabilidade de um valor maior que um para o rendimento ao jogarem três dados.

O APP não foi desenvolvido para mostrar dicas de energia na segunda fase do jogo e sim de rendimento. Caso desejássemos mostrar dicas de energia na segunda fase do jogo deveríamos “fechar” o rendimento na janela de configuração. Assim, voltaríamos à primeira fase do jogo.

Perguntamos novamente à turma se tem como o rendimento ser maior que um e os possíveis resultados ao jogarem três dados. Observamos que não atentaram para os possíveis resultados: 10, 11, 12, 13, 14 e 15, que produziriam rendimentos acima de um.

Antes que os estudantes respondessem, o professor regente da turma se ofereceu para apresentar uma analogia para o rendimento, dizendo:

— “Se a prova valeu 10, eu não tenho como tirar 11, o valor máximo é 10.”

Após o debate a equipe “Alopradas” jogou os dois dados para Q₁ obtendo o valor 6. E assim os resultados ficaram da seguinte forma:

Q ₁ (J)	W (J)	Q ₂ (J)	η
6	8	3	0,6

Poderíamos ter comentado a jogada dizendo que se a equipe tivesse jogado três dados para Q_1 teria uma probabilidade para obter o valor 11. Nenhum dos estudantes percebeu o equívoco. No entanto, dissemos apenas que não estavam se atentando para a probabilidade e que também não estavam atentando para o conjunto de valores possíveis ao escolherem o número de dados a serem jogados. Mantivemos mais uma vez a postura de professor juiz. Procurando estimulá-los a pensarem sobre a situação, mantendo o problema para que pudessem ter a oportunidade de resolvê-lo.

O professor regente da turma pediu permissão para interceder repetindo o significado das grandezas Q_1 , W e Q_2 . Ele manteve a postura de professor juiz sem que tivéssemos combinado isso. Observamos que o professor regente da turma estava atento e preocupado com a situação.

A pequena equipe com os dois alunos novatos de São Paulo, pediu para passar a vez, não jogar, estavam sentindo dificuldade em acompanhar a aula. Só informaram essa dificuldade no momento de jogarem. Foi quando ficamos sabendo que se tratava de estudantes novatos na escola, segundo relato do professor. A situação era complicada pois perderam toda explicação sobre a 1ª lei e sobre o rendimento. Permitimos então que não jogassem naquela rodada. O professor da turma disse que depois faria um resumo com eles.

Dando continuidade ao jogo, a equipe “Tropa do Omar” optou também por jogar dois dados para Q_1 . Foi quando percebemos a necessidade de interceder de uma forma mais incisiva. Perguntamos qual seria o valor desejado por eles. Disseram acertadamente o 11. Perguntamos qual o maior valor de soma que poderia ocorrer com dois dados e pedimos que olhassem os dados mais atentamente. Foi então que entenderam a modificação que fizemos na numeração dos dados, que não era a numeração tradicional de 1 a 6 e sim de zero a 5. Com isso a equipe optou por jogar três dados para Q_1 . Ainda não haviam percebido que a melhor alternativa seria jogar um dado para o valor do trabalho, porque neste caso a probabilidade de ocorrência do valor 3 seria maior. No entanto, não intercedemos sobre isso.

Posteriormente percebemos que fizemos a intervenção de forma errada, antes que a equipe jogasse. As outras equipes não reclamaram, mas nossa atitude determinou a maneira de jogarem e, com isso, nos afastamos da difícil posição do professor juiz, que deveria tentar buscar a neutralidade.

A equipe jogou os três dados e obteve o valor 15. Assim, os resultados ficaram da seguinte forma:

Q_1 (J)	W (J)	Q_2 (J)	η
15	8	3	0,6

Perguntamos à equipe se queriam tentar ligar o carro com esses valores. A estudante (A4) disse que não ligaria porque “*não está dando resultado igual*”. Não falou nada sobre o rendimento. Mesmo assim, após a equipe jogar, mostramos o *feedback*, os emojis e os cálculos (Figura 28), indicando que eles estavam corretos em não tentar ligar o carro.

Figura 28: Imagem da tela do aplicativo para os valores indicados no quadro anterior

The screenshot shows a physics application interface. On the left, there's a car illustration with the text "Rally da Física Ligue o Carro!". Below it are input fields for $Q_1 = 15$ J, $W = 8$ J, and $Q_2 = 3$ J. A "Dicas" (Hints) button is visible. The main panel shows a sad face emoji and the following text:

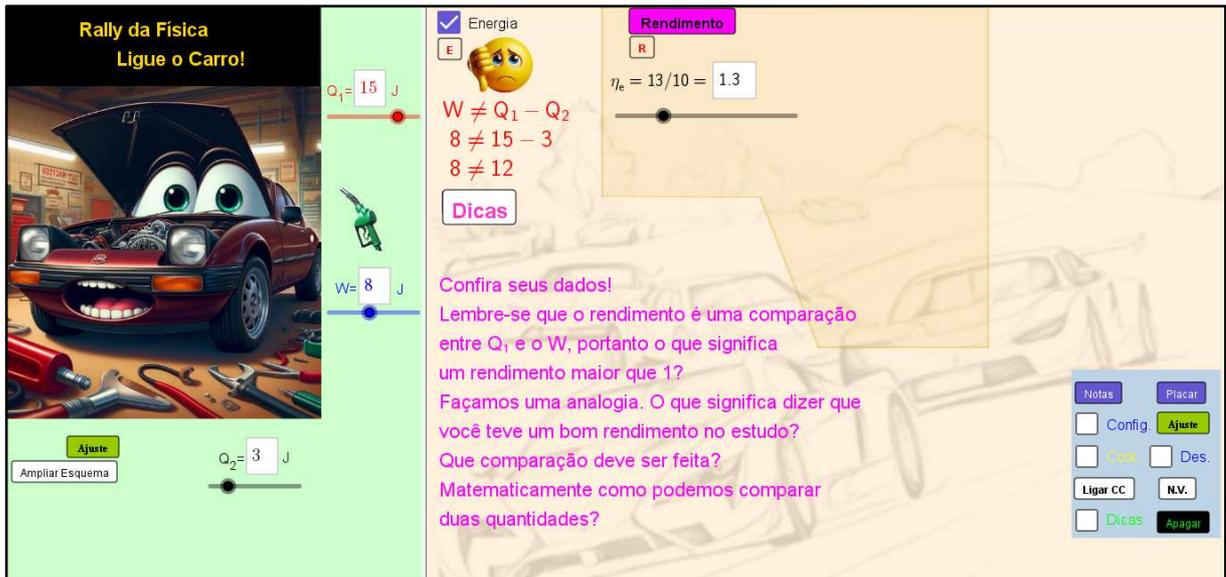
Energia
 Rendimento
 $W \neq Q_1 - Q_2$
 $8 \neq 15 - 3$
 $8 \neq 12$
 $\eta_e = 13/10 = 1.3$
 $\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{8}{15} = 0.53$
 $\eta = 0.53 \neq \eta_e = 1.3$
 $\eta_e > 1$
 Incoerência

At the bottom right, there are buttons for "Notas", "Placar", "Config.", "Ajuste", "Ligar CC", "N.V.", "Dicas", and "Apagar".

Fonte: acervo do autor

Observamos que os estudantes não estavam pedindo para visualizar as dicas. Já tínhamos observado nas pré-aplicações que quando os estudantes entendem os valores que devem ser procurados ou que acham que entenderam, não sentem a necessidade das Dicas. Porém, entendemos que parecia não ser o caso da turma. Mostramos a dica (Figura 29) como forma de estimular os estudantes a solicitarem elas.

Figura 29: Dica do aplicativo para a situação de rendimento de 1.3



Fonte: acervo do autor

Continuávamos insistindo em usar o APP. O professor da turma disse que:

— Poderia dar um papelzinho para os meninos escreverem porque talvez ficasse mais fácil analisar as justificativas por escrito do que gravadas em áudio.

Essa atitude mostra que o professor continuava interessado e participativo. Concordei com a sugestão, e ele foi pegar papel para que os estudantes pudessem escrever. Observamos também que já estava quase no final da aula.

Quatro dos seis participantes da equipe “As 3 Mosqueteiras” faltaram nesta aula, com isso os outros dois estudantes participaram do jogo distribuídos em outras equipes. Como já dissemos, gostaríamos de ter mantido os mesmos estudantes em cada equipe, o que não foi possível devido a irregularidade na frequência.

Iniciamos a etapa seguinte do jogo na qual ocorre ajustes das grandezas sem jogar os dados. A equipe “Acorda Pedrinho” optou por subtrair um décimo no rendimento e ficamos com os seguintes valores:

Q_1 (J)	W (J)	Q_2 (J)	η
15	8	3	0,5

A equipe não disse mais nada após a jogada. Tínhamos avisado, ao explicar as regras, que as equipes deveriam se posicionar pedindo para ligar ou não o carro, avisar sobre os valores ajustados, inclusive na regra existe o “grito de incoerência”, permitindo a participação de uma outra equipe na jogada ao perceberem um ajuste incoerente. A própria equipe deveria ter avisado que os valores foram ajustados, assumindo uma postura ativa.

Após jogarem alertamos que poderiam conseguir ajustar os valores para pontuar no jogo, e não falamos mais nada que pudesse favorecer a equipe.

Ficamos calmamente esperando para ver se perceberiam o equívoco. Observamos o comportamento da equipe e depois perguntamos, qual era a próxima equipe a jogar. Passamos a vez e continuaram em silêncio.

Tentávamos manter a postura de professor juiz, mas os estudantes continuavam esperando um posicionamento do professor. Que disséssemos se estava certo ou errado, como é recorrente nas aulas tradicionais. Este posicionamento dos estudantes incomodava, mas agora entendemos como natural. As outras equipes também mantiveram uma postura apática. Nenhuma das equipes fez uso da regra da “incoerência”.

Avisamos antecipadamente sobre o necessário protagonismo nas situações do jogo. Anotamos a situação para ser discutida no jogo dialogado futuramente. Na época não sabíamos das alterações que seriam produzidas na aplicação do produto devido ao fato de o pesquisador ter contraído a Covid-19.

O professor regente voltou à sala e distribuiu papel para que as equipes pudessem justificar suas escolhas por escrito. Ficamos alguns minutos esperando para que os estudantes pudessem entender como jogar. Observamos que eles estavam motivados tentando perceber a relação que destacamos.

Um aluno disse que “poderia colocar tempo”, já que a equipe da vez estava demorando muito para jogar. Concordamos que realmente deveríamos estar marcando o tempo. Passamos a vez para a equipe “2110”.

A equipe da vez (“2110”), disse para somar uma unidade em Q_1 , ficando com:

Q_1 (J)	W (J)	Q_2 (J)	η
16	8	3	0,5

Pontuaram corretamente na relação de rendimento, mas não pediram para ligar o carro. Disseram que a relação de energia não estava correta. Sabiam que poderiam jogar novamente pelo fato de terem acertado, e pediram 7 para o trabalho. Não foi uma boa jogada já que a equipe da vez poderia ajustar o rendimento novamente.

Q_1 (J)	W (J)	Q_2 (J)	η
16	7	3	0,5

A equipe seguinte (Alopradas), no entanto, não soube tirar total proveito do contexto do jogo. Não atentaram para a relação de energia, que também deveria estar ajustada, porque pediram para colocar 8 no trabalho e ligar o veículo.

Q_1 (J)	W (J)	Q_2 (J)	η
16	8	3	0,5

Atendemos ao pedido e depois explicamos que não conseguiram ligar porque apesar de o rendimento estar correto os valores de energia não estavam ajustados.

Utilizamos o APP para mostrar os cálculos (Figura 30) e clicamos na tentativa de ligar o carro para que observassem o efeito sonoro.

Figura 30: Cálculo do rendimento mostrado no APP

The screenshot shows the 'Rally da Física' app interface. On the left, a car character is shown with the text 'Rally da Física Ligue o Carro!'. Below the car, there are sliders for energy values: $Q_1 = 16$ J, $W = 8$ J, and $Q_2 = 3$ J. A 'Dicas' (Hints) button is visible. The main panel displays the energy calculation: $W \neq Q_1 - Q_2$, $8 \neq 16 - 3$, $8 \neq 13$. The efficiency calculation is shown as $\eta_e = \frac{1}{2} = 0.5$. The app also shows the formula $\eta = \frac{W}{Q_1}$ and the result $\eta = \frac{8}{16} = 0.5$. The efficiency is compared to the theoretical range $0 < \eta_e \leq 1$ and $0 < 0.5 \leq 1$, with the result 'OK'. The interface includes buttons for 'Notas', 'Placar', 'Config', 'Ajuste', 'Cart', 'Des', 'Ligar CC', 'N.V.', 'Dicas', and 'Apagar'.

Fonte: acervo do autor

Explicamos que seriam penalizados no valor de Q_2 , de acordo com a regra do jogo. Várias alterações foram sendo produzidas nas regras no intuito de simplificar o jogo, outras ocorreram por nossa distração. A partir de então poderíamos apresentar uma nova situação de desafio, mas não o fizemos.

A falta de conhecimento dos estudantes sobre as regras, nos levou a fazer alguns ajustes no jogo que só conseguimos visualizar durante a análise da aplicação. Por exemplo, os estudantes poderiam ter reclamado da oportunidade de adquirirem o bônus Engenheiro Mecânico ou até mesmo de ajustar o valor da equipe que errou ao tentar ligar o carro, fazendo uso da regra da incoerência, mas não o fizeram.

Como já estávamos no final da aula e com o tempo de aplicação escasso, optamos por apresentar Carnot, pois teríamos tempo apenas para mais algumas poucas rodadas.

Optamos por conhecer previamente os valores esperados pelas equipes ao jogarem os dados, mesmo com as restrições da postura de professor juiz. Para tanto, pedimos que as equipes informassem o valor esperado e uma justificativa. A equipe “Acorda Pedrinho”, que estava mais próxima de nós, informou o resultado esperado e a justificativa em “voz baixa”, algumas equipes apenas mostraram a anotação no caderno. Só mais tarde percebemos que teria sido melhor se tivessem nos enviado as anotações pelo WhatsApp.

Iniciamos um novo jogo clicando novamente no botão NV e obtivemos a seguinte configuração:

Q_1 (J)	W (J)	Q_2 (J)	η
3	14	13	0,8

A equipe “Acorda Pedrinho” escolheu jogar 3 dados para Q_1 , o valor ocorrido foi 6. Mas, como eles detinham o bônus Engenheiro Mecânico, resolveram somar 1 unidade. Também informaram este valor oralmente, em voz baixa, como havíamos combinado, mas não justificaram. Assim, a configuração do jogo ficou da seguinte forma:

Q_1 (J)	W (J)	Q_2 (J)	η
7	14	13	0,8

Perguntamos por que fizeram esta escolha para que todos pudessem participar. Disseram que perceberam que não havia forma de pontuar com os dados indicados e que não ajudariam as outras equipes a pontuarem. Observamos que começaram a surgir estratégias de jogo e o fato de terem explicado a jogada talvez tenha alertado as demais equipes.

A equipe “2110” informou que jogariam 3 dados para Q_2 , e disseram que não teriam como pontuar. Fizeram alguns comentários antes mesmo de jogarem os dados, dizendo que jogando 3 dados para Q_2 teria a chance de ocorrer um número grande. Reforçamos o argumento dizendo que os valores não poderiam satisfazer a 1ª lei, já que tanto o trabalho quanto Q_2 estavam bem maiores que Q_1 , e que o valor máximo para Q_1 poderia ser 15. Mas, não deram sorte com os dados, como veremos mais adiante.

Somente deste momento em diante poderíamos avaliar o conhecimento sobre o jogo, com as informações dos estudantes sobre as jogadas. Começamos a observar uma discrepância no domínio das estratégias do jogo entre as equipes, o que nos alertou posteriormente para trabalhar com o jogo dialogado modificado. As equipes “Acorda Pedrinho” e “2110” já

mostravam algum domínio do conteúdo de física e já haviam adquirido consciência das estratégias de jogo. As demais ainda pareciam não ter uma compreensão adequada do jogo. De maneira geral, a discrepância entre as equipes era grande neste momento do jogo.

A equipe 2110 jogou 3 dados para Q_2 e obteve o resultado 2. Assim, nosso quadro ficou com a seguinte configuração:

Q_1 (J)	W (J)	Q_2 (J)	η
7	14	2	0,8

Observamos que essa equipe havia escolhido adequadamente o número de dados a serem rolados, dentro de sua estratégia. A essa altura do jogo já havíamos decidido encerrar a aula, deixando a discussão sobre probabilidade para a aula seguinte, quando também mostraríamos o conjunto de valores possíveis ao jogar um ou mais dados.

A próxima equipe a jogar (Alopradas) falou em voz alta que queria o número “5, porque $5+2=7$ ”. Não perguntamos para qual grandeza estavam indicando o valor 5. O que só foi percebido posteriormente na análise da aplicação.

Antes da equipe jogar perguntamos quantos dados eles gostariam de jogar para obter o valor 5, e eles disseram:

— Dois dados professor!

Perguntamos novamente, quantos dados? E um estudante da equipe (A5) disse:

— Não podemos jogar três, aí vai ficar grande.

Não insistimos na pergunta. Como já dissemos anteriormente, já estava decidido que iríamos trabalhar a questão da probabilidade na próxima aula. Ao jogarem os dados, a equipe “Alopradas” obteve o valor 3 e o quadro ficou com a seguinte configuração:

Q_1 (J)	W (J)	Q_2 (J)	η
7	3	2	0,8

A equipe “Tropa do Omar” colocou num pequeno papel sobre nossa mesa com a seguinte anotação: “5 no trabalho, porque cinco mais dois da 7” e rolaram 3 dados. Ocorreu o valor 11, e ficamos com:

Q_1 (J)	W (J)	Q_2 (J)	η
7	11	2	0,8

Perguntamos se era para ligar o carro ou não ligar? O estudante (A6) da equipe Tropa do Omar respondeu:

— “Não! Era pra dar 5”.

Novamente houve um equívoco no número de dados lançados. Dissemos, mesmo sem explicar, que deveriam ter jogado um único dado e pedimos à próxima equipe para jogar.

Retornou a vez da equipe “Acorda Pedrinho”, que falou em alto e bom tom:

— “5, um dado”

Naquele momento, não havia mais necessidade de resguardar o valor esperado e nem de mostrar o *feedback* no APP, ficamos com:

Q_1 (J)	W (J)	Q_2 (J)	η
7	5	2	0,8

A equipe pontuou e, como poderiam jogar novamente, fizeram uso do bônus de Engenheiro Mecânico pedindo para reduzir o valor do rendimento, já que tinham a possibilidade de atribuir uma variação máxima de um décimo desse valor. Comentaram sobre a diferença e se poderiam arredondar. Assumiram uma postura ativa sobre os valores desejados. Pediram para ligar o carro, apesar da pequena diferença entre os valores.

Mostramos as dicas, emojis, *feedbacks* e ligamos o carro (Figura 31). A figura 31 a seguir mostra a tela do jogo no momento indicado. Entramos com o valor de rendimento APP no formato fracionário.

Figura 31: Tela do aplicativo com os dados sugeridos pela equipe Acorda Pedrinho

Fonte: acervo do autor

Observe que a “dica” alerta para o grande valor do rendimento. Aproveitamos este momento para discutir que nos carros modernos os valores de rendimento estavam em torno de 40%, mas não nos referimos explicitamente ao rendimento do ciclo de Carnot, por enquanto. Assim, fechamos o jogo com o seguinte conjunto de valores:

Q_1 (J)	W (J)	Q_2 (J)	η
7	5	2	5/7

Já havíamos observado em pré-aplicações que a partir do momento em que os estudantes já compreendem as relações entre as grandezas não existe mais a necessidade de visualização das dicas pelas equipes. No entanto, entendemos que estas devem ser usadas como estímulos adicionais conforme mostrado no caso anterior.

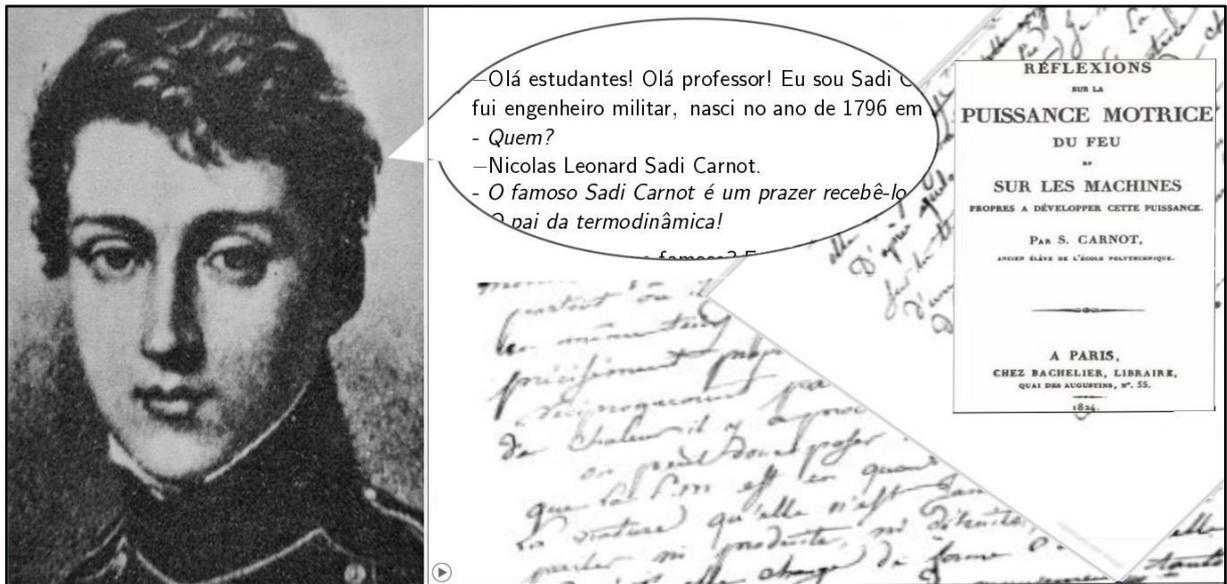
Ajustamos a apresentação de Carnot no *applet* para o final desta aula e assim ocorreu. Pelo andamento do jogo observamos que a apresentação de Carnot poderia ter ocorrido antes, mas precisávamos fornecer à equipe sorteada um tempo de preparação entre as aulas.

Estabelecemos um diálogo com Carnot, conforme havíamos previsto na concepção do jogo, e avisamos à turma sorteada que eles deveriam fazer, como tarefa, uma breve apresentação sobre Carnot na próxima aula. Esta ação possibilitaria a aquisição do “bônus Carnot”. Lembremos que na primeira fala, Carnot pede à equipe sorteada que explique por que ele é famoso. As demais falas podem ser visualizadas no próprio aplicativo.

Não havíamos avisado aos estudantes sobre o surgimento de Carnot, o que ocorreria, e como seria. Os olhares dos estudantes foram de surpresa, susto, e ficaram sem entender o que estava acontecendo.

Explicamos que este aparecimento de Carnot (Figura 32) funciona como um sorteio para a equipe da vez, permitindo que sejam premiados com o bônus Carnot, caso apresentassem na próxima aula um resumo de quem foi Carnot e a expressão do rendimento estabelecido por ele. Aproveitando o espanto da turma, brincamos dizendo que “Carnot se levantou do túmulo”.

Figura 32: Aparecimento de Carnot no APP



Fonte: acervo do autor

A seguir apresentamos, na íntegra, o texto da conversa com Carnot, isso porque no APP o texto movimenta-se de baixo para cima, sem permitir a visualização completa na captura de tela. Marcamos em *itálico* a nossa fala de interação com Carnot em tempo real na sala com a presença estudantes.

— Olá estudantes! Olá, professor! Eu sou Sadi Carnot. Fui engenheiro militar, nasci no ano de 1796 em Paris.

— *Quem?*

— Nicolas Leonard Sadi Carnot.

— *O famoso Sadi Carnot, o pai da termodinâmica! É um prazer recebê-lo aqui.*

— Famoso? Por que famoso? Eu escrevi um único livro e a maioria dos meus artigos foram queimados após a minha morte, o que era costume na época porque eu morri de cólera.

— Por que eu sou famoso hoje? Gostaria que os estudantes me explicassem.

Encerramos a atividade dizendo que continuaríamos na próxima aula com o jogo.

A equipe Acorda Pedrinho estava muito à frente no placar, por isso resolvemos nos referir apenas à pontuação e não nos preocupamos mais com o placar geral. Lembramos que eles deveriam pesquisar sobre as diferentes probabilidades ao rolares os dados, e que também poderiam conversar com o professor de matemática.

Dissemos ainda que em um rally de conhecimento vence a equipe detentora do saber. Tudo isso no intuito de motivá-los a estudar sobre o assunto fora do horário de aula.

5.2.6 Probabilidade e início do jogo dialogado modificado – (aulas 7 e 8)

As aulas 7 e 8 ocorreram no dia 14 de junho de 2022. Todas as aulas da aplicação do produto foram ministradas no anfiteatro da escola. O procedimento foi sempre o mesmo, o professor regente da turma recebia os estudantes em sala de aula e os conduziam até o anfiteatro.

Como já observado, apesar das mudanças nas regras e das insistentes orientações, as equipes não estavam requisitando as dicas. Por isso resolvemos configurar o APP para mostrar as dicas automaticamente, ou seja, ficariam sempre visíveis. Em outros momentos passamos a mostrar ou não de acordo com a necessidade. Isso já havia ocorrido na aula anterior.

Também fizemos uma ampliação das fontes utilizadas no APP para facilitar a visualização pelos estudantes e perguntamos se agora estavam enxergando bem. Disseram que sim.

Iniciamos a aula fazendo um resumo do conteúdo já trabalhado com os estudantes. Explicamos o diagrama da máquina térmica presente no APP, o que poderíamos ter feito na aula anterior. Segundo nossas previsões iniciais, gostaríamos de ter proposto que os estudantes construíssem os próprios diagramas, trabalhando em equipe. Como descrito no produto, cada equipe apresentaria sua proposta para os colegas, faríamos depois um debate com toda turma, para só então apresentar o diagrama cientificamente aceito. Novamente, devido à escassez de tempo para a aplicação do produto, tivemos que fazer uma simplificação nesta etapa, apresentando e explicando o diagrama numa proposta expositiva.

Repetimos as regras básicas do jogo, principalmente por causa da baixa frequência dos estudantes, o que dificultou o andamento das atividades.

Pedimos à equipe que foi sorteada no final na aula anterior com a entrada de Carnot, para se dirigir à frente e apresentar a pesquisa sobre quem foi Carnot e qual foi a sua contribuição à termodinâmica. A viagem no tempo com Carnot iniciou-se nesta aula e não se encerraria apenas com a apresentação dos estudantes, sendo continuada com o conjunto das aparições de Carnot e do complemento das aulas de história, como veremos mais adiante.

Nos contatos iniciais no colégio conversamos com a professora de história da turma e explicamos sobre a importância da contextualização do momento histórico que viveu Carnot, da revolução industrial e sobre a vida de Carnot em nosso trabalho. Ela perguntou como este assunto seria trabalhado no jogo e pediu que enviássemos as falas de Carnot. Perguntamos se os estudantes já tinham estudado a revolução industrial. A professora disse que sim e que poderia discutir um pouco mais com eles. Pedimos que falasse sobre o contexto social e político do momento histórico que viveu Carnot e sobre a importância das máquinas a vapor na

revolução industrial. Nosso intuito era de que os estudantes pudessem ter um suporte a mais na pesquisa sobre Carnot, seguindo a linha do nosso trabalho dentro da PBL.

Esta etapa do jogo buscou estimular a pesquisa, o contato com os professores de outras áreas (história) e o trabalho em equipe dos alunos com os professores. Portanto, o surgimento de Carnot no final da aula anterior foi intencional para que os alunos pudessem entrar em contato com a professora de história, caso precisassem, e tivessem tempo para a pesquisa.

Após a apresentação da equipe “Acorda Pedrinho” sobre Carnot, procuramos reforçar alguns pontos importantes do conteúdo, principalmente sobre o cálculo do rendimento máximo, o significado de cada grandeza e a importância do trabalho de Carnot.

Perguntamos aos alunos se tinham conversado sobre Carnot com a professora de história, e eles disseram que a professora deu uma aula e passou um material na internet sobre Carnot.

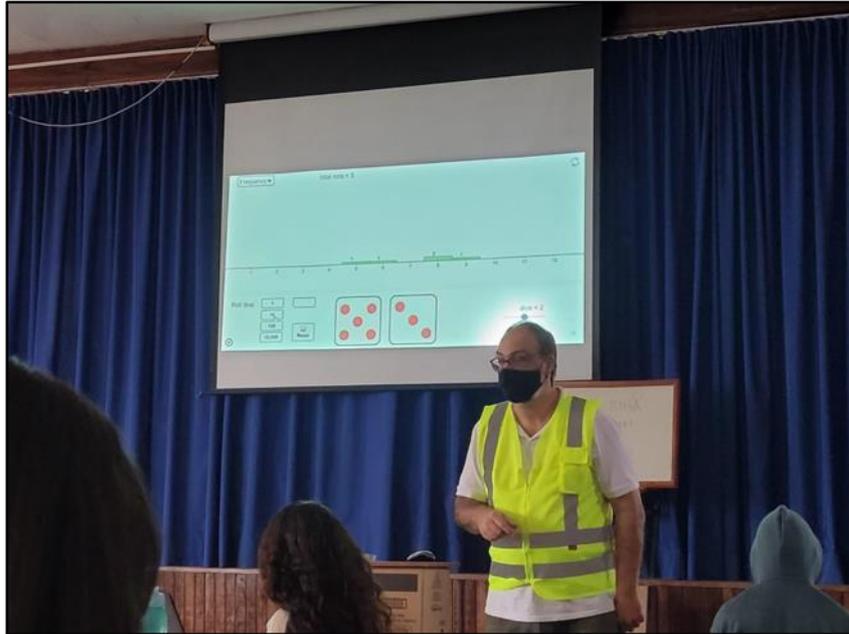
Após a apresentação a equipe foi agraciada com o bônus Carnot que permitiria manipular as grandezas relacionadas ao rendimento máximo da máquina, como descrito nas regras do jogo (ver Apêndice B desta dissertação).

Ficamos satisfeitos com o resultado da apresentação dos estudantes e com as orientações que a professora de história deu. Os estudantes estavam bastante seguros em relação ao conteúdo da apresentação. Portanto, consideramos que valeu a pena o esforço de entrar em contato com a professora de história. Infelizmente não foi possível desenvolver uma proposta mais interdisciplinar do trabalho, como gostaríamos. Entendemos que por ser final de período, outros professores, com os quais fizemos contato, não tiveram o tempo necessário para uma compreensão coerente do trabalho. Também é importante destacar que para uma abordagem interdisciplinar efetiva seria importante que os professores participassem do planejamento da aplicação, o que não foi possível devido à limitação de tempo.

Após a apresentação, antes de iniciarmos o jogo, optamos por discutir com os estudantes sobre o conjunto dos possíveis resultados da soma de valores ao rolarem os dados e as probabilidades destes resultados. Como descrito na aula anterior, algumas equipes não estavam sabendo definir apropriadamente o número de dados a serem jogados. Fizemos uma abordagem simplificada desse assunto, que será descrita mais à frente.

Os alunos estranharam o fato de estarmos vestindo um colete muito parecido com o de um policial de trânsito (Figura 33) e perguntaram o porquê.

Figura 33: Nossa caracterização como Policial



Fonte: acervo do autor

Para maior dramatização, elaboramos um kit com boné, colete e apito (Figura 34) para caracterizar o personagem da Polícia da Escola. Desconversamos e não explicamos o motivo para manter a situação de surpresa. O boné de “policial militar da escola” e o apito estavam de fácil acesso numa mesa ao nosso lado e escondido dos olhares curiosos dos estudantes. Na fotografia, é possível observar o tamanho dos dados, bem como as tampinhas de refrigerante utilizadas como representação dos bônus.

Figura 34: Kit do personagem “Polícia da Escola”



Fonte: acervo do autor

Fizemos uso do colete durante toda aula (Figura 35) para não termos que vesti-lo somente no momento de aplicar a multa.

Figura 35: Pesquisador caracterizado durante a aplicação do jogo



Fonte: acervo do autor

Configuramos o APP para que quando ligássemos o carro a probabilidade da animação do veículo gerando muita poluição fosse de 100%. Com isso ocorreria a aparição do personagem “Policial da Escola” para aplicação da multa. Na programação original já havia a probabilidade de ocorrer a multa, mas fizemos esta alteração para que pudéssemos ter total controle de quando ocorreria

Iniciei o assunto de probabilidade perguntando qual o resultado mais provável ao jogar um único dado: 0 ou 2? Utilizamos os dados do jogo nas demonstrações. O aluno A1 respondeu que “a probabilidade de ocorrer o número 0 é de 50% e de ocorrer o 2 também é de 50%”. Entendemos que ele gostaria de dizer que as probabilidades são as mesmas para os dois valores, mas não foi feliz na linguagem e nos valores percentuais.

Perguntamos se fosse uma moeda com o 0 de um lado e o 2 do outro, as probabilidades seriam as mesmas? Um outro estudante (A2) respondeu: “Ai sim, seria 50%”.

Formulamos novamente a pergunta inicial direcionada ao aluno (A1) que tinha respondido 50%. Qual o resultado mais provável ao jogarmos um único dado: 0 ou 2?

O mesmo aluno (A1) respondeu que eram iguais, mas que não era 50% e disse não saber quanto, comprovando nossa ideia de que ele poderia ter usado os 50% para se referir a igualdade de possibilidades.

Um outro estudante (A3) respondeu: “Não! Por causa dos outros números”. E aí o estudante A2 relatou ser de $1/6$. Dissemos que ele estava correto e que mostraríamos como chegar a esse resultado.

Demos a definição de probabilidade e explicamos como calcular a probabilidade do 0 e do 2, mostrando que são realmente iguais, mas o valor de cada uma é de $\frac{1}{6}$ e não $\frac{1}{2}$ ou 50% como havia sugerido A1. Dissemos também que a probabilidade é a mesma para todos os números. Na sequência, perguntamos:

— E se jogarmos dois dados, qual dos resultados da soma dos valores obtidos nos dois dados tem maior probabilidade de ocorrer: 0 ou 2?

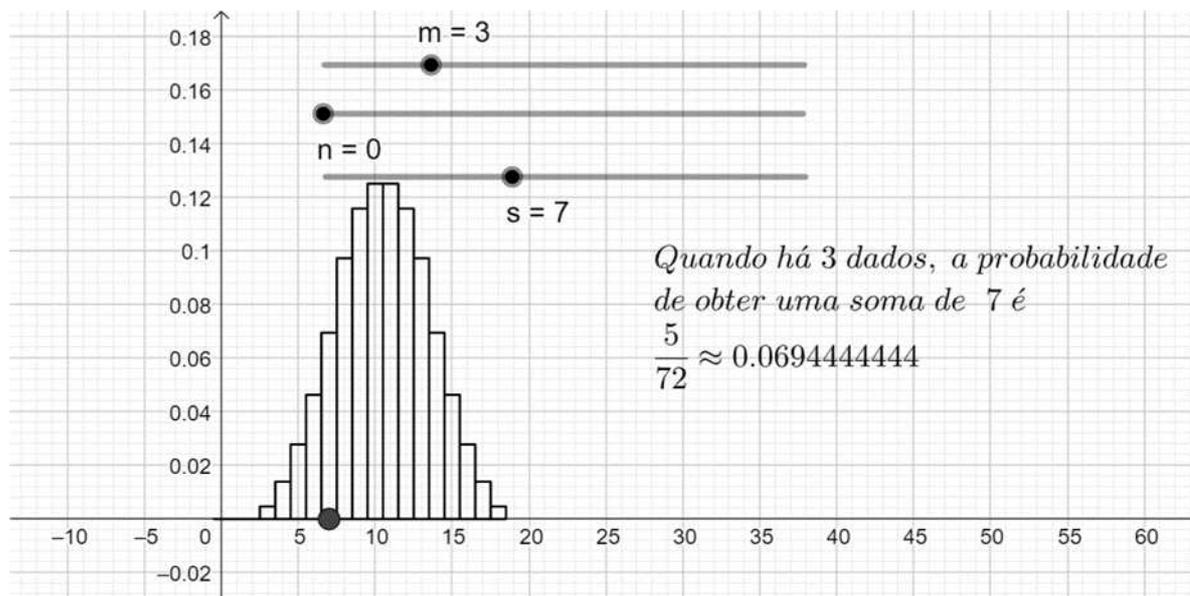
Um outro estudante (A4) respondeu que a soma de maior probabilidade seria o 2, explicou de forma clara e objetiva, citando inclusive as possíveis combinações que produziram a soma com o resultado dois. Disse que o zero tem a menor probabilidade “já que só se ocorresse zero e zero nos dois dados”.

O estudante ofereceu uma resposta já bem elaborada, com uma linguagem simples e estruturada. Não sabemos dizer se esta elaboração surgiu em sala de aula, nos debates em grupo, na motivação das questões do jogo, ou dos nossos questionamentos. De qualquer forma, a resposta desse estudante nos surpreendeu.

Reforçamos para a turma o que o estudante A4 havia dito sobre as probabilidades não serem iguais, usando um aplicativo do GeoGebra, disponível na rede (Figura 36), para mostrar as probabilidades das diferentes somas, com um, com dois e com três dados. Lembramos aos estudantes que os dados deste aplicativo não tinham o número zero, mas que iríamos entregar uma tabela de probabilidade incluindo o zero.

Na figura 36 do *applet* o número de dados é m , o número de lançamentos é n e s é a soma dos dados. Os contornos pretos representam a distribuição de probabilidade.

Figura 36: Imagem do aplicativo utilizado para explicar as probabilidades aos estudantes



Fonte: Print da tela do aplicativo disponível em: <https://www.geogebra.org/m/pbracar>

Na sequência projetamos na tela um quadro com o conjunto de valores possíveis para o lançamento de dois dados e entregamos aos estudantes todo o material relativo ao assunto, incluindo uma folha de resumo do conteúdo de física visto até aquele momento (Apêndice B do manual do produto educacional)

Fornecemos aos estudantes três tabelas com os resultados das probabilidades do lançamento de 1, de 2 e de 3 dados para que pudessem consultar (Apêndice C do produto educacional). Mostramos como utilizar as tabelas e procuramos não fazer uso de conhecimentos avançados de análise combinatória e de probabilidade, porque não eram objetivos deste trabalho. Fizemos mais algumas perguntas sobre probabilidades e frequências de ocorrência de alguns valores para que entendessem como consultar as tabelas.

Foi previsto na elaboração do produto fazer uso do jogo dialogado ao final da atividade. No entanto, perante as dificuldades apresentadas pelos estudantes, fizemos algumas modificações no jogo dialogado, criando o jogo dialogado modificado (JDM), como

descreveremos a seguir. Gostaríamos de sugerir que o JDM fosse utilizado mais vezes, o que poderia ocorrer entre cada fase do jogo dinâmico.

Apresentamos situações no APP que todas as equipes deveriam resolver ao mesmo tempo. Demos um tempo de aproximadamente 15 min para que respondessem. Explicamos que não jogariam os dados, mas que deveriam fazer uma previsão do valor esperado e justificar a escolha por escrito na folha. Explicamos que essa etapa não contaria pontos para o jogo.

Desta forma poderíamos discutir com todos os estudantes a mesma situação, comentar as respostas de cada equipe assumido a postura de professor tutor e exercitar a consulta à tabela de probabilidade, ao fazer previsões no contexto do jogo, e avaliar o conhecimento adquirido de física até o momento. A esta forma diferente de jogar demos o nome de jogo dialogado modificado (JDM).

Consideramos o JDM como uma maneira alternativa de jogar, que ganha em potencial didático pelo fato de possibilitar a discussão mantendo a imparcialidade do professor. Também é possível apresentar configurações previamente escolhidas pelo professor e não apenas aleatórias, como ocorre no jogo dinâmico. O JDM permite ainda recapitular situações do jogo dinâmico que o professor, por algum motivo, não tenha discutido com os estudantes. No entanto, perde em dinâmica de interação entre as equipes, pois a maneira de jogar de uma das equipes não afeta as outras. Entregamos as situações impressas aos estudantes. A Figura 37 mostra a folha preenchida pela equipe Aloprados

Figura 37: Folha do JDM preenchida pela equipe Aloprados

Avaliação e Jogo Dialogado

Nome da equipe: Aloprados

No lado esquerdo da tabela estão os valores do aplicativo e a direita devem ser colocados os valores desejados ao jogar.
Para manter o padrão com o aplicativo (língua inglesa) utilizaremos ponto em vez de vírgula.
A equipe pontuará ao avisar sobre uma relação previamente correta.
Podendo até mesmo pedir para ligar o carro (por escrito) sem jogar os dados.
Vocês não possuem bônus.

Nome da equipe: Aloprados

1) Liga ou não liga o carro? Não liga

Situação: Quantos dados jogar e para que grandeza? Lembre-se de pedir uma dica no APP, sem ônus.

Situação				1º Resultado Esperado				2º Resultado Esperado			
$q_1 =$	8J	$\eta_e =$	5/8	$q_1 =$	8J	$\eta_e =$	5/8	$q_1 =$	8J	$\eta_e =$	5/8
$\delta =$	0J			$\delta =$	5J			$\delta =$	5J		
$q_2 =$	8J			$q_2 =$	8J			$q_2 =$	3J		

Justifique sua resposta.

1º Resultado Esperado:

1 dado para 5 porque tem a maior probabilidade.

2º Resultado Esperado:

1 dado para 3 porque tem a probabilidade maior.

Fonte: acervo do autor

Observamos que a equipe entendeu como preencher a tabela e justificou de forma correta a questão da probabilidade, mas não justificou, em termos do conteúdo de física, a escolha dos valores por escrito, utilizando a 1ª lei da termodinâmica e a expressão do rendimento.

Questionamos a equipe com relação ao 1º resultado esperado, dizendo: Por que vocês escolheram 5 para o trabalho?

— “Aí a gente acerta o rendimento”

— Continuamos. Por que escolheram o valor 3 para a segunda jogada com apenas um dado para Q2?

— *“Porque 3 mais 5 igual a 8 pela 1ª lei”*

— Mas, por que um dado apenas?

— *“A maior probabilidade para o 3 e com um dado”*

Perguntamos por que não escreveram a justificativa?

— *“Pois é, faltou né. Mas tá certo!”*

Observamos pelo texto e pelas respostas orais que a equipe havia entendido a proposta do JDM, a 1ª lei da termodinâmica e o rendimento, apesar de a resposta escrita estar incompleta.

E finalmente perguntamos à equipe: — Liga ou não liga? Disseram que sim.

Aproveitamos esta situação para entrarmos com o personagem Policial de Trânsito consciente. Perguntamos novamente: — Liga ou não liga? No intuito de fazer com que os estudantes prestassem mais atenção na projeção e não no nosso movimento em direção ao boné e ao apito. Clicamos no botão para ligar o carro e aproveitamos o tempo em que o aplicativo gera a animação do carro produzindo muita poluição para pegarmos o boné e o apito.

Rapidamente pegamos o boné e o apito enquanto os estudantes estavam entretidos olhando a tela de projeção do aplicativo. Apitamos e repetimos a fala do policial:

— Bom dia! Documentos por favor. Os senhores serão multados por conduzir veículo gerando muita fumaça de acordo com o código de trânsito brasileiro (CTB). Esta infração grave acarretará multa de 10 unidades de trabalho e retenção do veículo até a devida regularização. A poluição do ar causado pelo veículo dos senhores atinge globalmente o planeta gerando problemas de saúde à vida humana no planeta.

A primeira reação da turma foi de espanto. Eles assustaram com o barulho gerado pelo apito, não economizamos no pulmão e demos muitas gargalhadas. Tivemos até alguma dificuldade para retornar ao JDM.

Mostramos os emojis, os cálculos e visualizamos a dica de parabéns gerada no APP (Figura 38).

Figura 38: Imagem da tela do APP com os dados fornecidos pela equipe Alopradas

Rally da Física
Ligue o Carro!

$Q_1 = 8 \text{ J}$

$W = 5 \text{ J}$

$Q_2 = 3 \text{ J}$

Energia
E

$$W = Q_1 - Q_2$$

$$5 = 8 - 3$$

$$5 = 5$$

Rendimento
R

$$\eta_e = 5/8 = \frac{5}{8}$$

$$\eta = \frac{W}{Q_1}$$

$$\eta = \frac{5}{8}$$

$$\eta = 0.63$$

$$\eta = \eta_e$$

$$0 < \eta_e \leq 1$$

$$0 < 0.63 \leq 1$$

OK

Dicas

Parabéns!
Conseguiram um motor de ótimo rendimento.
 $\eta_e = 0.63$
Vocês sabem dizer qual é o rendimento dos melhores veículos a combustão modernos?

Notas Placar
Config. Ajuste
Cont. Des.
Ligar CC NV.
Dicas Apagar

Fonte: acervo do autor

Apenas comentamos sobre a Dica fornecida no APP, já tínhamos explicado e discutido anteriormente. A partir daí demos continuidade no JDM ao discutir a resposta das outras equipes.

A resposta desta equipe Acorda Pedrinho nos surpreendeu. Entregaram a folha apenas com os dados do 1º resultado esperado, com o trabalho nulo e sem justificativas (Figura 39). Até então era a melhor equipe do jogo, a que mais tinha pontuado.

Figura 39: Folha de resposta da equipe Acorda Pedrinho

Avaliação e Jogo Dialogado

Nome da equipe:

No lado esquerdo da tabela estão os valores do aplicativo e a direita devem ser colocados os valores desejados ao jogar.
 Para manter o padrão com o aplicativo (língua inglesa) utilizaremos ponto em vez de vírgula.
 A equipe pontuará ao avisar sobre uma relação previamente correta.
 Podendo até mesmo pedir para ligar o carro (por escrito) sem jogar os dados.
 Vocês não possuem bônus.

Nome da equipe:
 1) Liga ou não liga o carro?
 Situação: Quantos dados jogar e para que grandeza? Lembre-se de pedir uma dica no APP, sem ônus.

Situação			1º Resultado Esperado			2º Resultado Esperado		
$Q_1 =$	8J	$\eta_e =$ 5/8	$Q_1 =$	8	$\eta_e =$ 0/8	$Q_1 =$		$\eta_e =$
$\delta =$	0J		$\delta =$	0		$\delta =$		
$Q_2 =$	8J		$Q_2 =$	8		$Q_2 =$		

Justifique sua resposta.
 1º Resultado Esperado:

Fonte: acervo do autor

Perguntamos: — Por que vocês não responderam?

— “*Não deu tempo professor, você recolheu*”

— Então respondam agora! Dissemos, e perguntamos se eles ligariam ou não o carro?

— “*A gente pode até ligar, mas não vai funcionar*”

— Por quê? Perguntamos.

— “*O trabalho é zero, não tem movimento*”

O carro de vocês está enguiçado, dissemos. Olhem só o estado dele. Inserimos os dados no APP e mostramos o resultado ao tentar ligar o carro (Figura 40).

Figura 40: Captura de tela com os dados da equipe Acorda Pedrinho



Fonte: acervo do autor

A equipe Tropa do Omar ajustou corretamente os valores do 1º resultado esperado. Não preencheram o 2º resultado e também não justificaram. O que reforça o fato de o tempo ter sido escasso, além da dificuldade que tiveram para compreender com o preenchimento da tabela.

As outras duas equipes (2110 e Os Mosqueteiros) entregaram as folhas em branco. Disseram que não tinham entendido o que fazer ou que não deu tempo.

Entendemos que o tempo foi realmente escasso. Gostaríamos de aproveitar o final da aula para discutir a solução oralmente. Não tínhamos ideia do tempo que precisaríamos para discutir as respostas. No geral, os estudantes sentiram dificuldade para entender como preencher a folha e gastaram mais tempo do que havíamos previsto. Isso nos levou a propor mudanças na folha de resposta que seria utilizada na próxima aula. Recolhemos as folhas e explicamos à turma que não havia problema no fato de não terem respondido e que continuaríamos na próxima aula com o JDM.

5.2.7 Redação do final da história – (aulas 09 e 10 – 20/06/22)

A primeira professora que abordamos ao chegarmos na escola foi a professora de português. Ela foi muito solícita e nos disse que gostaria de participar da aplicação do produto e pediu que explicássemos como seria. Dissemos que a atividade final seria um texto produzido pelos estudantes como complemento a história inicial. Verificamos se ela gostaria de assistir à apresentação da história inicial, mas ela disse que estaria ministrando outra aula no horário. Após a aplicação relatamos como foi a aula inicial com os estudantes, enviamos todo o material

relativo à história inicial e o vídeo para que a professora pudesse entender a abordagem da história inicial. Ela nos orientou sobre o que já havia trabalhado como os estudantes nas produções de texto, falou dos diferentes estilos de produção e das dificuldades dos estudantes para escrever.

Pedimos à professora que orientasse os estudantes sobre o texto argumentativo, pois gostaríamos que esse estilo fosse utilizado prioritariamente por eles. Ela disse que iria discutir com os estudantes sobre este estilo também.

Perguntou quando desejávamos aplicar a história final, falamos que não precisaria ser ao final de toda aplicação do produto e que poderia ocorrer no final do mês de junho. A professora cedeu um total de 4 horas/aulas, das quais duas foram destinadas apenas para a produção da história final e as outras duas foram utilizadas para dar continuidade ao jogo. O que foi decisivo para que conseguíssemos aplicar o produto até o final do semestre.

Ficamos satisfeitos com a possibilidade de um trabalho interdisciplinar com a professora de português. Conforme já relatado, o professor de biologia e o de matemática também nos cederam uma hora aula cada um, que também foram utilizadas na aplicação do jogo, mas não participaram de forma interdisciplinar.

A produção do texto final foi feita pelas mesmas equipes, porém, com modificações em decorrência de oscilações naturais que ocorrem em final de período (provas, infrequência etc.). Ficamos com cinco equipes com cinco estudantes cada, que tiveram o tempo de 2 horas/aulas para produzir os textos.

Na proposta inicial do produto a ideia era que os alunos complementassem a história com pouca ou nenhuma orientação do professor, visando verificar até que ponto eles assumiriam o protagonismo no contexto da história. Demos apenas o diagnóstico da doença do avô e algumas informações sobre o supermercado, como posicionamento dos geradores, transtornos produzidos no trânsito da rua, causados pela garagem de carga e descarga dos caminhões, como descrito no produto.

Porém, as características da turma e o reduzido tempo de aplicação, em função do final do semestre letivo, nos levaram a promover adaptações na atividade prevista. Assim, a atividade, na prática, ficou da seguinte forma:

Entregamos uma folha (Apêndice D do produto educacional) contendo o tema a ser tratado com as fotos do supermercado e da rua onde ele se localiza. Indicamos de forma explícita que os alunos deveriam resolver os problemas apresentados na história inicial, escrevendo um desfecho para ela.

Observamos muita conversa paralela entre os participantes das equipes durante essa etapa da atividade. Entendemos que o espaço dado para o diálogo entre os membros das equipes durante a construção do texto acabou por produzir essas conversas paralelas que dificultaram a execução da atividade. Consideramos que se as equipes tivessem sido mais objetivas conseguiriam produzir os textos em aproximadamente uma hora/aula. Os textos produzidos pelas equipes encontram-se disponíveis no Apêndice A desta dissertação.

5.2.8 O jogo dialogado – (aulas 11 e 12 – 01/07/2022)

Voltamos a sala de aula para fazer a aplicação do jogo dialogado após nosso afastamento devido a covid, ocorrido na penúltima semana do semestre letivo.

Essa aplicação só foi possível com a colaboração dos professores de matemática e português que cederam suas aulas para que pudéssemos retomar a aplicação do JDM e fazer o encerramento das atividades. Das seis questões desafiadoras previstas, conseguimos aplicar apenas duas: o Quebra cabeça dinâmico e o Jogo da memória.

Dos 26 alunos regularmente presentes tivemos nesta última atividade a presença de apenas 14 estudantes. Segundo relato dos professores essa infreqüência ocorre normalmente nos últimos dias do semestre.

Nesta última atividade não foi possível a organização das equipes regulares. Distribuimos os alunos de modo a manter a interatividade da atividade e favorecer o debate dos estudantes, formando 3 grupos, dois de 5 estudantes e um grupo de 4 estudantes. Mantivemos os nomes dos grupos apenas como referência, a critério dos alunos, já que as equipes foram reestruturadas nesta fase.

No início da aula explicamos como seria a atividade e fizemos um resumo do conteúdo da 1ª lei da termodinâmica e do rendimento já abordados e faríamos a revisão da 2ª lei termodinâmica caso tivéssemos tempo disponível, o que não ocorreu. Fizemos algumas modificações no jogo dialogado no intuito de oferecer aos estudantes situações importantes que não ocorreram no jogo até então.

Optamos em continuar trabalhando com o JDM e não utilizamos o JD como havíamos previsto para o final do jogo no produto educacional original. Os valores apresentados como questões foram previamente escolhidos e apresentados como questões para serem resolvidas por todas as equipes, e depois de recolhidas seriam comentadas com toda turma. Só então seria entregue uma nova folha com a questão seguinte, se configurando numa forma de coleta de dados por escrito que não havíamos previsto na elaboração do produto.

As questões foram organizadas para serem apresentadas em ordem crescente de dificuldade, desta forma os comentários contribuíram para a estruturação das próximas questões.

Digitamos no aplicativo os valores previamente selecionados e atendemos aos pedidos dos estudantes de visualização da dica de cada equipe, individualmente. Apenas não tentamos ligar o veículo para não oferecer o gabarito, deixados isso para o final, após a entrega da folha.

Após o recolhimento da folha substituímos os valores escolhidos pelas equipes no APP, mostrávamos o feedback, as dicas, emojis, resoluções e tentávamos ligar o veículo para mostrar os valores abordados durante o debate. Nessa atividade assumimos a postura do professor tutor em contrapartida à do professor juiz do jogo dinâmico.

Cada folha apresentava uma situação com valores para Q_1 , W e Q_2 . Os estudantes tinham que indicar se o carro ligaria ou não, indicar o resultado esperado e quantos dados jogariam para obter o resultado indicado. Era solicitado ainda que os estudantes copiassem as dicas apresentadas pelo APP, interpretassem as dicas e justificassem os resultados esperados. A Figura 41 mostra a ficha preenchida por uma das equipes e a Figura 42 mostra a tela do APP para a situação indicada no 1º exercício.

Figura 41: Exemplo de ficha utilizada no jogo dialogado

Avaliação e Jogo Dialogado

Nome da equipe: MMCVV-2030

No lado esquerdo da tabela vocês colocarão os valores do aplicativo e a direita devem ser colocados os valores desejados ao jogar. A equipe pontuará ao avisar, por escrito, sobre uma relação previamente correta. Lembre-se de pedir ao professor as dicas e interpretá-las antes e depois de jogar.

(): Liga ou não liga o carro? Quantos dados jogar para que grandeza?

€

Situação		Resultado Esperado	
$Q_1 =$	8 J	$Q_1 =$	8 J
$\delta =$	5 J	$\delta =$	9 J
$Q_2 =$	10 J	$Q_2 =$	4 J

3 dados
3 dados

Cópia da 1ª dica: q'' e q'
Sugerindo 10 J e 8 J dá-se a ~~se~~ entender que a energia inicial não pode ser inferior ao resultado final.

Interpretação da 1ª dica:
Valor de q' tem de ser superior ou igual ao resultado de δ

Resultado esperado e justificativa:
Afim de conseguir resultados iguais ao primeiro valor dado, jogamos 3 dados para fazer o trabalho para tentar obter o valor 4 e mais 4 para energia desperdiçada.

Fonte: acervo do autor

Figura 42: Tela do APP com a indicação dos dados originais do 1º exercício

Fonte: acervo do autor

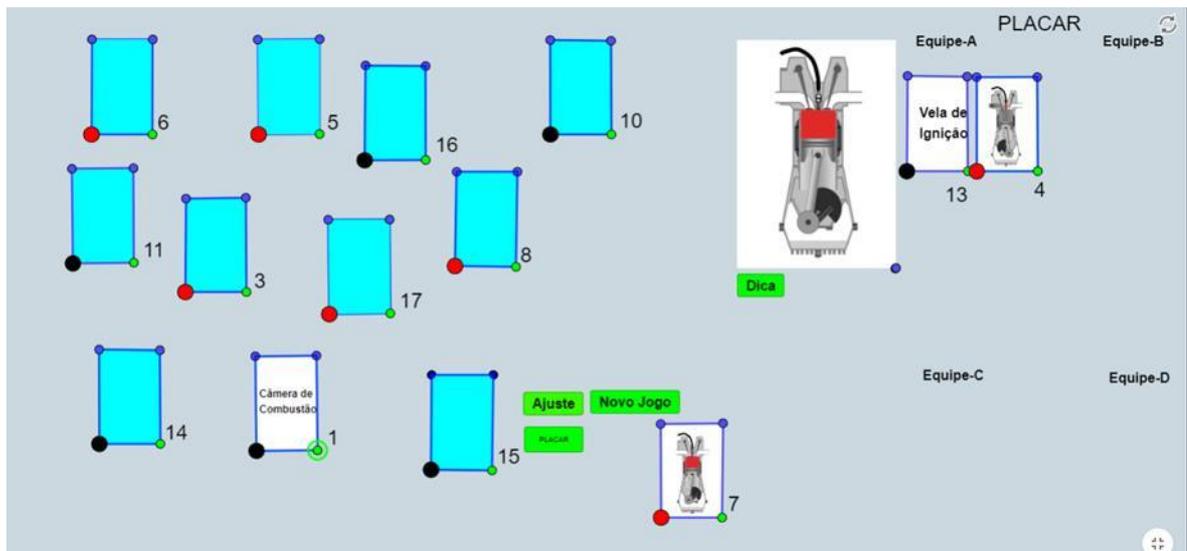
Sugerimos que os estudantes poderiam simplificar a cópia da Dica colocando apenas as 3 primeiras palavras, adicionar reticências, e as três últimas palavras. Este pedido de cópia da dica tornou-se importante em situações com mais de um ajuste das grandezas, já que as dicas são relativas a um conjunto de valores presentes naquele momento e precisamos, em nossa análise, saber as dicas que foram visualizadas pela equipe. Lembremos que as dicas foram criadas para orientar os valores a serem jogados e que no jogo poderiam ter sido compradas pela equipe, por meio de uma troca por unidades de trabalho. O pedido de cópia da Dica foi mais um recurso que usamos para motivar os estudantes a olharem as dicas tão pouco requisitadas durante o jogo dinâmico.

Faltando alguns poucos minutos para o encerramento da aula utilizamos o jogo da memória (Figura 43). Sabíamos que não haveria tempo hábil para mais um exercício no JDM. O jogo da memória¹¹ foi criado como mais um desafio que seria apresentado e permitiria a aquisição de bônus. Não utilizamos da forma prevista e seu uso não acarretou qualquer pontuação no jogo. Os alunos participaram, se envolveram e sentiram facilidade para jogar.

Acreditamos que isto ocorreu pelo fato de já terem tido contato com a terminologia das partes do motor nas aulas anteriores e também porque foi uma atividade em equipe. O que ajuda na memorização da posição das peças. Fizemos uso da flexibilidade e adaptabilidade que o jogo oferece, já que as atividades são sub-jogos que podem ser acrescentadas, retiradas ou até mesmo usados independentemente do jogo principal – o Rally da Física.

¹¹ Disponível no endereço <https://www.geogebra.org/m/jew963zm>

Figura 43: Tela do jogo da memória aplicado após o JDM



Fonte: acervo do autor

Encerramos a aula lembrando mais uma vez que os estudantes procurassem estudar em casa, usando como estímulo à competição e o bom desempenho no jogo. Ainda havia a expectativa de conseguirmos mais uma aula para fazer um encerramento formal da atividade, mas, infelizmente, isso não aconteceu. Esta aula foi a de encerramento do jogo e da sua aplicação.

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta seção apresentamos a análise de cada etapa da aplicação do produto e, ao final, apresentamos uma apreciação geral

6.1 ANÁLISE DO QUESTIONÁRIO APLICADO AO FINAL DA HISTÓRIA INICIAL

Aqui analisaremos algumas questões que nos ajudam a entender o estágio inicial da turma em relação ao conteúdo abordado.

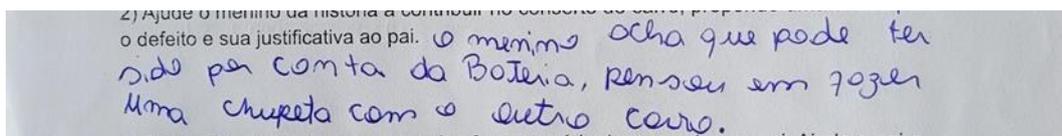
6.1.1 Questões Interativas - Números 2 e 3

As questões 2 e 3 são consideradas como interativas pelo fato de os estudantes terem sido convidados a respondê-las como se fossem personagens da história.

A questão 2 pedia aos estudantes que ajudassem o menino da história a contribuir no conserto do carro, propondo uma causa para o defeito e sua justificativa ao pai.

Dos 26 participantes apenas oito estudantes identificaram corretamente que poderia ser um problema na bateria, mas não justificaram a função da bateria no motor à combustão e como estaria relacionada ao sistema de ignição. Apenas um estudante sugeriu uma maneira de ligar o carro, caso fosse apenas a bateria descarregada, conforme mostrado na Figura 44. Prevíamos como resposta, bateria descarregada, já que o defeito foi apresentado sem grandes indicativos.

Figura 44: Resposta de um dos estudantes para solucionar o problema do carro



Fonte: acervo do autor

O termo “chupeta” é utilizado quando ligamos a bateria descarregada de um veículo à bateria boa de outro veículo, utilizando a energia desta para ligar o carro.

As outras respostas foram bastante diversificadas. Quatro estudantes seguiram a ideia do vizinho dizendo que o problema foi na “rebimboca da parafuseta”. Esta é uma expressão corrente em certas regiões do Brasil para designar uma peça, real ou fictícia, do motor de um carro, cujo nome ou função não são conhecidos. Três estudantes repetiram a observação do pai no vídeo de que tinha um pequeno vazamento de óleo e dizem que o defeito poderia ser devido a este vazamento. Um dos estudantes disse ainda que este vazamento poderia ser responsável por um acidente durante a viagem. Um estudante falou sobre falta de gasolina, que também

seria uma alternativa para o não funcionamento e um outro disse que “o problema está na ignição”, sem dar mais detalhes.

A partir desta análise concluímos que precisaríamos explicar a função da bateria na geração de energia elétrica necessária para produzir a centelha da vela de ignição. Poderíamos abordar este item (bateria) durante a atividade do quebra cabeça dinâmico, previsto para a aula seguinte. Não tínhamos previsão para explicar o funcionamento do motor de arranque, porque iria exigir noções básicas de eletromagnetismo. Entretanto entendemos que este tema poderia ser abordado superficialmente pelo professor. Porém, em função da escassez do tempo, relatada no capítulo anterior, não conseguimos retomar este tema nas atividades posteriores.

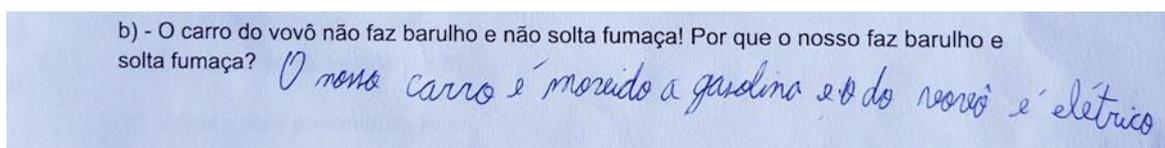
A pergunta número 3 trazia o seguinte enunciado geral: Durante a viagem de volta o menino faz uma série de perguntas ao pai. Ajude o pai a responder os questionamentos do garoto.

O item a) apresentava a seguinte questão: a) O carro do vovô “tava” na tomada que nem o liquidificador da mamãe. Por que o senhor não coloca o nosso carro na tomada?

Gostaríamos que identificassem que o carro do avô era elétrico.

Dez estudantes disseram que “não colocariam porque o nosso é a gasolina e o dele é elétrico” ou responderam de forma muito parecida, o que mostra que uma parte significativa dos estudantes perceberam a diferença básica entre os veículos com relação a origem da energia utilizada para produzir movimento. A Figura 45 mostra um exemplo de resposta.

Figura 45: Exemplo de resposta dada à questão 3 (a).



Fonte: acervo do autor

As demais respostas foram bem diversas. Dois estudantes responderam não terem entendido a pergunta. Outros disseram que carro a combustão não precisa ser ligado na tomada, mas sem destacar a diferença entre os dois tipos de veículos.

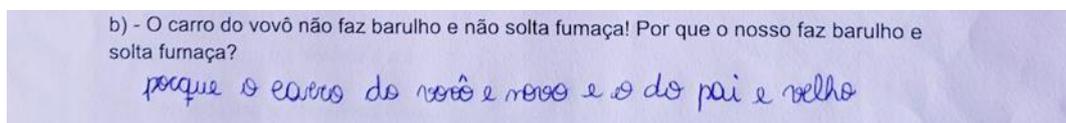
O objetivo desta questão era destacar as diferentes fontes energias utilizadas nos veículos à combustão e nos veículos elétricos. Um assunto que também seria abordado no quebra cabeça dinâmico.

O item b) da questão 3 trazia o seguinte questionamento: O carro do vovô não faz barulho e não solta fumaça! Por que o nosso faz barulho e solta fumaça?

Dez estudantes associaram a fumaça e o barulho ao fato de ser um carro velho e não a diferenças de energia utilizada no motor, como podemos observar na Figura 46. O que não pode

ser considerada uma resposta correta, já que no questionamento anterior fica claro o fato do carro ser elétrico.

Figura 46: Exemplo de resposta dada à pergunta 3 (b)



Fonte: autoria própria

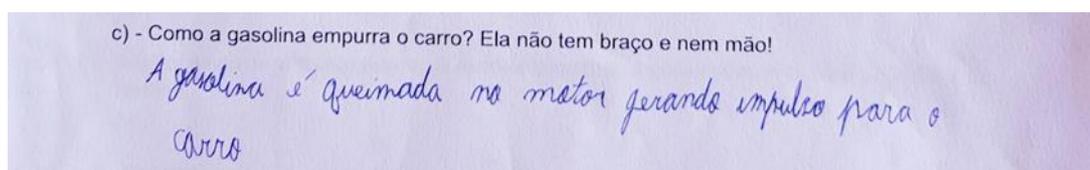
Cinco estudantes foram mais precisos, dizendo que a queima de combustível induz a produção de gases e produz barulho também”. Estes estudantes identificaram corretamente a diferença dos veículos. As demais respostas foram variadas: “O nosso carro é movido a gasolina e o do vovô é elétrico.”; “Carro elétrico não faz barulho! O nosso faz”; “Porque é a gasolina e fuma igual teu avô.”; “pois ele não queima a gasolina para andar, ele usa energia elétrica para se mover”. Apenas três estudantes responderam que não saberiam dizer.

A ideia dessa questão era discutir as diferenças entre os dois tipos de veículos (à combustão e elétrico) e suas vantagens e desvantagens, mas, infelizmente, devido ao encurtamento da atividade em função do adoecimento do pesquisador, isso não foi possível.

O item c) da questão trazia o seguinte questionamento: “Como a gasolina empurra o carro? Ela não tem braço e nem mão.”

Apenas seis estudantes relacionaram a queima da gasolina com liberação de energia. Entretanto, não explicam como esta energia é convertida em movimento do carro. A Figura 47 traz um exemplo de resposta.

Figura 47: Exemplo de resposta ao item 3 (c).



Fonte: autoria própria

Sete estudantes disseram não saber e um deixou a resposta em branco. Aqui também tivemos outras respostas diversas, como “por meio das válvulas” ou “através das substâncias da gasolina”, mas sem nenhum tipo de explicação.

Essas questões foram propostas durante a narração da história e pedimos aos estudantes que as resolvessem individualmente, no entanto demos condições para que compartilhassem as respostas por estarem assentados em grupo no papelão (Figura 48).

Figura 48: Estudantes respondendo o questionário



Fonte: acervo do autor

Antes de os estudantes entregarem a folha de respostas ouviram os comentários bem formulados de um colega (A1) sobre o funcionamento do motor a combustão. Também fizemos alguns comentários. Descreveremos a seguir um trecho dessa conversa.

— Vocês não perceberam que o carro do avô é carro elétrico? Vocês lembram que o menino tinha observado na viagem de volta que o carro do avô não tinha cano de descarga. Por que o carro do avô não tem cano de descarga?

Um estudante (A1) respondeu que era “porque não queima a gasolina”. Continuamos perguntando:

— Vocês sabem como a gasolina empurra o carro?

O mesmo estudante (A1) respondeu que era “através da combustão”. Este estudante destacou-se durante toda a aplicação e já havia sido indicado pelo professor regente da turma como um aluno diferenciado.

Dissemos que é por isso que o carro a combustão produz fumaça, porque está liberando os gases resultantes da combustão e continuamos questionando:

— Como esta queima da gasolina é transformada em movimento do carro?

O estudante (A1) respondeu que “a gasolina tem uma energia acumulada dentro de si, quando ela queima, está liberando essa energia através de vapor...através de gases que estão muito quentes que empurram os pistões, colocam o carro em movimento.”

Observa-se aqui uma resposta bem estruturada que pode ter influenciado nas respostas dos colegas. Consideramos que este debate também pode ter ajudado na resolução do quebra cabeça dinâmico, como relataremos no capítulo anterior. Previmos, adequadamente, na elaboração do quebra cabeça dinâmico, a necessidade de abordarmos as questões discutidas nos itens a, b, e c da questão 3. O que ocorreu na aula seguinte e em outras etapas do jogo.

6.1.2 Questões interpretativas e de equilíbrio emocional

Como resultado da orientação da psicóloga sobre a atividade colocamos a questão 4 para que os estudantes, nos debates em grupo, pudessem elaborar as possíveis situações de medo que tivesse ocorrido quando o monstro de fumaça entrou no quarto. A questão traz o seguinte enunciado:

1. Somos nós que alimentamos o monstro da poluição todos os dias ao utilizarmos veículos a combustão. Portanto, imagine que você dará uma mão para se ver livre desse monstro. Para onde você o levaria? Você pode discutir com os colegas. Escreva sua resposta de uma forma bem sucinta.

Esta questão foi formulada pelo pai ao filho durante o café da manhã e falamos com os estudantes que eles deveriam responder como o personagem da história (menino), ao final da atividade, pois imaginávamos que eles poderiam demorar demasiadamente na resposta, por discutirem em grupo. Em uma nova aplicação não faríamos desta forma. Pediríamos que os estudantes respondessem durante a história e controlaríamos o tempo com maior rigor. Desta forma seria mantida a interatividade da história. Não tínhamos uma resposta prevista para esta questão.

As respostas foram bastante diversificadas. De soluções fantasiosas, como levar o monstro para igreja (Figura 49) a soluções ambientais (Figura 50), como estimular o uso de bicicletas e patinetes e acabar com o carro a combustão (Figura 51)

Figura 49: Sugestão de levar o monstro para a igreja

resposta de uma forma bem sucinta.
 levaria pra igreja para o pastor fazer uma oração.

Fonte: acervo do autor

Figura 50: Sugestão de estimular o usos de bicicletas e patins

monstro. Para onde você o levaria? Você pode discutir com os colegas. Escreva sua resposta de uma forma bem sucinta. Eu acho que o governo deveria incentivar o transporte de bicicletas e patinetes.

Fonte: acervo do autor

Figura 51: Sugestão de acabar com os veículos a combustão

monstro. Para onde você o levaria? Você pode discutir com os colegas. Escreva sua resposta de uma forma bem sucinta. Eu não sei para onde eu levaria não, mas eu diminuiria um pouco de colocar com os veículos a combustão.

Fonte: acervo do autor

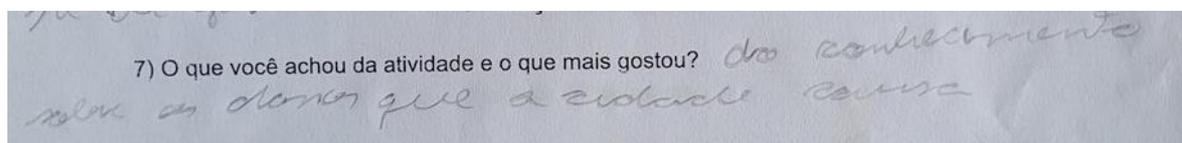
Alguns estudantes disseram que levariam para o esgoto, lixão e deserto. Num total de 22 estudantes, nove forneceram respostas em branco ou dizendo não saber o que fazer.

Com esta pergunta tivemos a intenção de gerar oportunidade para estimular a criatividade e as soluções mágicas dos estudantes ao assumirem a autoria da história como o personagem do menino. Usamos o termo “dar a mão ao monstro” seguindo as orientações da psicóloga, para estimular uma imagem mental de controle da situação desagradável que o monstro teria causado. Assim, os estudantes teriam a oportunidade de exercitar uma postura de protagonistas, mesmo como personagens de uma história, e tomarem consciência de uma questão ampla e complexa, relacionada a poluição dos grandes centros urbanos.

6.1.3 Questões de avaliação da atividade pelos estudantes

As questões de 7 a 14 visavam a avaliação da atividade pelos estudantes. Com relação à questão 7, seis estudantes disseram ter gostado da atividade como um todo e sete indicaram ter gostado mais do relaxamento final. Dois deles destacaram o aprendizado proporcionado (Figura 52). Também disseram ter gostado da interatividade proporcionada e até mesmo do monstro de fumaça (duas respostas).

Figura 52: Destaque do conhecimento proporcionado



Fonte: acervo do autor

Quanto à questão 8, que indaga sobre o que eles menos gostaram, sete estudantes relataram terem gostado de tudo e três deixaram em branco. Alguns reclamaram do monstro de fumaça e outros do travesseiro duro (feito com caixa de papelão).

Quanto à nota dada à atividade pelos estudantes (Questão 9), dezenove estudantes avaliaram a atividade com nota de 3 a 5, numa escala de 0 a 5. O que indica que, no geral, eles gostaram da história.

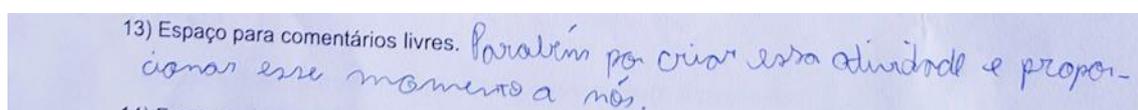
Sobre o que mais gostaram na história (Questão 10), quatro estudantes responderam terem gostado de “tudo”. Tiveram destaques também para edição do áudio e a imersão proporcionada, além de outras indicações bastante diversificadas: “da fazenda”; “do professor narrando”; “A parte de dormir”; “A parte que descubro o problema e sei como resolvê-lo”; “Da imersão” etc.

Sobre o que menos gostaram (Questão 11), cinco deixaram em branco e seis relataram ter gostado de tudo. Os demais indicaram partes variadas, como o defeito do carro, o monstro de fumaça e da doença do avô.

A questão 12 solicitou que os estudantes dessem uma nota para a história. Numa escala de 0 a 5, dezenove estudantes deram nota de 3 a 5, os demais não responderam.

A questão 13 deixou um espaço para comentários livres. A maioria dos estudantes deixou em branco ou indicou “nada a declarar”. Sete estudantes indicaram ter gostado da atividade, conforme indicado na Figura 53.

Figura 53: Exemplo de resposta dada à questão 13



Fonte: acervo do autor

Por fim, a questão 14 solicita que os estudantes façam uso da criatividade de escritor sugerindo modificações e/ou acréscimos à história. A maioria deixou em branco ou indicaram não ter nada a declarar. Sobre as sugestões houve indicações de que a história “poderia ser mais teatral” e de que a família “poderia ter levado o avô para a fazenda”.

Concluimos a partir das respostas das questões de 7 a 14 que os estudantes, no geral, gostaram da atividade. Nos relatos orais alguns estudantes afirmam terem gostado muito dos efeitos sonoros.

Ao final da história perguntamos ao professor o que ele tinha observado sobre a motivação e participação dos estudantes. Ele nos relatou que foi notável a participação dos estudantes e ainda fez observação sobre o comportamento deles. Falou que mesmo os estudantes mais agitados participaram da atividade. Disse também que observou que uma aluna que trabalha e que frequentemente dorme em suas aulas tinha participado atentamente das atividades. Em suas palavras, disse que “ficou evidente a participação dos estudantes”. O professor observou ainda que o fato de as perguntas terem sido distribuídas ao longo da atividade tornou-a menos cansativa e mais dinâmica.

Constatamos que a atividade foi capaz de gerar motivação e envolvimento dos estudantes segundo relatos do professor regente da turma. Seu relato foi importante para nós porque ele conhecia os estudantes, inclusive por ter sido professor de vários deles em anos anteriores.

Apenas durante a análise percebemos que o professor regente da turma havia contribuído ativamente no processo da pesquisa, e de forma espontânea. Após as aulas sempre

fazia comentários relevantes sobre a atividade, na maioria das vezes sem que tivéssemos perguntado. A Figura 54 mostra uma self feita pelo professor deitado participando da atividade junto com a turma.

Figura 54: Self do professor deitado junto com a turma durante a narração da história



Fonte: acervo do autor

Gostaríamos de ter dividido a turma na aplicação desta primeira parte da história, ficando com treze estudantes em cada sessão. Com isso, teríamos menos barulho e menos movimento, o que ajudaria na imersão na história. Mas, devido à escassez de tempo, isso não foi possível. O tempo de 2 horas/aula foi suficiente para desenvolvermos a atividade e fazermos um pequeno debate ao final.

Na história inicial buscamos identificar conhecimentos prévios sobre o funcionamento do motor a combustão, as diferenças básicas entre motores a combustão e elétricos, e abordamos o problema poluição ambiental, destacado pela doença respiratória do avô. Propositalmente não fica claro na história a causa da doença respiratória do avô, deixando para que os estudantes pudessem refletir sobre o fato no decorrer das outras etapas da atividade.

6.2 ANÁLISE DO JOGO RALLY DA FÍSICA

Nesta seção fazemos a análise e tecemos algumas considerações sobre os resultados da aplicação do jogo Rally da Física. Inicialmente relatamos algumas dificuldades observadas no decorrer do jogo e as soluções propostas e na sequência fazemos a análise do jogo propriamente dito.

6.2.1 Dificuldades enfrentadas

Durante o jogo observamos que as dicas foram pouco solicitadas pelos estudantes, principalmente a partir do momento em que as equipes já haviam entendido quais deveriam ser os valores esperados. Em alguns momentos procuramos mostrar as dicas mesmo que elas não tivessem sido requisitadas. Isso também ocorreu nas pré-aplicações do jogo. Mesmo a equipe detentora do bônus de Engenheiro Mecânico, que poderia consultar as dicas sem ônus, não o fez.

Com isso observamos que um dos recursos criados para orientar os valores a serem jogados e oferecer outros comentários importantes não foi requisitado pelos estudantes como gostaríamos. Isso nos levou a alterar a dinâmica do jogo, oferecendo as dicas mesmo sem os estudantes pedirem. Esta é uma alteração que já poderia ser feita em aplicações futuras. A depender das reações das turmas, o professor poderá mostrar as dicas após cada jogada, não ficando a critério da equipe pedir ou não a dica, ou até mesmo comprá-la, desde o início do jogo.

As dicas foram criadas para oferecer orientações e comentários sobre os valores presentes e não oferecem informação direta sobre os valores que as equipes devem procurar ao jogar, portanto não interferem diretamente no resultado da jogada. As regras podem e devem ser modificadas em cada aplicação.

A partir do momento que a equipe não pede para ligar o carro entendemos que estão percebendo que as relações entre as grandezas não estão ajustadas ou que ainda estão inseguras para pedir para ligar. Este pode ser um momento adequado para o professor fazer uso das dicas, mesmo sem a solicitação dos estudantes.

Outra dificuldade que tivemos que enfrentar foi relativa às probabilidades de resultados possíveis para o lançamento dos dados. Esse é um fator crucial para que o jogo possa fluir. Nas pré-aplicações em momento algum nos atentamos para as dificuldades que os estudantes poderiam ter para identificar as diferentes probabilidades ao jogarem os dados. No entanto, não esperávamos que a dificuldade de entender o conjunto de resultados possíveis, a partir da jogada de um certo número de dados, seria tão grande a ponto de inviabilizar o andamento do jogo.

Por isso, incorporamos uma discussão específica sobre esse tema no início da quarta aula, o que não havia sido previsto no roteiro da aplicação. Nossa proposta foi apresentar os problemas a serem resolvidos pelos estudantes, dentro da estrutura já exposta da PBL, mas isso não foi possível o tempo todo.

Sugerimos algumas pequenas modificações em função da dificuldade de compreensão dos estudantes a respeito da probabilidade de resultado inerente à quantidade de dados a serem jogados, como, por exemplo, a utilização de tabelas (Apêndice C do manual do produto educacional) com valores pré-determinados. Caso tivéssemos mais tempo poderíamos indicar isso como uma pesquisa a ser realizada pelas equipes, ou mesmo sugerir orientações nas aulas de matemática como um trabalho interdisciplinar. O que em nossa aplicação não foi possível, devido aos fatores já relatados no capítulo anterior.

Na proposta inicial do produto fizemos a previsão de que os estudantes sugerissem possíveis relações que expressassem o rendimento ao jogarem, mas devido à escassez de tempo, resolvemos simplificar informando diretamente a expressão do rendimento. Como um pouco mais de tempo, o professor poderá explorar melhor este conceito e não oferecer uma expressão pronta.

Também tivemos certa dificuldade com o uso do botão novos valores (NV). Este foi criado para facilitar a geração de valores aleatórios, evitando que seja necessário digitar individualmente cada um dos valores, para as respectivas grandezas. Porém, entendemos que esse recurso poderia ter sido utilizado com mais critério. Poderíamos ter criado situações mais fáceis no início e não termos utilizado valores de rendimento maiores que um ao introduzir esse conceito. Acreditamos que a apresentação de um conjunto de valores em ordem crescente de dificuldade facilitaria a compreensão dos estudantes até mesmo da dinâmica do jogo. Dessa forma, o uso do botão “novos valores” ficaria restrito a situações mais elaboradas do final do jogo.

Também tivemos que simplificar um pouco as regras do bônus Engenheiro Mecânico no início da etapa do jogo dialogado, fornecendo informação aos estudantes sobre alguns recursos do bônus, o que pode ser verificado nas regras originais do jogo. Em outros momentos informamos mais algumas vantagens desta regra. Entendemos que em um primeiro momento, as regras podem ser de difícil assimilação por parte do professor e dos estudantes, porém, com o andar do jogo foi possível ampliar as possibilidades de ação, dentro daquilo que havíamos previsto.

Nas pré-aplicações não aplicamos o jogo como um todo. Estávamos mais focados em avaliar a dinâmica do jogo, portanto tínhamos a intenção de avaliar o funcionamento de cada uma das etapas e estabelecer a dinâmica de aplicação dos bônus. Mesmo porque o perfil dos jogadores era bem diferente do dos estudantes de uma turma regular de ensino médio.

Em determinado momento do jogo pedimos aos estudantes que relatassem o valor numérico esperado e dessem uma breve justificativa da escolha feita, o que nos permitiria

avaliar o conhecimento sobre a 1ª e 2ª leis da termodinâmica, sobre o rendimento e as estratégias de jogo. Este relato havia sido previsto no jogo dialogado (JD) que ocorreria apenas ao final do Rally. Porém, entendemos que era preciso obter os valores esperados e as justificativas dos estudantes para futuros debates, mesmo sabendo que naquele momento não poderíamos interceder. Essa dificuldade não foi prevista na elaboração do produto. Sugerimos que em uma nova aplicação o professor crie uma estratégia para que as equipes enviem estas informações pelo WhatsApp, por escrito, durante todo o jogo. Isto permitiria uma atuação mais efetiva do professor tutor no jogo dialogado modificado (JDM) como descreveremos mais à frente. Outra modificação inserida durante a aplicação do produto.

6.2.2 O Jogo Dialogado Modificado (JDM)

Outra modificação que fizemos durante o jogo, e que não havia sido prevista antes, foi a criação da dica do professor. As dicas do professor, quando requisitadas pela equipe, permitiria que ele alternasse entre os papéis de juiz e de tutor ampliando os momentos de orientação no jogo dinâmico, como já havíamos descrito. Ainda assim, continuamos com o problema de que ficaria a cargo da equipe a requisição da dica (compra) e, com isso, o professor continuaria sem a autonomia para explicar qualquer coisa a qualquer momento. Foi nesse contexto que surgiu a ideia do jogo dialogado modificado (JDM).

A criação do JDM ocorreu durante o jogo. Essa modificação criou uma dinâmica diferenciada para o jogo e para o jogo dialogado, por incorporar a possibilidade de escolha de valores numéricos, promovendo uma maior interação com toda a turma e ampliando o papel do professor tutor, por se tratar de uma situação que todas as equipes deveriam resolver. O JDM permitia também retomar situações do próprio jogo dinâmico. O uso do texto escrito pelos estudantes durante o JDM poderia funcionar também como recurso avaliativo do professor, o que não havia sido previsto antes.

A aplicação do jogo teve que ser interrompida na sexta aula, pelo fato de o pesquisador ter sido acometido pela covid-19, logo que iniciamos o debate com Carnot e começávamos a aplicar o JDM. Portanto, não foi possível exercitarmos a expressão e os conceitos relativos ao ciclo de Carnot, esse assunto não foi suficientemente trabalhado com os estudantes no jogo dinâmico, por isso o retiramos do JDM.

O jogo dialogado modificado poderia ser usado entre as fases do jogo dinâmico. Nesse caso, funcionaria como um exercício do conteúdo daquela fase, permitindo ao professor discutir abertamente com os estudantes cada escolha de jogada sem comprometer o funcionamento do

jogo dinâmico ou mesmo a pontuação. Isto poderia ocorrer pelo menos uma vez, como nós o fizemos sem termos previsto, entre a segunda e a terceira fases.

Ao final de cada aula insistimos que o professor estimule os estudantes a estudarem em grupo ou mesmo individualmente para resolverem as diferentes situações problemas que surgirem no jogo e não apenas os desafios apresentados.

Apesar de não termos atentados a isso nas pré-aplicações do jogo, desde o início da atividade detectamos a necessidade de conhecermos os valores esperados na rolagem dos dados. Essa informação é útil na estruturação das situações a serem abordadas no jogo dialogado modificado. Isso poderia ser facilmente resolvido se os estudantes enviassem pelo WhatsApp os valores e uma justificativa sucinta para o professor. O que só iniciamos de maneira precária na quarta aula do jogo.

Durante a aplicação utilizamos vários recursos na coleta de dados para análise da aplicação. Foram feitas filmagens das aulas, gravações individuais do debate de cada equipe, gravações da tela do computador, o que permitiu recuperar os debates dos estudantes durante as aulas. Numa aplicação normal, sem a presença desses recursos, sugerimos ao professor que utilize a gravação de tela do PC, ou mesmo a captura de tela para posteriores debates, o que favoreceria a postura de professor juiz sem prejuízo à aprendizagem dos estudantes, já que teria a configuração de todas as jogas para análise posterior. Durante o jogo regular o professor juiz não discute o conteúdo e não discute a jogada, daí a importância do JDM para promover essas discussões.

Fizemos uma modificação na maneira de jogar os dados para obter o valor do rendimento. A ideia foi aumentar a dinâmica do jogo, pedindo aos estudantes que jogassem dados apenas para o numerador do rendimento. Tínhamos previsto inicialmente que jogassem os dados para o numerador e para o denominador. No entanto, não havíamos previsto as dificuldades dos estudantes do 3º ano do ensino médio ao trabalharem com frações e contas com valores decimais, o que comprometeu esse ajuste. O que motivou as implementações sobre frações no applet após a aplicação.

6.2.3 Análise do Jogo Dialogado

Conforme descrito na seção 5.2.8, nas duas últimas aulas contamos apenas com a presença de 14 estudantes. Por isso, não foi possível manter a organização das equipes regulares, tendo sido organizadas apenas três equipes. Mantivemos os nomes das equipes: “2110”; “Tropa do Omar” e “Aloprados” apenas como referência, a critério dos alunos.

Observamos durante a análise que as próprias equipes mudaram um pouco os nomes, usando ora 2110 ora 2010 para a mesma equipe, assim como Aloprados ou Alopradas.

Optamos em continuar trabalhando com o JDM. Cada equipe recebia uma folha (Apêndice E do manual do produto educacional) com valores previamente escolhidos e apresentados como questões para serem resolvidas. Depois de respondidas, essas folhas eram recolhidas e comentadas com toda turma.

Cada folha apresentava uma situação com valores para Q_1 , W e Q_2 . Os estudantes tinham que indicar se o carro ligaria ou não, indicar o resultado esperado e quantos dados jogariam para obter o resultado indicado. Era solicitado ainda que os estudantes copiassem as dicas apresentadas pelo APP, interpretassem as dicas e justificassem os resultados esperados. A seguir apresentamos a análise das repostas de cada equipe.

6.2.3.1 Análise das Respostas da equipe 2110

Na primeira atividade proposta, a equipe aplicou corretamente o princípio de conservação da energia que pode ser verificado nos valores sugeridos como Resultado Esperado Figura 55.

Figura 55: Resultados esperados pela equipe 2110 na primeira atividade

Situação		Resultado Esperado	
$Q_1 =$	8 J	$Q_1 =$	8 J
$\delta =$	5 J	$\delta =$	9 J
$Q_2 =$	10 J	$Q_2 =$	4 J

3 dados
1 dados

Fonte: acervo do autor

No entanto, utilizam inadequadamente o termo “força//trabalho” e tivemos dificuldade para interpretar a resposta da equipe (Figura 56).

Figura 56: Justificativa da equipe 2110

Resultado esperado e justificativa:

A fim de conseguir resultados iguais ao primeiro valor dado, jogamos 1 dado para força // trabalho para tentar obter o valor 4 e mais 4 para energia desperdiçada.

Fonte: acervo do autor

Na interpretação da dica final (Figura 57) aparece novamente o termo força ao lado do termo trabalho.

Figura 57: Interpretação da dica – equipe 2110

Interpretação da última dica:
 resultado de força igual a $q' - q''$
 trabalho

Fonte: acervo do autor

Perguntamos à equipe se o nome da grandeza era força, trabalho ou as duas coisas ao mesmo tempo ao nos referirmos a simbologia usada no texto “força // trabalho”.

O estudante A5 disse que “o carro se movimenta porque os gases empurram o pistão. Não é a mesma coisa, mas é quase a mesma coisa”.

Dissemos que precisamos de força para realização de trabalho. As duas grandezas estão relacionadas, mas isto não significa que seja a mesma coisa. A força promove a transferência de energia ou transformação desta, que é o trabalho. Não tínhamos entendido o significado das duas barras paralelas e não nos preocupamos com a simbologia, apenas com o termo que deveriam usar.

Apesar de não estarmos discutindo sobre a 2ª lei da termodinâmica tivemos que perguntar se o trabalho pode ser igual a Q_1 , como observado na interpretação da 1ª dica dada pela equipe (Figura 58).

Figura 58: Interpretação da 1ª dica – equipe 2110

Interpretação da 1ª dica:
 Valor de q' tem de ser superior ou igual ao resultado
 de Q'

Fonte: acervo do autor

Perguntamos se era possível transformar toda a energia do combustível em energia de movimento? Um dos estudantes da equipe (A2) respondeu que pode, desde que Q_2 seja zero.

Dissemos então que iríamos colocar estes valores no APP e verificar o que a Dica nos diz (Figura 59).

Figura 59: Dica do APP para a situação em que Q_1 é igual ao trabalho

Fonte: acervo do autor

Foi aí que atentaram para o erro. O mesmo estudante disse: — Não! Tem sempre desperdício de energia.

Dissemos: — Lembram dos estudos do famoso Carnot?

Demos continuidade mostrando o gabarito com a Dica do APP para os valores numéricos sugeridos pela equipe, Figura 60.

Figura 60: Dica do APP para os valores sugeridos pela equipe 2110

Fonte: acervo do autor

Nesta segunda atividade a equipe apresentou uma melhora significativa na interpretação dos dados que se reflete na organização das respostas apresentadas na Figura 61.

Figura 61: Parte da folha de resposta da equipe 2110 para na segunda atividade

Avaliação e Jogo Dialogado

Nome da equipe: MMCVV - 2030

No lado esquerdo da tabela vocês colocarão os valores do aplicativo e a direita devem ser colocados os valores desejados ao jogar. A equipe pontuará ao avisar, por escrito, sobre uma relação previamente correta. Lembre-se de pedir ao professor as dicas e interpretá-las antes e depois de jogar.

(): Liga ou não liga o carro? Quantos dados jogar para que grandeza?

Situação		Resultado Esperado	
$Q_1 =$	8 J	$Q_1 =$	8 J
$\delta =$	6 J	$\delta =$	6 J
$Q_2 =$	9 J	$Q_2 =$	2 J

J dado

Cópia da 1ª dica:
 Você está sugerindo que ...

Semdo
 $q^2 = 9$
 $q' = 8$

Interpretação da 1ª dica:
 resultado continuamente errado, resultado inicial de q^2 maior que q'

Resultado esperado e justificativa:
 Jogar J dado para q^2 afim de conseguir número 2

Fonte: acervo do autor

Observa-se que já não apareceu o termo “força//trabalho” e a coerência da interpretação da 1ª dica, o que pode significar que ocorreu uma elaboração e entendimento dos nossos comentários.

Jogaram apenas um dado para Q_2 , portanto entenderam a proposta da atividade, já que no primeiro exercício fizeram a proposta de jogar dados para duas grandezas simultaneamente.

6.2.3.2 Análise das respostas da equipe Tropa do Omar

A Figura 62 mostra a folha de respostas da equipe “Tropa do Omar” para a primeira atividade.

Figura 62: Folha de resposta da primeira atividade da equipe “Tropa do Omar”

Tropa do Omar

Avaliação e Jogo Dialogado

Nome da equipe: _____

No lado esquerdo da tabela vocês colocarão os valores do aplicativo e a direita devem ser colocados os valores desejados ao jogar. A equipe pontuará ao avisar, por escrito, sobre uma relação previamente correta. Lembre-se de pedir ao professor as dicas e interpretá-las antes e depois de jogar.

() : Liga ou não liga o carro? Quantos dados jogar para que grandeza?

Situação		Resultado Esperado	
$Q_1 =$	8J	$Q_1 =$	8J
$\delta =$	5J	$\delta =$	5J
$Q_2 =$	10J	$Q_2 =$	3

Cópia da 1ª dica: Você está sugerindo que Q_2 possa ser maior que $Q_1 = 8J$. A situação no planeta já está complicada por causa da grande poluição gerada pelos veículos a combustão. Poderia ser muito pior se a quantidade de energia desperdiçada (Q_2) pudesse ser maior que a recebida (Q_1). A lei de conservação de energia não permite que isso ocorra.

Interpretação da 1ª dica: ~~Você está sugerindo~~

A dica está dizendo que está errado e que Q_2 não pode ser maior que Q_1 .

Resultado esperado e justificativa:

$Q_2 = 3$

porque $3 + 5 =$ igual à 8 .

Fonte: acervo do autor

Observa-se que eles não disseram quantos dados jogariam. Fizeram uma escolha correta para Q_2 (3), o que revela uma interpretação correta para a 1ª lei da termodinâmica. Esqueceram de colocar a unidade apenas no valor de Q_2 e não justificaram explicitamente o porquê da relação matemática $8=3+5$.

Procuramos direcionar a equipe dizendo que deveriam ter justificado o valor 3 pela lei de conservação. Também destacamos a importância da indicação das unidades de medida.

Na sequência inserimos os dados sugeridos no APP, mostramos a dica e ligamos o carro (Figura 63).

Figura 63: Tela do APP com os dados sugeridos pela equipe “Tropa do Omar”

Fonte: acervo do autor

Já na segunda atividade a equipe fez uma melhor escolha para o valor esperado par Q_2 (2J), mas não deixaram explícito na justificativa que o valor satisfaz a relação de energia, nem tampouco indicaram o número de dados que jogariam (Figura 64). Aproveitamos para perguntar quantos dados jogariam. Disseram corretamente que apenas um dado e explicaram a escolha dizendo que desta forma a probabilidade seria maior.

Figura 64: Resultado esperado da equipe “Tropa do Omar” para a segunda atividade

(1): Liga ou não liga o carro? Quantos dados jogar para que grandeza?

Situação		Resultado Esperado	
$Q_1 =$	8J	$Q_1 =$	8J
$\delta =$	6J	$\delta =$	6J
$Q_2 =$	9J	$Q_2 =$	2J

Fonte: acervo do autor

Comentamos novamente sobre a importância das unidades de medida, já que na etapa anterior eles haviam esquecido desse detalhe.

6.2.3.3 Análise das respostas da equipe Aloprados

A Figura 65 mostra a primeira parte da folha de respostas da equipe.

Figura 65: Folha de respostas da equipe “Aloprados”

Avaliação e Jogo Dialogado

Nome da equipe:
 No lado esquerdo da tabela vocês colocarão os valores do aplicativo e a direita devem ser colocados os valores desejados ao jogar. A equipe pontuará ao avisar, por escrito, sobre uma relação previamente correta. Lembre-se de pedir ao professor as dicas e interpretá-las antes e depois de jogar.

(E): Liga ou não liga o carro? Quantos dados jogar para que grandeza?

Situação		Resultado Esperado	
$Q_1 =$	8 J	$Q_1 =$	8
$\delta =$	5 J	$\delta =$	5
$Q_2 =$	10 J	$Q_2 =$	3

Cópia da 1ª dica:
 você está sugerindo que $Q_2 = 10J$ possa ser maior que $Q_1 = 8J$. A situação no planeta já está complicada por causa da grande poluição gerada pelos veículos a combustão. Poderia ser muito pior se a quantidade de energia desperdiçada (Q_2) pudesse ser maior que a recebida (Q_1). A lei de conservação de energia não permite que isso ocorra. Confia nos dados.

Interpretação da 1ª dica:
 A dica interpreta que a lei de conservação de energia não permite que isso ocorra. Confia nos dados, dizendo que Q_1 não pode ser menor que Q_2 .

Resultado esperado e justificativa:
 3 para Q_2 .
 Porque o valor está satisfazendo a primeira lei
 $\delta = Q_1 - Q_2 \quad 5 = 8 - 3$

Fonte: acervo do autor

Observa-se que escolheram adequadamente o valor para Q_2 e justificaram apenas citando a primeira lei da termodinâmica. Também chamamos a atenção para a falta da indicação das unidades de medida.

Perguntamos o porquê de 3 para Q_2 . Disseram o que já estava escrito na folha, cinco e igual a 8 menos 3. Insistimos na pergunta dizendo: — Mas, de onde veio esta relação? Disseram

corretamente que era a conservação da energia. Lembramos que deveria estar escrito na folha, porque é esta a justificativa. Não insistimos no debate já que a equipe Tropa do Omar tinha apresentado o mesmo conjunto de valores e já havíamos discutido.

Na segunda atividade eles lembraram de colocar a unidade de energia no quadro de respostas Figura 66.

Figura 66: Quadro de respostas da equipe Alopados para a atividade 2

(1): Liga ou não liga o carro? Quantos dados jogar para que grandeza?

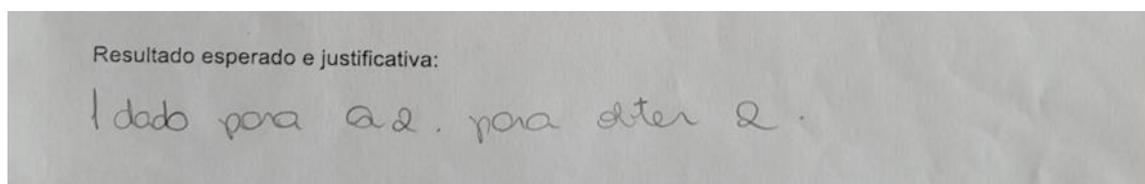
Situação		Resultado Esperado	
$Q_1 =$	8 J	$Q_1 =$	8 J
$\delta =$	6 J	$\delta =$	6 J
$Q_2 =$	9 J	$Q_2 =$	2 J

Fonte: acervo do autor

A interpretação das dicas melhorou, ficando mais bem estruturada. No resultado esperado também disseram corretamente o valor e quantos dados jogariam Figura 67.

No entanto, na justificativa do valor esperado não fizeram referência à 1ª lei da termodinâmica, nem referência a relação numérica dos valores de energia.

Figura 67: Indicação do resultado esperado da equipe Alopados



Fonte: acervo do autor

Não observamos desta equipe muito empenho no preenchimento da segunda folha de respostas, já que no exercício anterior detectamos que eles já indicavam uma boa compreensão do conteúdo.

Como já relatado anteriormente, fizemos algumas modificações no texto da folha de resposta para facilitar a compreensão dos estudantes. A melhora foi perceptível pelo número de perguntas relativas às dúvidas de como preencher a folha. Entretanto mais algumas modificações seriam necessárias. Por exemplo, observamos apenas na análise que havíamos perguntado sobre o número de dados a serem lançados, mas não deixamos espaço para as respostas, o que pode ter sido responsável pela falta dessa indicação por duas equipes.

O jogo principal foi criado para ser manipulado pelo professor, como o fizemos. No entanto, não perdemos de vista a possibilidade de manipulação pelos estudantes. Durante a aplicação, entretanto, não observamos qualquer pedido de manipulação do APP.

Por fim, observamos que as diferentes formas de jogar: jogo dinâmico, jogo dialogado e jogo dialogado modificado devem ser usadas de acordo com as necessidades dos estudantes e o propósito do professor, conforme descrito no manual do produto (Apêndice B).

6.2.4 Análise dos textos produzidos pelas equipes

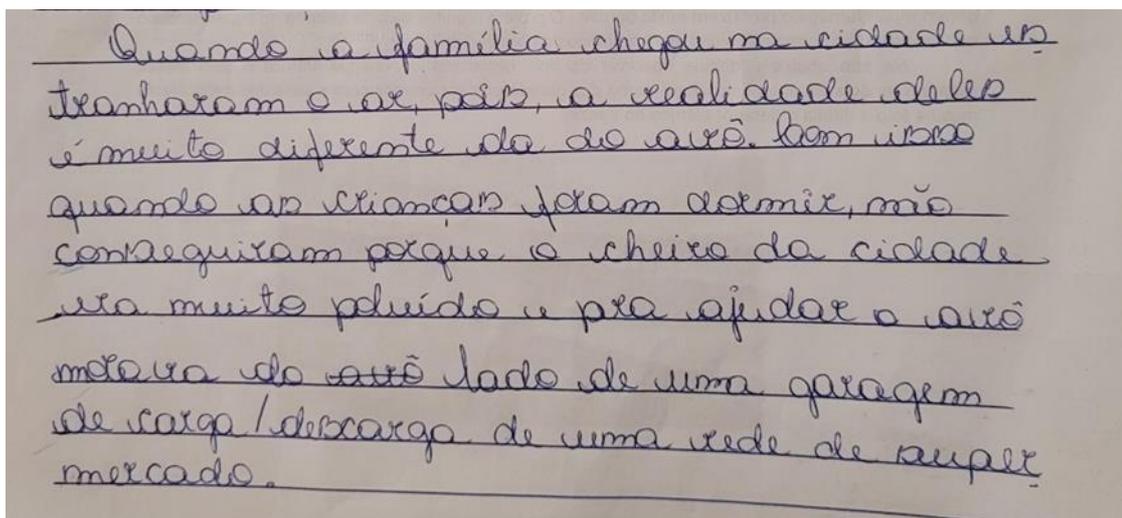
Lembramos, conforme descrito no item 5.2.7 que esta atividade foi realizada antes do término da aplicação do produto, em duas aulas cedidas pela professora de Português. Durante a escrita observamos que, de um modo geral, as equipes se empenharam na produção do texto, apesar de alguma conversa paralela. Apenas uma das se envolveu muito pouco na produção do texto, inclusive fugindo ao tema proposto.

Durante a análise, observamos as equipes se preocuparam apenas em resolver o problema de saúde do avô. Nenhuma equipe se preocupou em tentar resolver os problemas relacionadas ao supermercado, à descarga do gerador, ao trânsito na rua e ao isolamento sonoro, indicados na folha que foi entregue às equipes (Apêndice D do produto educacional). Gostaríamos que os estudantes tivessem percebido possibilidades que poderiam minimizar esses problemas.

Esperávamos também que eles questionassem sobre as pesquisas que visam melhorar o rendimento e diminuir a emissão de poluentes dos veículos, ou que abordassem leis que regulamentam questões ambientais relacionadas ao fluxo de veículos em situações específicas, como o caso da carga e descarga em supermercados. Apesar de o assunto ser amplo, os textos produzidos pelas equipes foram bastantes limitados. Não identificamos qualquer pesquisa durante a produção do texto, também não orientamos que poderiam fazê-las.

A equipe “Tropa do Omar” foi a que fugiu ao tema proposto. Eles apenas repetiram parte da primeira história e misturaram com as orientações da segunda parte, não se posicionando em relação aos problemas a serem resolvidos. O trecho da redação mostrado na Figura 68 ilustra essa situação.

Figura 68: Trecho do texto produzido pela equipe “Tropa do Omar”

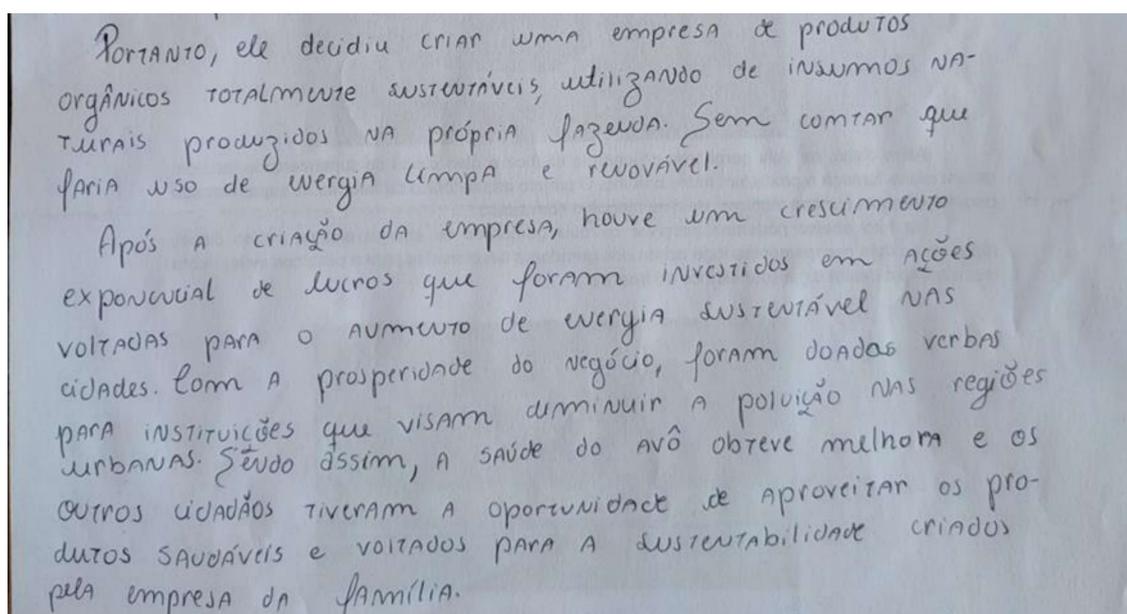


Quando a família chegou na cidade eles
trabalham o ar, pois, a realidade deles
é muito diferente da do avô. Com isso
quando as crianças foram dormir, não
conseguiram porque o cheiro da cidade
era muito poluído e pra ajudar o avô
meteu o avô lado de uma garagem
de carga/descarga de uma rede de super
mercado.

Fonte: acervo do autor

A equipe “Acorda Pedrinho” propôs uma solução para melhorar as condições de vida nas cidades, conforme mostrado na Figura 69.

Figura 69: Trecho do texto produzido pela equipe “Acorda Pedrinho”



Portanto, ele decidiu criar uma empresa de produtos
orgânicos totalmente sustentáveis, utilizando de insumos NA-
TURAIS produzidos NA própria fazenda. Sem contar que
faria uso de energia limpa e renovável.

Após a criação da empresa, houve um crescimento
exponencial de lucros que foram investidos em ações
voltadas para o aumento de energia sustentável NAS
cidades. Com a prosperidade do negócio, foram doadas verbas
para instituições que visam diminuir a poluição nas regiões
urbanas. Sendo assim, a saúde do avô obteve melhora e os
outros cidadãos tiveram a oportunidade de aproveitar os pro-
dutos saudáveis e voltados para a sustentabilidade criados
pela empresa da família.

Fonte: acervo do autor

As outras três equipes (“As Mosqueteiras”, “2010” e “Aloprados”) sugeriram resolver a situação da doença do avô levando-o para a fazenda. A solução apresentada foi muito parecida nos três textos.

O trecho mostrado na Figura 70, da equipe “2110” ilustra essa solução.

Figura 70: Trecho do texto produzido pela equipe “2110”

...se sentisse assustado.
 Vendo o estado do mais velho, decidiram interná-lo para tratar de tal doença e curá-lo. Ao passar do tempo e do tratamento o avô foi se curando, e juntos decidiram que o melhor a se fazer era ele ir morar na fazenda longe de toda poluição e perto da família. Em um domingo ensolarado estavam almoçando e se lembrando dos tempos em que o avô morava na cidade, chegaram a conclusão que morar na cidade tem suas ~~consequências~~ (qualidades) mas nada se compara à simplicidade e a pureza do campo.

Fonte: acervo do autor

Pelo uso do termo “foi se curando” identificamos que os estudantes não assistiram ao vídeo, indicado no material da atividade, que explica tratar-se de uma doença crônica. Alguns estudantes relataram oralmente que não pesquisaram sobre a doença. Por isso, caso o professor disponha de tempo, aconselhamos que passe o vídeo para a turma ou que entregue um texto explicativo sobre a doença.

No texto da equipe “As Mosqueteiras” o avô falece, como pode ser observado na Figura 71.

Figura 71: Trecho do texto produzido pela equipe “As Mosqueteiras”

Após um período de aproximadamente 3 meses, a família se encontrou em luta pela perda do avô e as crianças mesmo com dificuldade conseguiram aceitar a partida do senhor que por longa data fez daquela família uma família feliz.

Fonte: acervo do autor

Pelos textos apresentados, apesar de termos destacado durante o jogo que existem leis referentes ao controle da poluição ambiental, podemos inferir que os estudantes não absorveram ou não atentaram para essas informações no momento de resolver o problema da poluição ou de pelo menos tentar controlá-la.

As falas do “guarda de trânsito consciente”, ao aplicar a multa, procura destacar algumas ações políticas, sociais e legais que não foram citadas. Também poderíamos ter destacado para os alunos a importância da pesquisa na internet antes da produção do texto.

Caso o professor resolva direcionar um pouco mais sobre a resolução dos problemas, pode-se passar alguns vídeos sobre o tema antes de solicitar que os estudantes façam o encerramento da História. Consideramos que faltou embasamento teórico para tal e que houve pouco interesse dos alunos em pesquisar sobre os problemas apresentados.

Havíamos previsto para a aula seguinte a redação um trabalho conjunto com a professora de português, que envolveria a apresentação da história das equipes para os colegas e um debate geral sobre as soluções apresentadas. Porém, o adoecimento do pesquisador, acometimento pela Covid-19, também inviabilizou esta atividade.

Nesse sentido, propomos que em novas aplicações seja dado um tempo de pesquisa antes do início da produção de texto, ou mesmo antes do debate final.

6.2.5 Análise geral do jogo e de sua aplicação

A experiência que temos com jogos em sala de aula somadas às observações de Macedo (2000) e as contribuições de Grandó (2000), nos levou a optar pela criação de um jogo com caráter mais autoinstrutivo, com orientações programadas, dicas, *feedbacks* automáticos, efeitos sonoros e outros recursos do computador. Somente no jogo dialogado as intervenções do professor seriam mais recorrentes. Essa estratégia visava minimizar a intervenção docente no que Grandó (2000 p.44) chama de “jogo pelo jogo”, que “possibilita ao aluno jogar para garantir a compreensão das regras”. É ao jogar que o estudante pode compreender as regras e a dinâmica do jogo.

Além disso, produzimos um jogo que permite trabalhar com os estudantes diferentes aspectos do conteúdo da termodinâmica: tecnológicos, históricos e ambientais. Para tanto, foram agregados diversos recursos que fazem uso do computador, permitindo abordar de forma equilibrada as diferentes dimensões do conteúdo de ensino. Um dos desafios do ensino tradicional é a falta de conexão entre os conteúdos e a vivência dos estudantes, o que pode levar à desmotivação e à dificuldade de aprendizagem.

No ambiente lúdico do jogo criamos momentos que permitem a contextualização da ciência na sociedade, inclusive na perspectiva histórica, como a conversa dos estudantes com Carnot e com as situações do “guarda policial consciente”, em que abordamos de forma aleatória e lúdica a conscientização ambiental. A BNCC destaca a importância desses aspectos na contextualização da ciência.

A contextualização social, histórica e cultural da ciência e da tecnologia é fundamental para que elas sejam compreendidas como empreendimentos humanos e sociais. Na BNCC, portanto, propõe-se também discutir o papel do

conhecimento científico e tecnológico na organização social, nas questões ambientais, na saúde humana e na formação cultural, ou seja, analisar as relações entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente. (Brasil, 2018, p. 549).

Os diferentes aspectos do conteúdo abordado no jogo, somados à metodologia ativa da PBL com o trabalho em equipe dos estudantes, foram pensados para permitir estimular as diferentes inteligências no ato de jogar. Durante o jogo observamos a expressão das diferentes inteligências na distribuição natural das atividades do trabalho em grupo quando, por exemplo, um dos estudantes anotava as respostas, enquanto outro ficava responsável pela rolagem dados, alguns mais introspectivos e menos participativos e outros sendo responsáveis pelo posicionamento da equipe de forma oral. Havia também estudantes responsáveis pelos cálculos, pela organização e pelo controle das atividades.

O jogo Rally da Física, por ser um jogo presencial, em grupo e com o auxílio do computador, privilegia as interações em tempo real e de forma presencial. Mesmo que em alguns momentos possa aparentemente não ter ocorrido uma evolução perceptível no nível cognitivo dos estudantes, como no momento do “travamento” do jogo, detectamos, na análise dos registros em vídeo, que a aprendizagem também se deu por meio de aspectos afetivos, emocionais e comportamentais dos estudantes ao trabalharem em equipe. O que corrobora a percepção de Negrine (1994, p.19) ao indicar que

As contribuições das atividades lúdicas no desenvolvimento integral indicam que elas contribuem poderosamente no desenvolvimento global da criança e que todas as dimensões estão intrinsecamente vinculadas: a inteligência, a afetividade, a motricidade e a sociabilidade são inseparáveis, sendo a afetividade a que constitui a energia necessária para a progressão psíquica, moral, intelectual e motriz da criança. (Negrine, 1994, p.19).

O potencial interdisciplinar do material produzido também pode ser destacado como algo significativo. Tivemos a grata felicidade de conseguirmos trabalhar com pelo menos duas professoras de outras disciplinas: de história e de português. Gostaríamos de ter explorado as reações de combustão com ajuda do professor de química, também seria interessante contar com o apoio do professor de biologia para discutir com os estudantes sobre os efeitos da poluição no meio ambiente e no corpo humano, além de oferecer aos estudantes uma noção global da poluição mundial.

Não acompanhamos a aula de história com os estudantes. Apenas combinamos com a professora que ela abordaria aspectos da revolução industrial e sobre quem foi Carnot. Pelo relato dos estudantes e pelo que observamos da apresentação do trabalho de Carnot o resultado foi satisfatório, os estudantes estavam bastante seguros de seus argumentos. A professora de

português explicou com antecedência os gêneros textuais, falando sobre as narrativas e o papel delas na construção de uma história, que seria necessária na parte final do trabalho. Além disso, ela cedeu aulas para que pudéssemos aplicar algumas atividades, como a própria construção do final da história.

Muitas das dificuldades que tivemos se deve ao fato de a aplicação ter ocorrida no final do primeiro semestre de 2022. Iniciou-se em 31 de maio, num período de provas finais e com previsão de jogos interclasse, além de ser ainda uma época pós-pandemia. Segundo relatos do professor regente da turma, isso produziu situações de baixa frequência de alguns estudantes e a irregularidade na frequência daqueles participaram das atividades. Em vários momentos detectamos estudantes que não haviam assistido à aula anterior. Dos 26 estudantes que frequentavam as aulas de física, tivemos um média de 16 por aula. Eram aproximadamente 10 meninas e 6 meninos. A frequência caiu ainda mais nas proximidades do encerramento do semestre.

Ocorreu também a inclusão de dois novos estudantes que vieram transferidos de outra escola do estado de São Paulo e chegaram quando a aplicação do jogo já havia sido iniciada, o que interferiu na motivação deles no jogo. Observamos apatia e falta de motivação desses estudantes, o que não foi possível contornar.

Havia também aqueles estudantes que chegavam atrasados durante a aula, e outros que faltaram alguma aula, o que dificultava a compreensão da proposta de trabalho e interferia diretamente na motivação para atuar no jogo. Nessas situações, por mais que investíssemos na preparação dos estudantes e na ambientação do jogo, não tínhamos condições para atender a todas as situações que iam surgindo e as consequências foram inevitáveis.

A fim de minimizar prejuízos no andamento do jogo causados pela irregularidade da frequência dos estudantes, procuramos fazer a cada início de aula uma rápida revisão do assunto necessário para o acompanhamento da aula seguinte. Tal atitude pode não ter resolvido completamente o problema, mas acreditamos que possa ter amenizando-o.

Observamos que os estudantes sentiram dificuldade na análise conjunta da relação entre a conservação da energia e a expressão do rendimento. Tal ideia nos ocorreu já que separadamente os estudantes conseguiam ajustar as grandezas, mas tinham dificuldades para relacioná-las em conjunto. Não chegamos a trabalhar com a expressão de Carnot do rendimento máximo. Porém, podemos supor que a dificuldade seria ainda maior, porque teriam que relacionar as grandezas em três expressões conjuntamente: na relação de energia, na expressão do rendimento e no cálculo do rendimento máximo de Carnot.

Segundo Moreira (2006) há um limite de informações que os estudantes podem processar simultaneamente. Por isso, procuramos organizar o conteúdo abordado no APP do jogo em fases, conforme indicado no Quadro 1, nas quais aumentamos gradativamente o número de expressões trabalhadas simultaneamente.

Quadro 1: Conteúdos previstos para cada fase do jogo

Fase	Conteúdo
Primeira fase	Conservação da energia
Segunda fase	Conservação de energia Rendimento
Terceira fase	Conservação de energia Rendimento Rendimento de Carnot

Fonte: autoria própria

As pré-aplicações do jogo ocorreram sempre com um número muito reduzido de estudantes (em torno de quatro). Em todas elas o tempo que os estudantes demoravam para compreender as relações do jogo foi sempre muito pequeno, não exigindo sua divisão por fases. No caso desta aplicação, os estudantes tiveram muita dificuldade para assimilar as regras, exigindo várias adaptações de nossa parte. O conjunto de problemas já relatadas poderia ser usado como justificativa para essa dificuldade, porém, entendemos que não podemos utilizar as pré-aplicações como parâmetro de comparação.

Consideramos que em uma outra proposta de abordagem o jogo poderia ser apresentado como atividade complementar após aulas expositivas. Com isso, todas as fases poderiam ser apresentadas simultaneamente.

Como já relatamos, o fato de não sabermos os valores esperados pelos estudantes ao rolarem os dados e as justificativas dadas por eles para esses valores, nos levou a propor algumas mudanças fundamentais durante a própria aplicação do jogo. Somente durante a aplicação entendemos que a posse dessa informação nos permitiria avaliar o domínio do conteúdo e da estratégia das equipes em tempo real.

Nesse sentido, sugerimos que o professor peça aos estudantes que enviem pelo WhatsApp o valor numérico esperado e uma justificativa sucinta dessa escolha desde o início do jogo, e mantenha esse pedido até que as relações procuradas estejam compreendidas.

Por outro lado, no jogo dialogado modificado criamos critérios de avaliação por equipe ao pedirmos por escrito os valores esperados e as justificativas. A avaliação desse material

mostrou que ocorreu aprendizado do princípio de conservação. Apesar disso, percebemos que os estudantes tiveram alguma dificuldade para preencher a folha de respostas, gastando mais tempo que o previsto, o que comprometeu a avaliação do entendimento do rendimento do motor. Não foi possível avaliar conteúdo relativo a Carnot: contextualização histórica e a expressão do rendimento máximo, tendo em vista que o trabalho foi interrompido logo após a apresentação da equipe sobre Carnot.

Gostaríamos de ter avaliado a evolução nas mudanças de comportamento em grupo dos estudantes na solução dos desafios propostos, entretanto o acometimento do professor pela covid também prejudicou esta etapa.

Por fim, consideramos que a aplicação mostrou o potencial do produto como atividade que estimula o interesse dos estudantes e o aprendizado de conceitos de termodinâmica de uma forma mais significativa. Porém, não conseguimos explorar todos os recursos. Ocorreu apenas uma aparição de Carnot. Nem um décimo das dicas foram visualizadas. De todos os bônus possíveis, apenas o bônus “engenheiro mecânico” foi utilizado e, mesmo assim, de forma parcial. Das três possíveis intervenções do “guarda de trânsito consciente” apenas uma foi utilizada. O produto educacional elaborado para fins deste trabalho, foi pensado para ser aplicado também como um projeto educacional. Esperamos em uma aplicação futura poder fazer uso de todos esses recursos para que possamos ter uma outra avaliação do jogo e de suas potencialidades como recurso educativo.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta dissertação desenvolvemos um produto educacional para trabalhar os conceitos de termodinâmica, utilizando como objeto tecnológico o motor a combustão interna. Para tanto foi criada uma história, intitulada “A Viagem”, que apresentou problemas relacionados às questões ambientais, de forma global e contextualizada, por meio de diversas temáticas, tais como: o funcionamento de um motor combustão, as leis físicas envolvidas, as consequências ambientais e sociais do uso desenfreados dos veículos a combustão, os vínculos históricos relacionados a 2ª lei da termodinâmica, as doenças relacionadas à poluição do ar etc.

Tendo a PBL como referencial teórico-metodológico, a necessária imersão na situação problema foi obtida por meio de uma vivência guiada, que envolveu a apresentação de um vídeo e narrativas do professor. As perguntas dos próprios personagens direcionadas aos estudantes também favorecem a imersão gerando interatividade com os personagens da história e com os problemas apresentados. Tudo isso visou estimular os sentidos e/ou despertar memórias dos estudantes relacionadas à situação problema, que abordou as consequências da poluição urbana causada pelos veículos a combustão. Dessa forma, procuramos provocar os estudantes para que assumissem uma postura de protagonistas na resolução dos problemas ao produzirem o desfecho dessa história, que ocorreu de forma escrita no fechamento do trabalho. Esse desfecho também poderia ter ocorrido de outras formas, como produção de vídeo, teatro, jornal, ou qualquer outro meio de comunicação que os estudantes se sentissem mais à vontade para elaborar.

No momento seguinte à história inicial foi feita a aplicação do jogo Rally da Física, no qual os estudantes adquiriram os fundamentos teóricos necessários para assumirem uma postura ativa na solução dos problemas apresentados na história inicial. Consideramos que a escolha da metodologia da PBL foi satisfatória e que, aliada aos recursos lúdicos do jogo, permitiu que conseguíssemos motivar e gerar engajamento dos estudantes no aprendizado da Física. Apesar das dificuldades relatadas nos capítulos 5 e 6, observamos durante o jogo momentos de cooperação entre os colegas de equipe e o empenho das equipes em superar os desafios apresentados em nível de competição. Esse contexto motivou os estudantes e favoreceu o ambiente de aprendizagem. Esse envolvimento também foi percebido nas pesquisas realizadas pelos estudantes na resolução dos diferentes problemas, fornecendo indícios de uma aprendizagem significativa.

Nossas observações, de maneira geral, não nos permitem inferir sobre a aprendizagem do conteúdo específico, pois não houve tempo para aplicação de nenhum tipo de instrumento

de avaliação mais sistematizado, tendo em vista que o jogo foi aplicado já no final do período letivo. Porém, como já destacado, o envolvimento, a participação, o engajamento e a motivação dos estudantes foram notórios. Percepções estas corroboradas por relatos do professor regente da turma e da psicóloga que acompanhou a atividade de imersão no início da aplicação do trabalho. Os relatos do professor regente da turma foram importantes ao fornecer parâmetros de comparação em relação a comportamentos anteriores da turma, pelo fato de não termos referências anteriores dos estudantes.

Na finalização da história escrita pelos estudantes, mesmo com as ponderações apresentadas na seção 6.2.4, observamos uma postura ativa de tentativa de solução do problema de saúde do avô, sem que isso tivesse sido solicitado. Também percebemos certo protagonismo dos estudantes quando, por exemplo, uma das equipes propôs soluções até mesmo para as questões ambientais, o que pode ser considerado como um indicativo de que os objetivos foram alcançados. Conseguimos envolver os estudantes, motivá-los a pensar e a expor suas ideias, e discutir sobre as questões apresentadas na história inicial.

Já faz alguns anos que temos buscado fazer uso de jogos como metodologias alternativas na nossa prática educacional, inclusive com crianças e na alfabetização matemática de pessoas idosas, em situações de extrema carência. Nesses contextos as velhas práticas tradicionais não fornecem resultados satisfatórios. Portanto, experiências anteriores já haviam permitido constatar que o recurso do jogo e das histórias podem ser promissores em vários contextos educacionais.

Entendemos, ao pensar em educação, que o professor precisa ter oportunidade para ser um pesquisador em sua própria sala de aula ao desenvolver novas metodologias ou até mesmo testar as “velhas” práticas, contando com a contribuição crítica de outros colegas professores e dos próprios estudantes. Foi com grande satisfação que vivemos este contexto durante os anos no mestrado ao elaborar e aplicar o produto educacional desenvolvido para fins deste trabalho.

Os trabalhos em torno da elaboração desta dissertação, que envolveram o embasamento teórico, o desenvolvimento do produto e a busca de condições para sua aplicação, até chegar na escrita deste texto, foram fundamentais em reforçar a importância da necessidade de nossa formação continuada enquanto professor. Os estudos pretéritos sobre jogo, as possibilidades de uso do lúdico em sala de aula, bem como os conhecimentos adquiridos em torno do tema contribuíram com a nossa formação para futuros projetos.

Apesar dos bons resultados alcançados, temos ainda a convicção da necessidade de ampliar os trabalhos de pesquisa no sentido de melhorar ainda mais nossa prática educativa, de modo a contribuir para o desenvolvimento de novas metodologias que tenham o lúdico como

um dos elementos essenciais para se alcançar a aprendizagem, tornando as aulas de física mais voltadas aos interesses dos estudantes, de forma criativa e inovadora, sem perder o objetivo premente de formar o cidadão crítico e engajado nos problemas sociais.

REFERÊNCIAS

- ACEVEDO DÍAZ, José Antonio. Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS). Un enfoque innovador para la enseñanza de las ciencias. **Revista de Educación de la Universidad de Granada**, v. 10, p. 269-275, 1997.
- AIKENHEAD, G. STS Education: A Rose by Any Other Name. In: Cross, R. (Ed.): **A Vision for Science Education**: Responding to the work of Peter J. Fensham, p. 59-75. New York: Routledge Falmer, 2003.
- AIKENHEAD, G. **The integration of STS into Science Education**, Theory into Practice, XXXI, v.1, P. 27-35, 1992.
- AIKENHEAD, G. What is STS Science Teaching? In: SOLOMON, J.; AIKENHEAD, G. (Orgs.). **STS Education** - International perspectives on reform. New York: Ed. Teachers College Press, 1994. p. 47- 59
- AMBROGI, A. et al. **Unidades modulares de química**. São Paulo: Hamburg, 1987.
- AZEVEDO, M. C. P. S. Ensino por investigação: problematizando as atividades em sala de aula. In: CARVALHO, A. M. P. (Org.). **Ensino de Ciências**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004. p. 19-33.
- BARROWS, H. S. A taxonomy of problem-based learning methods. *Medical education*, v. 20, n. 6, p. 481–486, 1986. BARROWS, H. S. **Problem-based learning in medicine and beyond**: A brief overview. *New directions for teaching and learning*, v. 1996, n. 68, p. 3–12, 1996.
- BERBEL, Neusi Aparecida Navas. A problematização e a aprendizagem baseada em problemas: diferentes termos ou diferentes caminhos? **Interface-Comunicação, Saúde, Educação**, v. 2, p. 139-154, 1998.
- BERNARDO, J. R. da R.; SILVA, V. H. D.; VIANNA, D. M. A construção de propostas de ensino em Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS) para abordagem de temas sociocientíficos. In: SANTOS, W. L. P. dos; AULER, D. (Orgs.). **CTS e educação científica**: desafios, tendências e resultados de pesquisas. Brasília: Editora da Universidade de Brasília, 2011. p. 373-393.
- BORGES, M.; CHACHÁ, S.; QUINTANA, S. M.; FREITAS, L. C.; RODRIGUES, M. DE L. Aprendizado baseado em problemas. **Medicina (Ribeirão Preto. Online)**, v. 47, n. 3, p. 301–307, 2014. Disponível em: < <http://www.revistas.usp.br/rmrp/article/view/86619>>. Acesso em: 02 nov. 2017. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2176-7262.v47i3p301-307>
- BORGES, Tiago Silva; ALENCAR, Gidéia. Metodologias ativas na promoção da formação crítica do estudante: o uso das metodologias ativas como recurso didático na formação crítica do estudante do ensino superior. **Cairu em revista**, v. 3, n. 4, p. 119-143, 2014.
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. Base Nacional Comum Curricular (**BNCC**). Brasília: 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>. Acesso em: março de 2020.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Ensino Médio e Tecnológico. **Orientações curriculares para o ensino médio: ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. Brasília: MEC/SEMTEC, 2006.

BRUCE, C.; BORGES, M. L. X. DE A.; CHERMAN, A. **As aventuras científicas de Sherlock Holmes: paradoxo de Einstein e outros mistérios**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2002.

CARSON, R. **Silent Spring**. 40 ed., Boston: Houghton Mifflin, 1962

ECHAVARRIA, M. V. Problem-Based Learning Application In Engineering. **Rev.EIA.Esc.Ing.Antioq** , Envigado, n. 14, p. 85-95, dez. 2010. Disponível em: . Acesso em: 16 jan. 2018

EDENS, Kellah M. Preparing problem solvers for the 21st century through problem-based learning. **College Teaching**, v. 48, n. 2, p. 55-60, 2000.

FELDER, R. M.; BRENT, R. Designing and teaching courses to satisfy the ABET engineering criteria. **Journal of Engineering Education**, v. 92, n. 1, p. 7–25, 2003.

FERRAZ, A. P. DO C. M.; BELHOT, R. V. Taxonomia de Bloom: revisão teórica e apresentação das adequações do instrumento para definição de objetivos instrucionais. **Gest. Prod.**, São Carlos. v17, n. 2, p. 421-431, 2010. Disponível em: . Acesso em: 17 jul. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-530X2010000200015>.

FEYNMAN, Richard P. **Física em seis lições: fundamentos da física explicados por seu mais brilhante professor**. 2001.

GASPAR, Alberto. Física: Ondas, Óptica, Termodinâmica. São Paulo. Editora Ática, 2000.

GRANDO, Regina Célia. O conhecimento matemático e o uso de jogos na sala de aula. **Tese de Doutorado**. Campinas, SP:[sn], p. 239, 2000.

GRAF – Grupo de Reelaboração do Ensino de Física. **Física 2: física térmica; óptica**. São Paulo: EDUSP, 1991.

HUNG, W. The 3C3R Model: A Conceptual Framework for Designing Problems in PBL. **Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning**, v. 1, n. 1, 22 maio 2006.

HUNG, Woei; JONASSEN, David H.; LIU, Rude. Problem-based learning. In: **Handbook of research on educational communications and technology**. Routledge, 2008. p. 485-506.

ÍNDIAS, Maria Amélia C. Curso de Física. Editora McGraw-Hill de Portugal, 1992.

KISHIMOTO, Tizuko M. **Jogo, brinquedo, brincadeira e a educação**. Cortez editora, 2017

KUHN, Thomas S. **A Estrutura das revoluções científicas**. 3ª ed., São Paulo, Perspectiva, 1989.

LUTFI, M. **Cotidiano e educação em química: os aditivos em alimentos como proposta para o ensino de química no segundo grau**. Ijuí: UNIJUÍ, 1988.

MANASSERO-MAS, M.A., VÁZQUEZ, A. Y ACEVEDO, J.A. **Avaluació del temes de ciència, tecnologia i societat**. Palma de Mallorca: Conselleria d'Educació i Cultura, 2002.

MARTINS, Isabel P. Problemas e perspectivas sobre a integração CTS no sistema educativo português. **Revista electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 1, n. 1, p. 28-39, 2002.

MENEZES, Paulo H. D. Tradição e Inovação no Ensino de Física: grupos colaborativos de professores dando estabilidade às mudanças. **Dissertação**. Mestrado em Educação. Faculdade de Educação, UFMG, 2003. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/FAEC-85VQ75/1/1000000491.pdf>. Acesso em maio/2023.

MORAIS, J.U.P.; ARAÚJO, M.S. T. **O Ensino de Física e o Enfoque CTSA: caminhos para uma educação cidadã**. Livraria da Física, São Paulo, 2012.

MOREIRA, Marco Antonio. Aprendizagem Significativa: da visão clássica à visão crítica (Meaningful learning: from the classical to the critical view). In: **Conferência de encerramento do V Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa, Madrid, Espanha, setembro de. sn, 2006**.

NUSSENZVEIG, Herch Moisés. Curso de Física Básica. v.1-2. São Paulo: Edgard Blücher, 1981.

PROJETO DE FÍSICA. Departamento de Física da Universidade de Harvard. s/d.

RAMALHO JR., F.; FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. T. Os Fundamentos da Física. Vol. 2. 9ª ed. São Paulo: Moderna, 2007.

RESNICK, R; HALLIDAY, D. Física. v.2. 3ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 1982.

ROSA, C. W.; ROSA, A. B. Ensino de Física: objetivos e imposições no ensino médio. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 4, p. 18, 2005. Disponível em: Acesso em: 30 mar. 2018.

SALES, Izabela T. Uma proposta de sequência didática de termodinâmica para o ensino médio. **Dissertação**. Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física. Departamento de Física, UFJF, 2017. Disponível em: https://www2.ufjf.br/profis/wp-content/uploads/sites/247/2017/01/DISSERTA%C3%87%C3%83O_IZABELA_SITE.pdf

SANTOS, W. L. P. dos. Contextualização no ensino de ciências por meio de temas CTS em uma perspectiva crítica. In: **Ciência & Ensino**, São Paulo, vol. 1, número especial: “Educação em Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente”, p. 1-12, novembro de 2007.

SANTOS, W. L. P. dos; e MORTIMER, E. F. Concepções de professores sobre contextualização social do ensino de química e ciências. In: **22ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química**, Poços de Caldas - MG, maio, 1999, Livro de Resumos, volume 3, ED – 070, 1999.

SANTOS, W. L. P. dos; MORTIMER, E. F. Abordagem de aspectos sociocientíficos em aulas de ciências: possibilidades e limitações. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 14, n. 2, Porto Alegre, UFRGS, 2009. p. 191-218.

SANTOS, W. L. P. Educação Científica Humanística em Uma Perspectiva Freireana: Resgatando a Função do Ensino de CTS. **Alexandria Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v.1, n.1, p. 109-131, 2008.

SANTOS, Wildson. L. P.; MORTIMER, Eduardo F. Tomada de decisão para ação social responsável no ensino de ciências. **Revista Ciência & Educação**, São Paulo v. 7, n.1, p. 95-112, maio 2001.

SOUZA, S. C. DE; DOURADO, L. **Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP):** um método de aprendizagem inovador para o ensino educativo. **HOLOS**, v. 5, p. 182, 1 out. 2015. ISSN 1807-1600. Disponível em: . Acesso em: 18 dez. 2017. doi:<https://doi.org/10.15628/holos.2015.2880>.

STEVENS, John O. **Tornar-se presente:** experimentos de crescimento em gestalt-terapia. Summus Editorial, 1976.

STRIEDER, Roseline Beatriz. Abordagem CTS e ensino médio: espaços de articulação. 2008. **Tese de Doutorado**. Universidade de São Paulo, 2008.

TATAR, Erdal; OKTAY, Münir. The effectiveness of problem-based learning on teaching the first law of thermodynamics. **Research in Science & Technological Education**, v. 29, n. 3, p. 315-332, 2011.

VILCHES PEÑA, Amparo; GIL PÉREZ, Daniel; PRAIA, João Félix. **De CTS a CTSA:** educação por um futuro sustentável. 2011.

WINNICOTT, Donald Woods. **O brincar e a realidade**. Imago, 1975.

ZABALA, A.; ROSA, E. F. DA F.; FARENZENA, N. **A prática educativa:** como ensinar. Porto Alegre: ARTMED, 2007.

ZABALA, Antoni et al. **11 ideas clave. Cómo aprender y enseñar competencias**. Graó, 2007.

ZIMAN, J. **Teaching and learning about science and society**. Cambridge: Cambridge University Press, 1980.

APÊNDICE A – TEXTOS PRODUZIDOS PELAS EQUIPES

EQUIPE ALOPRADOS

Aloprados

Nome dos participantes da equipe:

(1): _____

(2): _____

(3): _____

(4): _____

(5): _____

A história final

Após retornarem à fazenda a família fica intrigada com o caso do avô. Então decidem trazer o senhor para passar um tempo na área rural, onde não tem poluição do ar, barulhos da cidade e entre outros. O avô que era fumante teve que parar de fumar para não agravar o problema, porém era um vício que ele tinha a bastante tempo, com isso o avô não conseguiu cumprir com o ato de parar de fumar.

Um dia o neto chegou de surpresa no quarto do avô e se deparou com a fumaça do cigarro e ficou se perguntando o que era aquela fumaça, logo foi questionar ao seu pai alegando que tinha visto uma fumaça no quarto do seu avô parecida com a fumaça da cidade, da qual a família havia visitado. O pai ficou injuriado com o rumo da conversa e decidiu ir até o quarto do avô para saber do que se tratava a tal fumaça, e quando chegou viu que o avô tinha voltado a fumar.

O avô teve que voltar para a cidade devido a situação da sua saúde que se agravou, foi internado novamente. Os médicos disseram que o ambiente onde o avô vivia era um risco para sua saúde por conta do alto índice de poluição gerado pelos veículos de combustão, eles auxiliaram ao pai que levasse os avós para morar de vez na fazenda, porque a diferença de viver no campo e na cidade era grande, e podia diminuir os riscos para a saúde do avô, assim resolvendo alguns problemas da história.

EQUIPE ACORDA PEDRINHO

Acorda Pedrinho

Nome dos participantes da equipe:

- (1): _____
 (2): _____
 (3): _____
 (4): _____
 (5): _____

A história final

Após alguns meses desde a volta da família para o campo, o avô decidiu morar com os parentes para cuidar da saúde, já que o ar é mais limpo e o lugar é tranquilizante, diferentemente da área urbana.

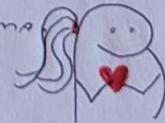
Devido ao ocorrido com o avô, a família percebeu como era prejudicial a questão da poluição nas cidades. Com isso, o pai concluiu que precisava fazer algo a respeito dos problemas ambientais advindos da poluição.

Portanto, ele decidiu criar uma empresa de produtos orgânicos totalmente sustentáveis, utilizando de insumos naturais produzidos na própria fazenda. Sem contar que faria uso de energia limpa e renovável.

Após a criação da empresa, houve um crescimento exponencial de lucros que foram investidos em ações voltadas para o aumento de energia sustentável nas cidades. Com a prosperidade do negócio, foram doadas verbas para instituições que visam diminuir a poluição nas regiões urbanas. Sendo assim, a saúde do avô obteve melhora e os outros cidadãos tiveram a oportunidade de aproveitar os produtos saudáveis e voltados para a sustentabilidade criados pela empresa da família.



Nós amamos Português e Física, por isso merecemos nota máxima.



EQUIPE 2110

UMCVU2110

* Grupo ---> [redacted]

Desfecho // Potero: [redacted]

[...] após a descoberta da doença do avô, a família então decidiu se mudar da cidade para o campo, local onde possivelmente a condição de vida era um pouco melhor, sem a poluição do dia a dia. De um lado, temos o avô desacostumado com o campo e viver no campo, em um lugar sem barulho ou poluição e do outro lado, a família desacostumada com a rotina na cidade com barulhos e poluição excessiva, o caos gerado pela população que pode atingir o meio-ambiente. Durante uma discussão, os pais decidiram que afim de preservar a saúde restante do avô, a melhor opção era manter o mesmo fora da cidade, onde suas crises eram constantes, então chegaram a conclusão de que caso conseguissem alguém para cuidar do avô, seria uma possível solução; então passaram a procurar um cuidador para o avô, uma enfermeira afim de o medicar caso fosse necessário. Os pais então começaram a notar o olhar de preocupação sobre a situação vindo das crianças e então decidiram que o melhor a se fazer era explicar sobre a gravidade da situação de uma forma sincera e acolhedora fazendo com que não dramatizasse tal situação. Após um período de aproximadamente 3 meses, a família se encontrou em luta pela perda do avô e as crianças mesmo com dificuldade conseguiram aceitar a partida do senhor que por longa data fez daquela família uma família feliz.

EQUIPE AS MOSQUETEIRAS

A 3 mosqueteiras

Nome dos participantes da equipe:

- (1): _____
 (2): _____
 (3): _____
 (4): _____
 (5): _____

A história final

Por viver em uma cidade grande onde há uma circulação frenética de automóveis e funcionamento de grandes empresas, acabou ocasionando uma grave doença no avô, causando então uma grande preocupação na família.

Os mais novos, logo ao chegarem na zona urbana já notaram uma grande diferença entre os locais, tanto na aparência quanto nos ares, fazendo com que o menino se sentisse assustado.

Vendo o estado do mais velho, decidiram interná-lo para tratar de tal doença e curá-lo.

Após passar do tempo e do tratamento o avô foi se curando e juntos decidiram que o melhor a se fazer era ele ir morar na fazenda longe de toda poluição e perto da família.

Em um domingo ensolarado estavam almoçando e lembrando dos tempos em que o avô morava na cidade, chegaram a conclusão que morar na cidade tem suas ~~consequências~~ (qualidades) mas nada se compara à simplicidade e a pureza do campo.

EQUIPE TROPA DO OMAR

Tropa do Omar

Nome dos participantes da equipe:

(1): _____

(2): _____

(3): _____

(4): _____

(5): _____

A história final

A poluição da cidade

Uma família que vivia no campo onde o ar era limpo sem poluição, com o ar e ventos matinais que os matos e árvores iam mitiam, onde se escutava o barulho dos animais.

Eles viajam para a cidade para visitar o avô que tá internado com problemas respiratórios e não está bem. O avô pediu por conta dele ser fumante e morar numa cidade com muito poluição do ar.

Quando a família chegou na cidade eles trouxeram o ar, pois, a realidade deles é muito diferente da do avô. Com isso quando as crianças foram dormir, não conseguiram porque o cheiro da cidade era muito poluído e pra ajudar o avô colocou do avô lado de uma garagem de carga / descarga de uma rede de supermercado.

**APÊNDICE B – MANUAL DO PRODUTO EDUCACIONAL:
RALLY DA FÍSICA**

Abílio Bittar

Manual Do Produto Educacional

Rally da Física:
uma abordagem problematizadora e lúdica do ensino de termodinâmica

Juiz de Fora
2024

Abílio Bittar

Rally da Física:
uma abordagem problematizadora e lúdica do ensino de termodinâmica

Este produto educacional é parte integrante da dissertação: Rally da Física: uma abordagem problematizadora e lúdica do ensino de termodinâmica, desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 24 – UFJF / IF Sudeste-MG, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Henrique Dias Menezes

Juiz de Fora
2024

SUMÁRIO

PREFÁCIO	4
INTRODUÇÃO	5
1. PROPOSTA TEÓRICO-METODOLÓGICA	7
1.1 PRINCÍPIOS BÁSICOS DA PBL NO JOGO RALLY DA FÍSICA	7
1.2 O ENFOQUE CTS NO JOGO RALLY DA FÍSICA	11
1.3 AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM.....	12
1.4 DESAFIOS E LIMITAÇÕES DA METODOLOGIA PROPOSTA	13
2. A HISTÓRIA INICIAL	14
2.1 A PREPARAÇÃO DO AMBIENTE	14
2.2 A HISTÓRIA DA VIAGEM	16
3. O JOGO RALLY DA FÍSICA - LIGUE O CARRO!	27
3.1 APRESENTAÇÃO E REGRAS BÁSICAS DO JOGO	27
3.2 AS FASES DO JOGO	31
3.3 CONSIDERAÇÕES E COMENTÁRIOS SOBRE A APLICAÇÃO DO JOGO	50
4. ATIVIDADE FINAL OS ALUNOS COMPLETAM A HISTÓRIA	52
REFERÊNCIAS	55
APÊNDICE A – AVALIAÇÃO DA HISTÓRIA INICIAL	56
APÊNDICE B – RESUMO TERMODINÂMICA	58
APÊNDICE C – TABELAS DE PROBABILIDADE	59
APÊNDICE D – ORIENTAÇÕES PARA PRODUÇÃO DO FINAL DA HISTÓRIA	63
APÊNDICE E – FICHA DE AVALIAÇÃO DO JOGO DIALOGADO	66
APÊNDICE F - MANUAL DO ALUNO	68

PREFÁCIO

Caro colega professor, neste trabalho apresentamos a proposta de uma sequência didática para o ensino dos conteúdos de termodinâmica. A proposta tem o formato de um jogo, denominado Rally da Física. A parte metodológica foi orientada por uma abordagem ativa de ensino que associa a Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL) com o enfoque CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade). A situação problema aborda o uso intensivo do motor a combustão, apesar do seu baixo rendimento e das consequências ambientais que isso traz. Nesse contexto, são apresentados conceitos de termodinâmica distribuídos em três etapas que visam explorar os conhecimentos relativos à física e a fatores históricos, ambientais e sociais, visando promover a formação crítica do estudante, envolvendo-o na solução de problemas por meio de decisões orientadas pela ciência. O jogo busca exercitar o desenvolvimento de valores e a capacidade de tomada de decisão. Apesar de o jogo principal não ser caracterizado como um game, fazemos uso extensivo dos recursos de TICs (Tecnologias de Informação e Comunicação) oferecidos pela plataforma do GeoGebra, utilizada para apresentar diversas situações problemas aos estudantes. Aplicamos esta atividade a uma turma do 3º ano do ensino médio e constatamos os processos dinâmicos de comportamento, provocados pelo jogo, na construção dos conceitos físicos envolvidos. Esperamos que este material possa ser útil para o seu trabalho em sala de aula, ajudando a despertar o interesse e o engajamento dos estudantes no aprendizado da física de forma dinâmica, criativa e crítica, contribuindo para uma formação voltada ao pleno exercício da cidadania.

INTRODUÇÃO

Atualmente ainda é comum deparar-se com práticas pedagógicas expositivas e unilaterais, em que os estudantes assumem a postura passiva de receptores do conhecimento transmitido pelo professor. Diante disso, é perceptível a necessidade de se buscar caminhos para o planejamento de aulas lúdicas, interessantes, prazerosas e interativas, que coloquem o estudante em uma postura ativa, uma vez que a motivação é o elemento propulsor nos processos de ensino e de aprendizagem.

O produto educativo desenvolvido no presente trabalho é uma ferramenta potencialmente lúdica que visa tornar o educando um agente ativo no processo de ensino e aprendizagem. A proposta é embasada na metodologia de Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL), associada às potencialidades do enfoque CTS (ciência, tecnologia e sociedade) na educação em ciência, visando promover a criticidade, o protagonismo e o envolvimento social dos alunos.

Inicialmente sugerimos a apresentação de uma história problematizadora aos estudantes, que incorpora recursos de vídeo, relaxamento e a descrição de uma narrativa para contextualizar o problema da poluição gerada pelos motores a combustão e gerar a imersão em um mundo fictício do enredo da história. A história envolve um contexto em que jovens, que residem no campo, visitam seus avós na cidade e se deparam com um problema inerente à poluição causada por veículos. Nesse contexto os estudantes serão instigados a levantar hipóteses a partir de questões envolvendo os veículos à combustão e as consequências ambientais do seu uso exagerado nos grandes centros urbanos.

Na sequência os estudantes são convidados a participar de um jogo, o Rally da Física, a partir do qual serão construídos os conceitos necessários para o entendimento das situações da história e o embasamento para a resolução do problema central, quando os estudantes serão convidados a criar um final para a história apresentada inicialmente.

O jogo Rally da Física está estruturado em torno do funcionamento básico dos motores a combustão e apresenta desafios pertinentes a uma competição, que devem ser resolvidos utilizando conhecimentos de termodinâmica aplicados a esse tipo de veículo. Ao apresentarmos os conceitos de termodinâmica a partir de um objeto tecnológico, cria-se um contexto de significação das leis e teorias que serão estudadas de maneira a incentivar o interesse dos alunos pelos conteúdos de ensino.

O jogo é orientado por uma abordagem CTS, na qual se discute a questão do uso intensivo do motor a combustão, apesar do seu baixo rendimento e das consequências ambientais que ele traz.

Por fim, na última etapa os estudantes são convidados a propor um final para a história, agora embasados pelos conhecimentos adquiridos no decorrer do jogo.

Acreditamos que a sequência didática proposta possa promover a formação crítica do estudante ao envolvê-lo na solução de problemas sociais, por meio de decisões orientadas pela ciência. O jogo busca exercitar o desenvolvimento de valores e a capacidade de tomada de decisão.

Com isso, pretendemos capacitar o estudante, exercitando-o na pesquisa e no debate para se posicionar diante de problemas sociais, com tomadas de decisões referendadas no conhecimento científico, frente a política de tecnociência referente ao uso dos veículos à combustão.

1. PROPOSTA TEÓRICO-METODOLÓGICA

O produto educacional resultante deste trabalho foi estruturado na metodologia de Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL) associada à potencialidade do enfoque ciência, tecnologia e sociedade (CTS) na educação em ciências e aos aspectos lúdicos inerentes aos jogos educacionais. Nas próximas seções apresentaremos a descrição dos atravessamentos desses referenciais na concepção do jogo Rally da Física.

1.1 PRINCÍPIOS BÁSICOS DA PBL NO JOGO RALLY DA FÍSICA

A aprendizagem baseada em problemas (PBL) busca ativar a motivação dos estudantes ao apresentar problemas a serem solucionados por eles, preferencialmente relacionados a elementos cotidianos, em sua origem, o que a torna uma metodologia centrada no aluno, portanto uma metodologia ativa, diferenciando-se do ensino tradicional (Berbel, 1998; Borges et al., 2014).

Em nossa experiência didática com jogos em sala de aula, observamos os mais diferentes comportamentos dos estudantes ao enfrentarem os desafios apresentados em jogos individuais ou em grupo, tais como: a euforia, o desconforto, a frustração com o fracasso, o prazer e o desprazer de vencer ou perder uma partida etc. No entanto, quase sempre prevalece a motivação e o envolvimento na solução dos desafios propostos.

A resolução de problemas, individual ou em grupo, consiste em um fator motivador, exigindo dos estudantes o desenvolvimento de métodos e critérios para alcançar a solução, o que torna o conhecimento mais significativo e firmemente ancorado em suas estruturas cognitivas (Hung; Jonassen; Liu, 2008; Tatar; Oktay, 2011).

1.1.1 O Trabalho em Grupo Como Pilar da PBL

A metodologia ativa da PBL, na situação de jogo, gera uma intensa relação entre os estudantes na busca pela solução dos problemas apresentados, produzindo convergências e divergências sob a mediação do professor, que deverá interferir o mínimo possível. Durante o jogo apresentaremos situações nas quais os estudantes devem aprender a ser cooperativos, tolerantes, rigorosos etc. (Souza; Dourado, 2015).

Na PBL estimula-se não só a aprendizagem do conteúdo, mas também o desenvolvimento de atributos relativos à formação pessoal e social dos estudantes (Borges et al., 2014; Souza; Dourado, 2015). Para isso, é importante que estes desempenhem diferentes papéis em um grupo, tais como: coordenador, relator, auxiliar etc.

No caso do Rally da Física esses papéis podem assumir terminologias próprias, como: piloto do carro, mecânico, eletricista, médico etc. Cabe ao coordenador da equipe o papel de orientar a discussão, definir objetivos e metas, organizar as falas – evitando, por exemplo, que todos falem ao mesmo tempo – e estimular a participação. Os coordenadores de equipe podem auxiliar o professor no gerenciamento das atividades propostas. Já o relator tem a função de registrar as atividades realizadas pelo grupo, controlar o tempo e organizar os resultados para apresentação final.

1.1.2 Os Papeis do Professor na PBL

É importante que o professor tenha em mente que ao adotar a PBL, como direcionamento metodológico, toda a dinâmica da sala de aula fica modificada. O professor não pode mais se portar como um mestre que se posiciona em frente à classe para explicar sobre um assunto. De modo geral, na condução das atividades, o professor deverá atuar ora como tutor, ora como juiz. Será levado a buscar e a construir o conhecimento junto com os estudantes. Para isso é necessário que haja um período de transição em que ocorra uma abordagem gradativa para a adaptação tanto dos estudantes quanto do professor.

Levando em consideração que a maior parte do processo de aprendizagem ocorrerá durante a resolução dos problemas, o professor deverá alternar entre as posturas de professor juiz e de professor tutor. Na postura de professor juiz ele não poderá oferecer ajuda durante a resolução dos problemas pelas equipes ou grupos, e isso deve ficar claro para todos os estudantes. Uma postura neutra é fundamental para o bom andamento do jogo. O professor juiz deverá oportunizar situações em que a construção do conhecimento se dê pela interação entre os estudantes, organizados em equipes. Ele poderá, por exemplo, motivar a competição estimulando e favorecendo a ludicidade, produzindo um tom de voz apropriado a cada contexto, ou usando outros meios de encenação que favoreçam a imersão do aluno no ambiente do jogo, conforme será demonstrado nos próximos capítulos.

São atribuições do professor juiz:

- Oferecer toda a ambientação do jogo.
- Apresentar de forma clara e objetiva todas as regras e colocar à disposição dos estudantes um texto com as referidas regras.
- Apresentar as questões de forma desafiadora e contextualizadas, favorecendo a ambientação do jogo.

- Fornecer o material necessário para a resolução de cada etapa, permitindo ou não o uso do celular e de outros recursos (livro, vídeo, material experimental, e outros), dependendo da situação.

Já a postura do professor tutor deverá ser assumida caso algum problema fique recorrente em uma situação em que as equipes não consigam avançar no jogo. Como tutor, o professor passa a ser um mediador na relação dos estudantes com o conhecimento adquirido e o conteúdo de ensino necessários à resolução do problema. Ele ajuda na aprendizagem dos conhecimentos, conceitos da disciplina; instiga a competição nos grupos, realça a importância do trabalho em equipe para se obter um resultado satisfatório, favorece e motiva a criatividade na solução dos desafios (Souza; Dourado, 2015).

Caso uma equipe não apresente a solução correta para o problema, o professor tutor deverá se limitar apenas a questionar e a oferecer orientações de estudo, nunca deve oferecer a resposta aos estudantes. Poderá refazer a pergunta novamente de uma forma ligeiramente modificada. Neste momento seu comportamento se aproxima ao do professor juiz.

Há momentos em que a postura de professor tutor se aproxima da postura tradicional do professor, por isso deve-se ter o cuidado de questionar e auxiliar os estudantes, mas sem resolver o problema ou apresentar as soluções para eles.

Em qualquer postura, juiz ou tutor, é importante que o professor mantenha a motivação dos estudantes, estimulando a competição e destacando a cooperação do trabalho em equipe. Deve ficar claro que todos aprendem juntos.

1.1.3 Etapas Estruturantes da PBL Adaptadas ao Jogo Rally da Física

As etapas da PBL foram adaptadas ao jogo Rally da Física, mas mantendo seus princípios norteadores. No jogo existe uma variedade de situações apresentadas na forma de desafios aos estudantes. As diversas situações procuram levar em conta o grau de dificuldade dos desafios, o material necessário à pesquisa e o espaço de trabalho dos estudantes. Essas situações são orientadas pelas etapas estruturantes da PBL, a saber:

- Primeira Etapa: As equipes são apresentadas ao cenário problematizador (Vídeo, material experimental, texto etc.).
- Segunda Etapa: Procede-se o levantamento das hipóteses e o planejamento da investigação.
- Terceira Etapa: Tentativa de resolução do problema utilizando os conhecimentos prévios.

- Quarta Etapa: Consulta ao material disponível para a resolução do desafio específico.
- Quinta Etapa: Apresentação da solução ou das dificuldades encontradas para a resolução do problema.
- Sexta Etapa: Avaliação da atividade.

No Rally da Física a avaliação ocorrerá durante uma etapa denominada “jogo dialogado” e ao final do jogo, de modo a não prejudicar a dinâmica das atividades. Esta deve ocorrer de forma dinâmica, em diferentes momentos do jogo, procurando não prejudicar sua fluidez.

1.1.4 O Desenvolvimento do Cenário Problemático

No Rally da Física são propostos desafios objetivos e direcionados para dar suporte à solução do problema norteador da proposta. Procuramos criar situações problemas com aspectos relativos a motores, defeitos dos veículos e outras situações que podem ocorrer em uma corrida. Assim pretendemos estimular e envolver os alunos na solução dessas situações.

O jogo como um todo se configura como um problema dinâmico de múltiplos aspectos. Entretanto, ao jogarem os estudantes serão apresentados a problemas que podem ser classificados em três grandes grupos:

- a) Problemas de desafios específicos
- b) Problemas da dinâmica de jogo
- c) Problemas históricos

Os Problemas de desafios específicos serão apresentados pelo professor juiz após a tentativa de ligar o veículo, o que ocorrerá mediante um possível sorteio, caso seja direcionado a uma equipe apenas. O professor deverá fazer a leitura do desafio para toda turma de forma clara e objetiva.

Os problemas da dinâmica de jogo estão presentes nos ajustes relativos à primeira e à segunda leis da termodinâmica, rendimento dos motores e estratégias de jogo.

Já os problemas históricos serão abordados por meio das conversas com Carnot e versam sobre aspectos históricos do desenvolvimento dos motores a combustão.

Na proposição dos desafios o professor deverá adotar a postura do professor juiz e não poderá fornecer informações que possam ajudar as equipes a resolverem o problema. Este é um posicionamento difícil para um professor acostumado a responder de forma objetiva aos questionamentos dos estudantes. Sugere-se que sejam dadas orientações genéricas aos estudantes no sentido de ambientá-los à forma de enfrentamento dos desafios, tais como: “O

que nós sabemos sobre o problema?"; "O que precisamos saber?" e "O que nós precisamos fazer?" (EDENS, 2000).

Perguntas específicas sobre a dinâmica do jogo e suas estratégias podem ser usadas apenas no jogo dialogado, tais como:

- Quais números vocês desejam obter nesta rolagem de dados?
- Por que este ou aquele número ocorre mais do que outros?
- Os números que saem mais são os que vocês desejam obter?
- Por que vocês desejam obter este resultado na rolagem dos dados?

A etapa seguinte consiste na formulação das hipóteses baseadas no conhecimento prévio que os estudantes já possuem e que irão orientar a solução do problema.

1.2 O ENFOQUE CTS NO JOGO RALLY DA FÍSICA

O enfoque CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade) busca discutir a evolução tecnológica e científica de forma crítica e suas implicações para minimizar as desigualdades sociais e econômicas. No Rally da Física procuramos fazer uma implementação da abordagem CTS problematizando o motor à combustão interna como um objeto tecnológico, com o objetivo de promover a formação cidadã dos estudantes enquanto seres críticos, engajados em seu contexto social para uma participação na construção de uma sociedade mais igualitária e com menos diferenças sociais.

As questões problematizadoras ou desafios, nas situações de jogo, estimulam os debates em grupo, funcionando como exercício de relações interpessoais com os colegas e contribuindo na elaboração de valores sobre questões éticas. Espera-se por meio dessa interação o surgimento da cooperação, do respeito e da empatia necessária ao jogar.

Como norteadora da situação-problema, a "história da viagem" aborda o tema da poluição gerada pelos veículos a combustão nos grandes centros urbanos e os problemas de saúde advindos desse tipo de poluição. Ao apresentarmos esse tipo de problema estamos visando uma formação humanística na ciência, exercitando a capacidade de enfrentar e resolver questões controversas da nossa sociedade sobre a poluição e as questões ambientais.

1.2.1 Os Problemas Socioambientais Associados ao Jogo

No jogo e a história da viagem apresentam problemas desafiadores sobre diferentes temas permeiam toda a proposta educacional. Listamos a seguir alguns desses problemas e suas justificativas.

O início da história da viagem trata do problema da doença respiratória do avô por viver numa cidade poluída. Os estudantes participam ativamente nas questões interativas que devem responder no contexto da história, com a ludicidade gerada na imersão com a narração do professor e com a apresentação do vídeo, descritos no capítulo 2 deste manual. No fechamento do trabalho, parte final da sequência didática, os estudantes são convidados a propor uma solução para resolver o problema, completando a história inicial.

Outro tema CTS presente no jogo é a “ponte histórica” gerada pelas conversas com Carnot. O diálogo com Carnot permite abordar ludicamente aspectos históricos relativos à termodinâmica, à revolução industrial e à evolução das máquinas térmicas, mostrando aos estudantes uma ciência em construção e as suas intrínsecas relações sociais. De acordo com Santos e Mortimer (2001, p.96) “A ciência não é uma atividade neutra e o seu desenvolvimento está diretamente imbricado com os aspectos sociais, políticos, econômicos, culturais e ambientais” (da sociedade).

Ainda de forma lúdica, durante o Rally da Física há momentos em que o professor assume o papel do “Guarda de Trânsito Consciente” que irá aplicar multas à equipe que estiver gerando muita poluição. Com isso, procuramos destacar as consequências do uso dos veículos a combustão, informar e despertar a atenção dos estudantes sobre questões ambientais, aquecimento global e políticas governamentais.

1.3 AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM

O processo avaliativo foi previsto para ocorrer de forma dinâmica durante todo o jogo, não apenas no final da atividade, quando será realizada uma avaliação de conteúdo de forma grupal e individual. Utilizaremos também o jogo dialogado como ferramenta avaliativa, por permitir avaliar os diferentes conteúdos procedimentais e atitudinais (Zabala, et al.; 2007).

A avaliação deverá permitir determinar a capacidade de aplicação dos conhecimentos adquiridos pelos estudantes em novas situações problemas e deverá ser balizada pelas seguintes questões: Os estudantes são capazes de aplicar os conhecimentos adquiridos em novos desafios? Ocorreu uma integração na estrutura interpretativa do aluno? O aluno transitou do jogar certo para o jogar bem?

Situações de conflito, que normalmente ocorrem devido a intensa interação entre os estudantes, podem expor a conduta afetiva e podem ser utilizadas como recurso avaliativo. Avaliar a conduta e a afetividade dos estudantes pode parecer algo muito complexo devido as posições ideológicas do professor, no entanto, devido a intensa interação entre os alunos e entre

estes e os professores, as situações conflituosas poderão ser utilizadas em observações sistêmicas.

Por fim, é importante que haja a autoavaliação dos estudantes e do próprio professor, em relação ao método de ensino, para possíveis reestruturações em novas aplicações.

1.4 DESAFIOS E LIMITAÇÕES DA METODOLOGIA PROPOSTA

Como qualquer proposta metodológica inovadora e diferenciada do ensino tradicional, consideramos que o Rally da Física também apresenta entraves e desafios que necessitam ser superados para a sua plena execução.

De um modo geral os professores com formação na escola clássica oferecem resistência às mudanças (Menezes, 2003) e ficam inseguros quando precisam adquirir novas habilidades e praticar diferentes posturas em sala de aula. Na PBL é necessário que o professor seja capaz de dar autonomia aos estudantes, isto implica em saber lidar com novas formas de controle, com maior grau de liberdade e autonomia.

Os estudantes também precisam adquirir novas habilidades e uma postura proativa. É possível que no início das atividades eles busquem manter a passividade e a dependência das orientações do professor, exigidas no ensino tradicional. Essa mudança de atitude exige tempo e paciência e não ocorre da noite para o dia. Por isso, é importante que haja um tempo de adaptação em que a proposta vá sendo inserida aos poucos. A problematização e a construção do conhecimento pelo próprio estudante exigem uma ampliação do tempo destinado ao trabalho com o conteúdo, uma reestruturação na carga horária e, sempre que possível, a negociação com outros professores para o desenvolvimento de trabalhos interdisciplinares.

A interatividade proporcionada pelo jogo também pode favorecer a distração dos estudantes, o que deve ser contrabalanceado pela motivação em jogar. A valorização da autonomia também pode trazer insegurança, pois os estudantes podem ficar desconfortáveis sem saber se o conteúdo está correto. Esses e outros desafios vão surgir durante a prática e a superação deles irá depender do preparo do professor e do seu grau de engajamento com a mudança de postura.

2. A HISTÓRIA INICIAL

O professor fará a narração, ao vivo, da história apresentada a seguir, com o suporte de um vídeo (ver links abaixo) que foi elaborado para este fim. O vídeo contém imagens e sons ambientes da fazenda, da cidade e dos veículos durante a viagem de uma família. Estes recursos irão ajudar na narração da história e na estimulação dos sentidos e emoções dos estudantes. Durante a história é abordado o problema respiratório do avô das crianças que possivelmente teria sido causado por ele morar em uma cidade muito poluída. Na última etapa da sequência didática os estudantes serão convidados a escrever o desfecho dessa história, sugerindo uma possível solução ao problema apresentado.

Utilizaremos a formatação da letra em itálico para indicar a narrativa do professor em sala de aula ao contar a história, assim como para indicar a fala dos personagens da história, de forma a diferenciar dos comentários gerais de orientação ao professor sobre a atividade.

Para facilitar a narrativa foi elaborado um vídeo com orientações para uso exclusivo do professor e outro que será apresentado aos estudantes em sala de aula.

- A Viagem (vídeo para orientação do professor): <https://youtu.be/yXX8KZxOYBw>
- A Viagem (para uso em sala de aula): <https://youtu.be/nlLeIzkIfWE>

2.1 A PREPARAÇÃO DO AMBIENTE

A preparação do ambiente é importante para que a atividade surta o efeito desejado. Sugerimos que os estudantes se sintam confortáveis durante a narrativa para facilitar a imersão. Para isso, se possível, o professor deve preparar colchonetes, ou outros dispositivos (no nosso caso utilizamos placas de papelão) para que os estudantes possam se deitar. Se isso não for possível, recomenda-se que os estudantes relaxem nas próprias carteiras. Também é importante cuidar do som e da qualidade da imagem para que sejam agradáveis. O ambiente deve estar parcialmente iluminado. Pode-se fechar cortinas ou persianas, se existirem.

Após a preparação do ambiente o professor deverá fazer uma breve apresentação da proposta. Poderá relatar ou sugerir que os estudantes falem sobre experiências de férias em fazendas, buscando despertar neles memórias do ambiente rural para gerar os primeiros envolvimento com os personagens da história.

A narração deve ser feita de forma integrada com o vídeo. O início do vídeo destaca a natureza da fazenda, os animais, as árvores frutíferas, o ar puro, os sons da natureza e, de maneira geral, a vida na fazenda. Neste momento o professor poderá destacar e descrever características das imagens. Optamos por não utilizar gravações das falas no vídeo de forma a permitir um livre diálogo sobre a história e um melhor controle da vivência guiada.

Durante a exibição do vídeo é importante direcionar a atenção dos estudantes para os aspectos das imagens relativas à história, procurando orientar a visualização ao descrever a imagem, com exceção do pesadelo do menino, que será apresentado mais ao final.

Após destacar as características do ambiente rural, o professor deverá fazer algumas observações referentes à transição da paisagem do “verde” da fazenda para o “concreto” da cidade, destacando a quantidade de indústrias já nas imediações da cidade e o trânsito intenso quando a família adentra a cidade dos avós.

A transição entre a história e a vivência guiada deverá ocorrer de forma gradativa. No início da vivência guiada a fala do professor deve ser direcionada aos estudantes como se eles fossem os personagens da história.

A partir do início da vivência guiada o professor deverá solicitar aos estudantes que se deem em colchonetes (ou apoiem as cabeças em suas carteiras), fiquem confortáveis e que fechem os olhos para relaxar. Para essa imersão os estudantes devem ser orientados previamente a usarem roupas confortáveis e a tirarem os sapatos, se assim preferirem. A voz do professor deve apresentar tom e intensidade mais baixos e falar pausadamente. O professor deve solicitar que os estudantes respirem lenta e profundamente. O relaxamento inicial prepara para a tarefa, mas se relaxarem demais, a tarefa poderá ficar comprometida. Desde o início da atividade a iluminação deverá ser restrita e neste momento o ambiente deve estar o mais escuro possível ou com iluminação suave e indireta.

Editamos os sons da cidade no vídeo para que pudéssemos usá-los para auxiliar na imersão e no isolamento sonoro do restante da escola. A fala do monstro de fumaça (personagem da história) foi incluída no vídeo, após termos feito algumas edições de som na própria voz gravada, para provocar uma sensação de medo e suspense. Esta passagem foi inspirada em uma vivência intitulada: “Quarto Escuro” do livro: “Tornar-se presente: experimentos de crescimento em Gestalt-terapia” (Stevens, 1976, p. 154), que lista um conjunto de atividade de vivências, e que poderá ser consultado caso o professor deseje fazer outras aplicações.

Gostaríamos de destacar que o momento da vivência guiada exigirá do professor cuidados especiais no sincronismo entre a narrativa e a fala do monstro. O personagem do monstro de fumaça visa estimular lembranças relacionadas a situações de incômodo com a poluição e de possíveis situações de dominação pelas quais os estudantes possam ter passado.

Procuramos gerar uma circunstância de impotência perante uma situação problema que pode produzir muito desconforto, visando estimular nos alunos uma postura ativa para que se

tornem protagonistas na história final. Com isso, temos o intuito de despertar a consciência dos estudantes para o problema da poluição e a situação que ele poderá resolver.

Cabe destacar que o professor deverá fazer as devidas adaptações, principalmente na parte da vivência guiada, respeitando o perfil e a faixa etária dos estudantes. Cuidados especiais devem ser tomados mesmo com turmas de idade mais avançadas. Sugere-se, quando possível, o acompanhamento de um profissional da área da psicologia, dependendo da abordagem que o professor desejar imprimir à atividade. Com pequenas modificações o professor, se assim o desejar, poderá transformar a vivência em apenas mais uma parte história.

Após as devidas explicações sobre a atividade o professor dará início a história, conforme as orientações da próxima seção.

2.2 A HISTÓRIA DA VIAGEM

Sugerimos para esta etapa um período de duas horas-aula. O professor inicia a narrativa com as orientações e ambientação.

— *Acredito que todos gostam de histórias. Vou contar uma história que apresenta também uma atividade de relaxamento. Se alguém quiser ir ao banheiro ou sair por outro motivo durante a história é só levantar a mão, por favor não chame em voz alta para não interromper a narrativa. Lembrem de colocar os celulares no silencioso.*

Os estudantes precisam ter liberdade de não participarem da atividade, pois poderá gerar algum tipo de incômodo. A narrativa continua...

— *A história começa com a viagem dos pais e dois filhos, um menino e uma menina, para visitar os avós na cidade grande. Eram sempre os avós que iam visitar os netos na fazenda, mas com a idade avançada tem ficado cada vez mais difícil fazer essa viagem. Desta vez a coisa é séria, pois o avô apresentou dificuldades para respirar e foi até internado no intuito de ser submetido a exames que pudessem fornecer subsídios para o diagnóstico, e a família irá viajar para visitá-lo. Estão sem notícias do avô, pois ficaram sem internet na fazenda nos últimos dias. O que está os deixando ainda mais ansiosos e preocupados. As crianças gostam muito da vida na fazenda e nunca viajam, portanto não conhecem a cidade grande, não conhecem a cidade dos avós. Não viajavam mesmo nas férias pois os primos da cidade grande gostavam de passar as férias na fazenda, já que a mãe das crianças sempre organiza uma colônia de férias, reunindo os primos da cidade grande e os amiguinhos da vizinhança. O que torna o período de férias uma época muito agradável para todos. As famílias se reúnem na fazenda durante as férias escolares. Os pais organizam colônia de férias na fazenda para receber os primos da cidade grande e os amigos das crianças que moram nas imediações da fazenda, procurando conciliar com as festas de encerramento de colheita.*

Neste momento o professor poderá fazer relatos de sua própria vivência em sítios, fazendas, colônias de férias etc. Deve-se buscar despertar nos estudantes memória afetivas que possam ter de vivências no ambiente rural para gerar os primeiros envolvimento com os personagens da própria história.

Durante esta narrativa, no início do vídeo, destaca-se a natureza da fazenda, os animais, as árvores frutíferas, o ar puro, os sons da natureza e a beleza das imagens. Neste momento o professor deve destacar esses elementos e descrever as características das imagens. Pode-se destacar, por exemplo, aspectos da produção de uma fazenda: queijos, leite, frutas e hortaliças. O professor deve buscar envolver os alunos perguntando se alguém vive ou já foi em alguma fazenda. Isso torna a história ainda mais dialógica e facilita a interação com a turma.

Deve-se destacar outros aspectos da vida rural que divertem as crianças, como: pescar no rio, pegar frutas ao subir em árvores e andar a cavalo. Pergunte aos estudantes se eles gostam desse tipo de atividade rural. Durante todo o vídeo procure direcionar a atenção deles para os aspectos das imagens relativos à história, procurando orientar a visualização ao descrever a imagem, com exceção do pesadelo do menino, que ocorre na parte final da história. Procure explorar o vídeo para auxiliar no roteiro da narrativa da história. O professor continua:

— As Crianças estudam na escola da pequena cidade vizinha, mas dessa vez a viagem seria para casa dos avós.

É importante fazer algumas observações sobre as imagens da viagem mostradas no vídeo, principalmente as de transição entre o “verde” da fazenda e o “concreto” da cidade, destacando a quantidade de indústrias já nas imediações da cidade e o trânsito intenso ao entrarem na cidade dos avós.

— Ao se aproximarem da cidade o barulho dos motores fica muito grande, surge o incômodo dos faróis, o trânsito fica muito intenso, a poluição dos veículos e todo desconforto na cidade grande incomoda as crianças, que ficam atordoadas com tamanha agitação e barulho nas proximidades da cidade. As únicas informações que as crianças tinham sobre a vida nas grandes cidades ocorriam pela TV e internet, portanto não tinham ideia de como é a vida nas grandes cidades. O menino já muito incomodado como o cheiro de fumaça pergunta ao pai:

— Pai que cheiro estranho é este? O pai responde:

— É o cheiro da cidade, ela tem este cheiro por causa do escapamento dos veículos, são muitos os carros. E ainda diz com um sorriso irônico:

— *É o cheiro amargo da cidade. E o menino argumenta:*

— *Então pai, a fumaça do carro está entrando pelo meu nariz e pela minha boca?! Tô respirando fumaça?! Credo! Prefiro respirar coco de vaca da fazenda. E faz uma careta de nojo. Todos no carro riem muito do desespero do menino e de sua astúcia.*

Neste momento o professor deve destacar que o menino é muito inteligente e que tem razão. Ele estava muito incomodado com a ideia de a fumaça estar entrando em seu corpo. Aproveite para lembrar que quando sentimos o cheiro de algo estamos ingerindo pequenas partículas ou mesmo vapores da substância.

Algumas falas na narração do professor devem favorecer a imersão no ambiente da cidade e o início da vivência guiada. A transição entre a história e a vivência guiada deverá ocorrer de forma gradativa e sem um limite bem definido. Observe na continuidade da história que no início da vivência guiada a fala do professor fica mais direcionada aos estudantes, como se eles fossem os personagens da história:

— *Vocês podem perceber a agitação na cidade? O movimento intenso dos carros. As pessoas quase que robotizadas no vai e vem intenso, como se tivesse ligadas numa programação automática. São tantos carros que até somos capazes de sentir o cheiro da fumaça. Sintam esse cheiro...*

— *Vocês acabaram de chegar na casa dos avós e já é noite. Pegaram um grande engarrafamento na entrada da cidade, em torno das 18:00 h.*

E continua...

— *Apesar da distância física dos avós os vínculos familiares são grandes e a preocupação com a situação de saúde do avô é de grande interesse de vocês e dos seus pais. Ao chegarem na casa dos avós seguem todos ansiosamente para os aposentos do avô.*

— *Foi uma surpresa para o avô ver vocês, porque não havia sido avisado que estariam indo. Todos ficaram muito felizes com o reencontro e mais tranquilos ao perceberem que o avô, apesar de alguma dificuldade para respirar, estava lúcido, bem e feliz com a visita de vocês. Reunidos em torno da cama do avô procuravam obter informações sobre como foi o período em que ele esteve internado no hospital. O pai contou também sobre a nova criação de peixes na fazenda e a mãe falou sobre os preparativos para a colônia de férias que ocorreria em breve, assuntos que muito interessou às crianças.*

— *Após as confraternizações e um rápido lanche entraram nos quartos para um merecido repouso. Os pais ficaram num quarto silencioso nos fundos da casa e as crianças no quarto de frente, que dava para esta avenida movimentada; um quarto barulhento e muito exposto à fumaça da avenida.*

— *Ao entrarem no quarto as crianças foram direto olhar pela janela todo transtorno da cidade grande e permanecem ali calados alguns minutos, assustados com tamanho tumulto.*

— *Logo após, muito cansados, se deitam para dormir. O quarto está muito escuro e não há nenhum tipo de abajur.*

Até este momento, o professor deve estimular os aspectos cognitivos e intelectuais dos alunos com o auxílio do vídeo e da narração, preparando para a atividade que se seguirá. Daqui para frente o professor pedirá aos alunos que ainda não estiverem deitados para que se deitem (se isso for possível – pode-se usar colchonetes ou outro tipo de apoio para que fiquem confortáveis. Se não for possível se deitar, peça que apoiem a cabeça sobre a carteira e relaxem o máximo possível) e fechem os olhos para relaxar. Os estudantes devem estar usando roupas confortáveis e podem tirar os sapatos se preferirem.

A voz do professor deve apresentar tom e intensidade mais baixos e pausada. Peça aos alunos que respirem lenta e profundamente. O relaxamento inicial prepara para a tarefa, mas se relaxarem demais, a tarefa ficará comprometida. Desde o início da atividade a iluminação deverá ser restrita e neste momento o ambiente deve estar o mais escuro possível ou com iluminação suave e indireta.

As falas a seguir devem ser usadas para um pequeno relaxamento, visando facilitar a imersão na história e na vivência guiada.

— *Prestem atenção na respiração... diga mentalmente para você mesmo, estou respirando... Preste atenção como o corpo se comporta durante a respiração, o peito, as costas e a barriga. Reparem os sons da cidade...*

Editamos os sons da cidade no vídeo para que pudéssemos usá-lo para auxiliar na imersão e no isolamento sonoro do restante da escola. A parte da história apresentada a seguir foi inspirada na vivência intitulada, “Quarto Escuro”, de John O. Stevens.

— *Imaginem os lençóis perfumados, recém lavados e macios com os cuidados da avó. Sintam a cama ... o corpo pesado, cansado da viagem.... Vocês observaram apenas que era um quarto simples e sem muitos objetos de decoração, não deram muita atenção às características do quarto.*

— *Deitados no quarto começam a prestar bastante atenção nos barulhos da cidade e no cheiro de descarga dos veículos...*

Os ruídos mais diversos da cidade são capazes de vibrar o nosso próprio corpo. Tudo vibra: portas, janelas, paredes...

— *Esta agitação agora pertence a vocês. Vocês fazem parte disto...*

Este será o momento de total imersão na cidade, em que o menino se mostra incomodado com o ambiente. O professor continua dizendo...

Você está no quarto, as luzes apagadas, de vez em quando os faróis iluminam o ambiente. Fora isso, o quarto está completamente escuro. E você fica tentando imaginar como é o quarto... Como estão os móveis, as paredes, a posição da cama...

— *Você consegue escutar a conversa das pessoas que passam perto da janela. À medida que relaxa começa a sentir o cheiro forte da fumaça dentro do quarto. Você começa a perceber um vulto negro em movimento. Com dificuldade consegue observar alguns detalhes, parece aumentar. O que você vê?... Como é a coisa?... O que ele está fazendo?...*

— *Assustado você percebe que é um monstro negro e disforme que está invadindo o quarto pela janela. Não satisfeito em ocupar o quarto ele começa a invadir o seu corpo sem o menor constrangimento e sem pedir permissão.*

— *Agora você está sentindo o gosto do monstro, o gosto amargo da cidade entrando por suas narinas e pela boca. De tempos em tempos ele grita, na forma de motores e buzinas. O que você vai fazer? O monstro ocupa todo o quarto. Está tentando ocupar o seu corpo, entrar pela sua pele. Você precisa respirar! Fechar a janela só piorou a coisa, ficou abafado.*

— *O monstro vai te envolvendo num abraço sujo, frio e indiferente. Você tenta cobrir a cabeça com o lençol, não isso resolve.*

— *Respira! Respira!... diz o monstro de fumaça com uma voz rouca e autoritária. Ele está ocupando o quarto e você não consegue se mexer. É como se estivesse preso na cama.*

— *O monstro de fumaça ocupa todo o espaço, está tudo escuro e ele repete:*

— *Respira!... Você agora entende que é desta forma ele pode entrar em você pelo nariz e pela boca. Tenta acordar sua irmã sacudindo-a, mas o sono dela é pesado e isso não resolve.*

— *O desespero é grande! Está difícil respirar... está faltando ar... E ele diz baixinho no seu ouvido:*

— *O seu avô é meu! KKK... Este quarto é meu! A cidade é minha! Você é meu! KKK...*

— *Enfim você entende que você é o intruso! Como você se sente agora com o monstro? Você e ele são uma coisa só. O que você pode conversar com ele? Você pode entendê-lo? Sabe seus motivos e seus objetivos.*

Gostaríamos de destacar que este momento exigirá do professor cuidados especiais no sincronismo entre a narrativa e a fala do monstro. O professor continua:

— *Assustado o menino acorda, ainda sem percebe que foi apenas um sonho, e grita:*

— *Você viu? Você viu? Ele diz à irmã que ainda estava dormindo e acorda assustada.*

De agora em diante, o professor vai voltando gradativamente à narração da história e aos preparativos para o relaxamento final. Continua dizendo:

— *Para não correr o risco de encontrar novamente o monstro de fumaça o menino arrasta a irmã, ainda meio sonolenta, para o quarto dos pais. Agora, mais tranquilo ao perceber que foi apenas um pesadelo, termina vencido pelo cansaço e dorme no aconchego e segurança da cama dos pais.*

Com essa vivência guiada pretendemos estipular lembranças relacionadas a situações de incômodo com a poluição e de possíveis situações de desconformo em relação à poluição pelas quais os estudantes já possam ter passado. Reparem que na narrativa o monstro de fumaça tem o total controle da situação.

A impotência da vivência para apresentação da situação problema, busca produzir desconforto para uma maior imersão no tema. Com isso, espera-se estimular nos alunos uma

postura ativa para que se tornarem protagonistas na história final. Temos o intuito de despertar a consciência dos estudantes para o problema da poluição e a situação que eles poderão resolver.

Cabe destacar que o professor deverá fazer as devidas adaptações, principalmente nesta parte da história, do monstro de fumaça. De acordo com orientações da psicóloga que nos ajudou nessa tarefa, deve-se respeitar a faixa etária dos alunos. Cuidados especiais devem ser tomados mesmo com turmas de idade mais avançada. Se for possível, recomendamos o assessoramento um profissional especializado dependendo da profundidade da abordagem que o professor desejar imprimir à atividade. Com pequenas modificações nesta parte é possível transformar a vivência em apenas uma história de pesadelo, caso o professor deseje.

E o professor continua a narrativa...

— Na manhã seguinte a família se diverte com os relatos do menino sobre o pesadelo durante o café da manhã. O pai explica que foi apenas um pesadelo. E tenta tranquilizar o filho ao dizendo: — Somos nós que alimentamos o monstro da poluição todos os dias ao utilizarmos veículos a combustão. Portanto, imagine que você ajudará se ver livre desse monstro. Para onde você o levaria?

Neste momento, o professor deve dar uma breve pausa na narrativa da história para que os estudantes possam responder por escrito a questão anterior e as questões apresentadas no tópico: “Monstro de fumaça – Avaliação da Imersão”, presentes na lista que deverá ser entregue aos estudantes (Apêndice A). Além da questão anterior (número 4 da lista) os estudantes também devem responder à questão 1, que trata das emoções que sentiram no encontro com o monstro de fumaça durante a imersão. Segundo orientações da psicóloga, este é um momento em que os estudantes poderão expressar possíveis desconfortos, e deverá ocorrer logo após a vivência do monstro, e não ao final da história.

Após responderem as perguntas por escrito, o professor deverá retomar a narrativa da história:

— O dia transcorre repleto de momentos de confraternização familiar e chamegos da avó com as crianças, após o café. Sem restrições médicas e sentindo-se melhor, o avô sai com a família para um passeio de carro pela cidade, a pedido das crianças que estavam muito curiosas sobre a cidade e como é a vida das pessoas num lugar tão diferente. As crianças observam que a cidade durante o dia é um pouco menos assustadora.

— À noite arrumam as coisas para a viagem de volta, que seria na madrugada da manhã seguinte. Porém, isto não ocorreu porque o pai não conseguiu ligar o carro da família. A partir de então, o pai e um vizinho ficaram horas tentando identificar o defeito do carro sem sucesso.

— *O pai tem um bom conhecimento de mecânica, pois fornece manutenção às máquinas da fazenda, o que lhe permite arrumar a maior parte dos defeitos, mas faltavam os aparelhos e as ferramentas apropriadas, dificultando as coisas. Foi neste momento que o menino chegou à garagem.*

Neste momento o personagem do vídeo, o vizinho, convida o menino e os estudantes para a ajudarem no conserto do veículo. Ele se direciona para a câmera, como se estivesse falando com os alunos sobre o defeito:

— *Ao imaginar que você é o menino da história poderá propor um motivo para o defeito e sua justificativa ao pai na tentativa de contribuir para solucionar o problema. Vamos lá! Ao final da história vocês poderão fazer por escrito e desta forma podem mudar o rumo dessa história.*

Neste momento, o vídeo poderá ser pausado para que o professor tenha tempo de inserir o debate. Essa questão corresponde à número 2 das "Questões Interativas" (Apêndice A).

Algumas questões podem ficar para serem respondidas por escrito ao final da história, de forma a minimizar o risco de não conseguir finalizar história por escassez de tempo. O professor pode aproveitar para apresentar outras questões, oralmente, aos estudantes, caso disponha de tempo: Como vocês resolveriam a situação problema do carro enguiçado como pais do menino? Adiaram a viagem? Voltariam de ônibus? Tentarão consertar o veículo? O professor deve procurar promover a interação dos estudantes com a história, deixando-os à vontade para se expressarem.

A narrativa continua...

— *Como a viagem era longa e já haviam perdido muito tempo ao tentar resolver o problema do carro, o avô propôs uma troca de carros. Vocês farão a viagem de volta no carro do avô.*

— *Logo no início da viagem o menino estranhou a falta de barulho do motor e foi na parada para lanchar que percebeu que o carro do avô não tinha cano de descarga.*

— *Intrigado com as diferenças entre os dois veículos, o do pai e do avô, o menino indaga ao pai:*

— *O carro do vovô "tava" ligado na tomada que nem o liquidificador da mamãe. Por que o senhor não coloca o nosso carro na tomada? Ele também não faz barulho e não solta fumaça! Por que o nosso faz barulho e solta fumaça? Como a gasolina empurra o carro? Ela não tem braço e nem mão!*

Neste momento o professor deve convidar os alunos a ajudarem o pai a responder as perguntas do menino:

— *E aí, ajudem o pai a responder as perguntas do filho!*

Propositadamente, no momento da troca dos veículos, foi suprimida a informação explícita de que o carro do avô era elétrico. Indicativos de que se trata de um carro elétrico são fornecidos apenas nas perguntas que o menino fez ao pai durante a viagem de volta. Após o final da história o professor deverá solicitar que os alunos a respondam por escrito a questão 3 (Apêndice B) que trata desse tema.

A narrativa vai se encaminhando para o fim. O professor continua:

— *Parte da viagem ocorreu com o pai tentando explicar como o carro deles funciona e as diferenças entre os dois veículos.*

O professor aqui pode fazer um rápido relato sobre as questões dizendo aos estudantes que este será o assunto abordada nas próximas aulas, durante o jogo Rally da Física. Deve pedir aos estudantes que estiverem sentados para se deitarem novamente para continuarem assistindo ao vídeo. E a narrativa continua:

— *Durante a viagem aos poucos o cheiro melhora, o barulho diminui, as crianças conseguem relaxar e terminam cochilando procurando recuperar o sono perdido da noite mal dormida. Só que agora o menino não sonha mais com monstros de fumaça e sim com os ambientes agradáveis da fazenda. Estão aliviadas por estarem voltando para a tranquilidade da fazenda. O ar puro e os sons agradáveis, agora ainda mais valorizados.*

Se possível, o professor deverá insistir que os alunos se deitem ou fiquem em posições confortáveis, com os olhos abertos para que possam observar as imagens da fazenda ou até mesmo fecharem os olhos ouvirem o som tranquilo da fazenda. Isso ajudará para um relaxamento mais completo.

Com o auxílio do vídeo o professor deve pedir aos alunos para reparar a tranquilidade, o equilíbrio da natureza, para prestarem atenção no canto dos pássaros, nos barulhos da mata, num tom agradável e lento de narração para favorecer o relaxamento. A narração deve ser pausada periodicamente por alguns segundos para facilitar a imersão. A seguir são apresentadas algumas falas que podem ajudar no relaxamento final:

— *Imagine que você está confortavelmente deitado numa rede ou no gramado de um bonito jardim, já na fazenda, corpo relaxado.*

— *Preste atenção nos sons da fazenda... O som tranquilo do canto dos pássaros... Os animais indo e vindo. O vento na mata. O cheiro do mato. Sinta os cheiros da fazenda.*

— *Preste atenção na respiração. O ar entrando e saindo do pulmão.*

— *Diga mentalmente para você, eu estou respirando...*

— *Preste atenção como o corpo se comporta durante a respiração, o peito, as costas e a barriga...*

— *Inspire profundamente o ar puro da fazenda, e expire a fumaça negra da cidade. Imagine o ar limpo e puro da fazenda entrando no seu pulmão e o ar sujo e escuro da fumaça da cidade saindo...*

— *Você vê as impurezas saindo do seu corpo com a fumaça escura.*

— *Permita-se imaginar tomando um banho de cachoeira na fazenda para se livrar da fuligem da cidade...*

— *Deixe os pensamentos virem e irem, não se prenda a eles...*

— *Pense no seu corpo, na posição que ele se encontra. Sinta a textura das partes que ele toca. Os sons da sala...*

— *Sinta a presença dos colegas...*

— *Comece a movimentar o corpo lentamente... movimente as mãos lentamente... movimente os pés, as pernas...*

— *Podem se espreguiçar.*

— *Estamos agora finalizando nossa viagem. Vamos abrir os olhos bem devagar e deixar-se ficar bem confortável.*

De agora em diante o professor volta a linguagem para a contação da história. No entanto mantendo um tom de voz ainda lento, pausado e amigável. Finalizando a história dirá:

— *As crianças acordaram nas imediações da fazenda num ambiente totalmente diferente. Os dois irmãos se entreolham e apenas com o olhar soltam um suspiro de alívio.*

— *Daí em diante as crianças começaram a se interessar por tudo que fosse relacionado às questões ambientais e a participar ativamente das conversas com os pais relativas ao futuro dos avós, o que em outros tempos não davam muita atenção.*

— *O menino nunca mais se esquecerá daquele pesadelo.*

Com essa fala, encerra-se a primeira parte da história. As últimas falas do professor devem estimular os estudantes a relatarem como foi a experiência para eles: *Como estão se sentindo? Como foi a experiência? O que vocês acharam do monstro de fumaça? Foi apenas uma história...*

Lembremos que as situações-problema apresentadas na história não são para serem discutidas neste momento. As discussões ocorrerão posteriormente durante o jogo.

3. O JOGO

RALLY DA FÍSICA - LIGUE O CARRO!

O jogo Rally da Física – Ligue o Carro! visa desenvolver a personalidade integral do estudante, estimular sua criatividade e promover a socialização na resolução de desafios em equipe. O jogo foi desenvolvido na plataforma do GeoGebra¹².

Para facilitar a aplicação do jogo pelo professor em sala de aula, foi elaborado um vídeo tutorial com as orientações básica sobre a dinâmica do APP e as regras do jogo.

Vídeo tutorial do Rally da Física: <https://youtu.be/F48RIRMlaCI>

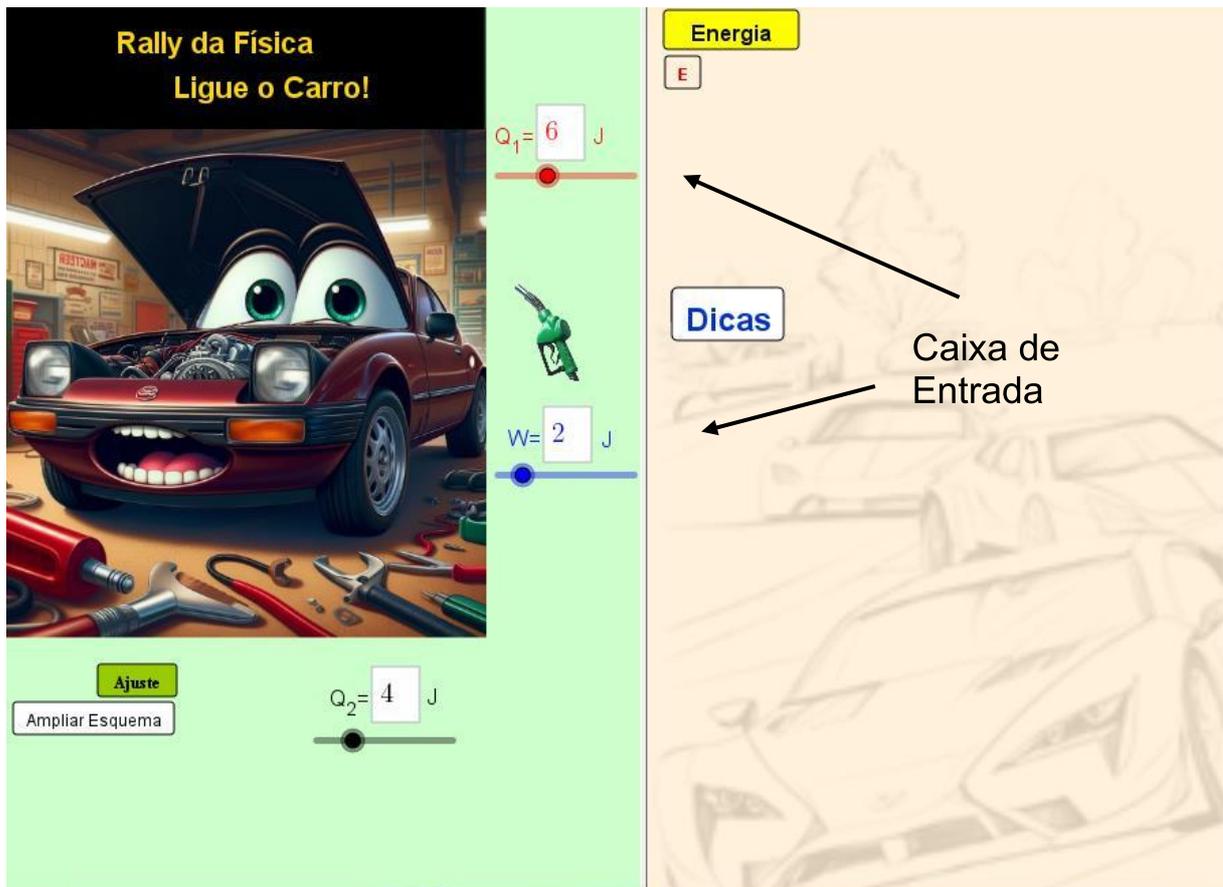
3.1 APRESENTAÇÃO E REGRAS BÁSICAS DO JOGO

O jogo foi construído para ser jogado por equipes, constituídas pelo professor. A meta das equipes é conseguir ligar o veículo, produzir o barulho do motor em funcionamento e pontuar no jogo. Para isso, os estudantes devem ajustar os valores de energia, rendimento, rendimento máximo e a comparação dos rendimentos no APP.

A pontuação estará baseada no valor numérico do trabalho. Os valores das grandezas devem ser obtidos por meio da rolação de dados. São eles: temperatura da fonte quente (T_1), temperatura da fonte fria (T_2), calor que entra na fonte quente (Q_1), calor descartado para a fonte fria (Q_2), trabalho (W), rendimento (η) e rendimento do ciclo de Carnot ($\eta_{\text{máx}}$). Esses valores devem ser usados pelas equipes para ajustar as relações de energia, rendimento e rendimento máximo. A Figura 1 mostra a tela do App, na qual pode-se observar algumas das caixas de entradas desses valores.

¹² Disponível em: <https://www.geogebra.org/m/gyrnmtfc>. Também é possível baixar o arquivo para uso offline no seguinte endereço: https://drive.google.com/file/d/1u4Vk5QfTIZHsqTea_jew4XR2dTczKRjQ/view?usp=sharing

Figura 1: Entrada de valores no jogo



Fonte: Autoria própria

Para jogar os estudantes precisarão construir algumas das expressões abaixo que não serão previamente apresentadas. Portanto, um dos objetivos deste jogo é a construção do conceito de conservação de energia aplicado ao motor (1ª Lei da termodinâmica), sua expressão e as expressões do rendimento e do rendimento máximo (2ª lei da termodinâmica).

$$Q_1 + |Q_2| = W \text{ ou } W = Q_1 - Q_2, \quad \eta = W/Q_1 \text{ e } \eta_{m\acute{a}x} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Observe que no APP utilizamos o valor de Q_2 em módulo.

O jogo também apresenta alguns desafios para os estudantes resolverem. Chamamos de desafios as situações problemas apresentadas após uma das equipes tentar ligar o carro de forma equivocada. Os desafios em sua maioria são mais extensos, com maior ou menor grau de dificuldade, e foram colocados separadamente do jogo principal. A equipe que jogar assertivamente na resolução dos desafios será parabenizada com um bônus.

Procuramos organizar o conteúdo abordado no APP do jogo em fases, conforme indicado no Quadro 1, nas quais aumentamos gradativamente o número de expressões trabalhadas simultaneamente.

Quadro 1: Conteúdos previstos para cada fase do jogo

Fase	Conteúdo
Primeira fase	Conservação da energia
Segunda fase	Conservação de energia Rendimento
Terceira fase	Conservação de energia Rendimento Rendimento de Carnot

Fonte: autoria própria

3.1.1 Adaptações dos desafios

A estrutura o jogo permite retirar desafios ou acrescentar outros, apresentá-los aos estudantes em diferentes sequências ou mesmo modificá-los. O APP foi desenvolvido na plataforma GeoGebra e permite que você utilize os desafios até mesmo como sub-jogos sem o uso do jogo principal. Essa flexibilidade é importante para que se possa fazer as necessárias adaptações do produto às diferentes turmas e ao tempo disponível.

3.1.2 O enfoque CTS e Carnot

O enfoque CTS é trabalhado no transcórre do jogo por meio do problema da poluição gerada pelos veículos a combustão e de questões ambientais que exigirão uma postura ativa dos estudantes ao jogar. Tais questões ficam mais evidentes na quarta fase do jogo ao surgirem problemas específicos que as equipes precisam resolver, por meio de pesquisas relativas às questões ambientais e à parte técnica dos veículos, desencadeadas a partir de multas geradas pelo Guarda de Trânsito Consciente e nas conversas com Carnot.

3.1.3 Gabaritos e feedbacks

Feedbacks e/ou gabaritos são oferecidos pelo APP em diferentes formatos: animações com efeito sonoro do motor e do veículo em funcionamento; “certo” ou “errado” fornecido por imagens de emojis; dicas e cálculos numéricos. Isso poderá ser suficiente como orientação aos estudantes na construção das expressões, facilitando a postura inicial do professor, que deverá favorecer o debate dos estudantes e manter sua imparcialidade. Na figura 2 pode-se observar exemplos de cálculos, emojis e resultados numéricos.

Figura 2: Exemplos de feedbacks

The screenshot shows the 'Rally da Física' app interface. On the left, a car character is in a garage. The main area displays feedback for two categories: 'Energia' (Energy) and 'Rendimento' (Efficiency). The 'Energia' feedback shows a sad face and the text 'W ≠ Q₁ - Q₂', '2 ≠ 7 - 4', and '2 ≠ 3'. The 'Rendimento' feedback shows a sad face and the text 'η_e = 2/5 = 0.4', 'η = W/Q₁', 'η = 2/7', 'η = 0.29', and 'η = 0.29 ≠ η_e = 0.4' with the word 'Incoerência' (Incoherence) in red. A 'Dicas' (Hints) button is visible. On the right, there are settings for 'Rendimento Máximo' (Maximum Efficiency) and 'Comparação' (Comparison). The 'Comparação' feedback shows a happy face and the text 'η = 0.29 < η_{máx} = 1' and 'Ok'. The interface includes various sliders and buttons for adjusting parameters like Q₁, T₁, W, Q₂, and T₂.

Fonte: autoria própria

Os termos “certo” ou “errado” são usados para informar se a relação entre as energias está correta, mas sem informar mostrar relação entre as grandezas envolvidas. O APP pode ser configurado para mostrar os mais variados feedbacks, podendo ser ajustado de acordo com as necessidades do professor nas configurações. Nossa sugestão é que se mostre os cálculos numéricos e as expressões somente após a elaboração das relações pelos estudantes. Essa estrutura metodológica possibilita a construção do conhecimento pelos estudantes.

3.1.4 Dicas e contadores

O jogo possibilita "comprar" dicas com unidades de trabalho (que também são utilizadas para pontuação no jogo). Essas dicas contribuem para construção do conhecimento pelos alunos, já que elas são visualizadas de acordo com os valores presentes no APP, o andamento global do jogo, as fases e os diversos contadores. Os contadores informam, por exemplo, o número de respostas corretas e corretas consecutivas das equipes. A Figura 3 mostra a possibilidade de visualizar ou não a dica no controle do botão. Na figura pode-se observar a “Dica” que trata da falta de gasolina na “fala” do veículo e traz um comentário específico sobre os valores presentes naquele momento do jogo, logo abaixo da fala.

Figura 3: Exemplo de dica

The image shows a game interface for 'Rally da Física'. On the left, there is a physics diagram of a heat engine cycle. It features a central circle representing the working substance, with heat Q_1 entering from a 'Fonte Quente' at temperature T_1 and heat Q_2 leaving to a 'Fonte Fria' at temperature T_2 . Work W is done by the system. The diagram includes sliders for Q_1 (set to 0 J), W (set to 2 J), and Q_2 (set to 4 J). A 'Ligar' button is present. On the right, a game scene shows a Volkswagen van in a desert landscape. A speech bubble from the van says: 'Por favor, me dê um copinho de gasolina aí !!!'. Below the scene, text asks: 'Poderíamos ter $Q_2 = 4J$ e $W = 2J$ nesta situação?'. The interface also includes a 'Dicas' (Hints) section with a reminder: 'Lembre o objetivo do jogo!' and a control panel with buttons for 'Notas', 'Placar', 'Config.', 'Ajuste', 'Cart', 'Des.', 'N.V.', 'Dicas', and 'Apagar'.

Fonte: autoria própria

As dicas foram estruturadas no intuito de gerar debate entre os participantes da equipe sem a pretensão de ser um gabarito e devem respeitar o conhecimento prévio dos estudantes. Estas poderão ser reformuladas após a aplicação do jogo, a partir dos resultados obtidos (podendo ser reconfigurado pelo professor, o que irá exigir pequenos conhecimentos sobre o funcionamento do GeoGebra). As dicas seguem uma linha metodológica que visa a construção do conhecimento pelos estudantes.

3.2 AS FASES DO JOGO

O jogo foi estruturado para ser jogado em cinco fases que acompanham a evolução do conhecimento dos estudantes e também o desenvolvimento das habilidades referentes à compreensão do jogo e de suas regras.

3.2.1 Primeira fase e as regras do jogo

Na 1ª fase serão trabalhadas apenas três grandezas: a quantidade de calor fornecida à máquina (Q_1); a quantidade de calor liberada para a fonte fria (Q_2); e o trabalho realizado pelo sistema (W), os valores dessas grandezas são obtidos por meio da rolagem de dados. Também serão introduzidos alguns bônus: diploma de mecânico, engenheiro mecânico e turbo bônus.

Os bônus são premiações adquiridas pelas equipes e permitem ações específicas que favorecem a equipe no jogo. Por exemplo, o bônus diploma de mecânica permite que a equipe some ou subtraia uma unidade no valor do resultado obtido na rolagem dos dados, o que facilita o ajuste das grandezas ao jogar. Explicaremos como os bônus funcionam no final desta fase.

Os rendimentos só entram no jogo nas 3ª e 4ª fases, o que torna esta primeira etapa mais simples, favorecendo a ambientação dos alunos com o jogo.

O jogo inicia com o sorteio de valores para Q_1 ; Q_2 ; e W realizado pelo professor. Nesta fase recomendamos que se evite valores nulos para estas grandezas. Estes valores serão incluídos na terceira fase do jogo. Também recomendamos não discutir o rendimento de Carnot na 1ª fase do jogo. A Figura 4 mostra a simplicidade da tela do APP nesta fase do jogo.

Caso o professor deseje, poderá utilizar o botão “novos valores” para que o programa gere aleatoriamente o conjunto de valores iniciais.

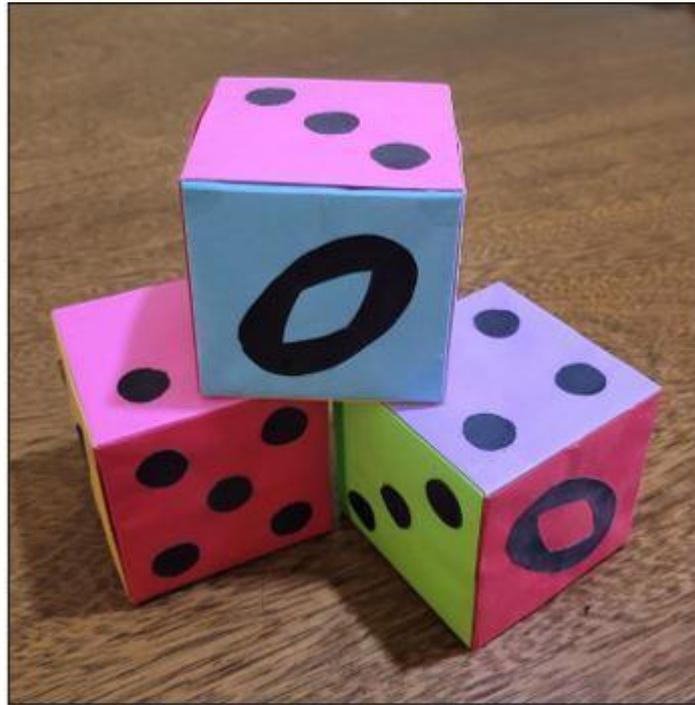
Figura 4: Tela do jogo na 1ª fase com a indicação no botão “novos valores”



Fonte autoria própria

A ordem das equipes jogar pode ser definida por sorteio. A equipe iniciante deverá analisar os valores indicados na tela e escolher uma grandeza (Q_1 , Q_2 ou W) para ajustar. Esta grandeza assumirá o valor obtido na rolagem dos dados. A equipe poderá escolher rolar um, dois ou três dados de seis faces, previamente modificados com a inclusão do zero, conforme ilustrado na Figura 5.

Figura 5: Dados adaptados para o jogo



Fonte: autoria própria

Os dados utilizados foram confeccionados com papel cartão. Assim, o professor pode ajustar o tamanho para uma melhor visualização pelos alunos. No exemplo da Figura 5 utilizamos um cubo com 10 cm de aresta.

O objetivo da 1ª fase do jogo será ajustar a relação entre as grandezas Q_1 , Q_2 e W inicialmente apresentadas no APP. Caso a equipe considere que os valores atendam a relação: $W = Q_1 - Q_2$, esta poderá tentar ligar o veículo e, se estiver correto, sua pontuação será dada pelo valor numérico do trabalho, que irá indicar a “distância” percorrida pela equipe. Outras maneiras de pontuar ocorrerão com os desafios. Se o número obtido ao jogar os dados não oferecer uma interpretação coerente a equipe pode optar por não tentar ligar o carro e passa a vez para a próxima. As equipes podem tentar ligar o carro a qualquer momento quando estiver na sua vez de jogar.

A escolha do número de dados a ser jogado é uma estratégia que exige conhecimento das relações entre as grandezas físicas e de probabilidade. O número de dados que será jogado e o número de resultados possíveis associado a cada conjunto de dados gera uma correlação entre aleatoriedade e estratégia de jogo. Para isso, foi feita uma escolha criteriosa do tipo de dado (número de faces) e da quantidade que será jogada para favorecer ao máximo os dois aspectos.

Geralmente os estudantes apresentam muita dificuldade na interpretação da probabilidade de cada valor numérico, além da interpretação dos possíveis resultados

esperados, fique atento a isso. Talvez sejam necessárias algumas explicações básicas sobre probabilidade.

3.2.1.1 O grito de incoerência

O grito de “incoerência” poderá ser dado por uma equipe adversária quando observar que os valores indicados pela equipe da vez não estão ajustados corretamente, e esta pedir para ligar o carro. Se os valores estiverem ajustados e nenhuma das outras equipes se posicionar, a equipe da vez conseguirá ligar o carro e pontuar, recebendo a pontuação de três vezes o valor do trabalho. Caso não consigam ligar o carro a penalização será da subtração do valor do trabalho. A equipe pode tentar ligar o motor durante sua vez de jogar. Para isso deve avisar em voz alta “ligar!”. A partir deste momento as outras equipes passam a ter a oportunidade de gritar “incoerência” antes de o professor tentar ligar o carro, dizendo “ligando”. Entre as duas falas deve haver um pequeno intervalo de tempo para que as outras equipes tenham a oportunidade do grito de incoerência.

Supondo que os valores não estejam ajustados e uma das equipes tenha gritado incoerência, esta equipe terá a oportunidade de pontuar se indicar onde está a incoerência e o valor correto para conseguir ligar o carro.

O grito de incoerência foi criado para estimular a atenção, a participação e a interação dos estudantes que não estiverem jogando no momento. Isso dará à equipe que gritar incoerência a possibilidade de pontuar fora da sequência de jogada pré-determinada.

A equipe que conseguir acertar com o grito de incoerência será presenteada com o bônus do diploma de mecânico. No caso de grito de incoerência equivocado a penalização será de três vezes o valor do trabalho.

A possibilidade de uma equipe gritar incoerência é uma regra que visa dinamizar e promover maior interatividade e ludicidade ao jogo. Utilizamos o termo genérico “incoerente”, por ainda não podemos nos referir à violação da lei de conservação da energia e da segunda lei da termodinâmica, já que a compreensão dessas leis pelos estudantes é um dos objetivos centrais do jogo.

3.2.1.2 Ajuste dos valores sem rolagem de dados

Após a primeira rodada as equipes poderão tentar ajustar o valor de apenas uma das grandezas (nesta fase) para tentar ligar o carro sem a rolagem de dados. Esta regra visa facilitar o ajuste das grandezas, uma oportunidade de a equipe verificar hipóteses sobre os valores numéricos, já que a falta de bônus no início do jogo somada à dificuldade que poderá existir

pela ausência de conhecimentos sobre a 1ª Lei da Termodinâmica poderá acarretar rolagens de dados sem qualquer consciência sobre os valores desejados e causar a desmotivação dos estudantes.

O número de grandezas manipuláveis (sem rolagem de dados) na tentativa de corrigir o defeito do motor na primeira fase é de apenas uma grandeza, já na terceira fase é de duas grandezas. Isso poderá ser ajustado em função do andamento do jogo e do tempo disponível para jogar, sendo apenas uma sugestão para o professor.

O jogo poderá ser reiniciado caso fique travado após uma rodada completa, regra que deverá ser avisada aos estudantes com antecedência.

A equipe será multada ao produzir apenas desperdício de energia, ou seja, quando o trabalho for nulo ($W=0$). A multa será equivalente ao valor obtido para Q_2 , que será subtraído da distância percorrida pela equipe até então. Esses momentos podem ser utilizados para conscientização sobre questões ambientais.

O jogo foi estruturado para que o primeiro feedback seja fornecido somente quando uma equipe tentar ligar o carro. O professor deve assumir uma postura imparcial (de professor juiz), evitando dar feedbacks. Os feedbacks no APP funcionam na seguinte sequência: primeiro ao tentar ligar carro, com os efeitos sonoros e visuais do carro vermelho da janela de visualização 1; depois com o auxílio dos emojis, caso ainda estejam na etapa de construção dos conceitos; e, por último, com os cálculos numéricos se os conceitos já tiverem sido formulados.

A equipe também poderá “comprar” uma dica no valor de 1 unidade de trabalho, o que oferece também um *feedback* que contribui na construção dos conceitos. Essa compra deve ser solicitada quando for de jogar. Entretanto, isso pode ser flexibilizado. O professor pode, por exemplo, optar por deixar as dicas sempre visíveis, o que vai depender do andamento do jogo.

Na programação, quando uma equipe tenta ligar o carro, ocorre a verificação dos valores e é fornecido um feedback na forma de motor em funcionamento (movimento de vibração do motor do carro vermelho) e arquivos sonoros (barulho do motor), caso os valores estejam corretos. Porém, se Q_1 for zero ou os valores estiverem errados o som será apenas do motor de arranque.

3.2.1.3 Analogia gráfica da quantidade de energia e outras situações

No APP é possível visualizar uma analogia da quantidade de energia com o tamanho da área de gráficos dinâmicos que são apresentados de forma gradativa para auxiliar na elaboração do conceito da conservação de energia aplicada ao motor. Aconselhamos que os estudantes visualizem essas analogias logo no início do jogo.

Situações irônicas podem aparecer nas dicas apresentadas durante todo o jogo e funcionam como elemento de motivação dos estudantes. As recompensas por conquistas (bônus), o aumento gradativo de dificuldades, a pontuação em distância percorrida e o trabalho em equipe na resolução dos problemas também favorecem o engajamento.

O barulho do motor pode ser escutado no aplicativo do GeoGebra versão 5 para desktop. Porém, observamos que alguns aplicativos de videoconferência apresentam filtros que podem prejudicar os efeitos sonoros do arquivo de som em uma aula por videoconferência. Além disso, no GeoGebra online, os arquivos sonoros gravados podem não funcionar em perfeita sincronia com as animações (*delay*).

3.2.1.4 Os diferentes bônus do jogo na 1ª fase

Os bônus foram pensados como recompensas para as equipes que tiverem resolvido algum problema e o seu uso oferece vantagens especiais ao jogar.

Na 1ª fase do jogo poderemos ter os seguintes bônus: diploma de mecânico, engenheiro mecânico e o turbo bônus. Aconselhamos que os bônus sejam inseridos gradativamente.

No Rally da Física os bônus serão convertidos em unidades de trabalho e, conseqüentemente, em distância percorrida na contagem final dos pontos da equipe. A seguir explicaremos o funcionamento dos bônus.

Bônus Diploma de Mecânico (valor 10 pontos)

Caso a equipe consiga “consertar” o defeito do motor da equipe concorrente, na situação de incoerência ou não, irá adquirir o bônus diploma de mecânico que terá as seguintes aplicações:

- Permite somar ou subtrair uma unidade ao resultado dos dados, caso detenha apenas um bônus, 2 unidades, no caso de dois bônus, e assim sucessivamente, sendo sua aplicação acumulativa. Esta atuação ocorrerá nas grandezas: W , Q_1 e Q_2 . Portanto, não atuará no rendimento máximo ou nas temperaturas, que são exclusividades do bônus Carnot.
- Permite que a equipe consulte as dicas sem ônus, caso já tenham adquirido pelo menos um bônus de diploma de mecânico.
- A equipe poderá somar o valor do bônus ao resultado do lançamento do dado para concorrer ao conserto do motor da outra equipe que tentou ligar equivocadamente o motor.

Bônus Engenheiro Mecânico (valor 20 pontos)

Este bônus será adquirido pela equipe que resolver um desafio apresentado pelo professor. A equipe terá um tempo previamente estipulado para executar o “concerto” (resolução do desafio) durante o jogo (em sala) ou para a próxima etapa, à critério do professor, quando o grau de dificuldade do desafio envolver a necessidade de pesquisas. Esse bônus permitirá as seguintes aplicações:

- Permite somar duas unidades ao valor do resultado dos dados.
- Os desafios podem ser apresentados a apenas uma das equipes, ou a todas elas. Neste caso a ordem de resposta será determinada pela rolagem de dados.
- A equipe detentora deste bônus poderá negociar o valor do concerto com outras equipes ao ser requisitada para “consertar” o carro (resolver a situação desafio). Caso a equipe requisitada para o serviço não consiga resolver o problema a penalização será dividida por 2. Caso a solução seja assertiva as duas equipes serão pontuadas. O valor a ser “pago” pelo “serviço de mecânico” (dica) à equipe detentora do bônus será em unidades de trabalho a serem negociadas entre as equipes.

O bônus Engenheiro Mecânico foi criado para motivar o trabalho conjunto das equipes, já que as duas equipes (a detentora do bônus e a requisitante do “serviço”) podem ser beneficiadas. Dessa forma, procuramos valorizar a atitude cooperativa entre as equipes, mesmo em um jogo competitivo. Este bônus favorece os debates entre as equipes ao formar grupos maiores e facilita trocas de informações entre elas.

Caso o desafio não seja resolvido, este será reapresentado e sua pontuação e penalização serão duplicados. Esse critério visa motivar o estudo e a pesquisa das equipes fora espaço escolar.

Turbo bônus (valor 10 pontos)

As equipes poderão adquirir um turbo bônus compressor para ser instalado no veículo pelo valor de 10 unidades de trabalho. Mas, para isso, é necessário explicar como o turbo compressor funciona.

Para a aquisição do turbo bônus, a equipe deverá fazer uma pesquisa sobre o funcionamento de um turbo compressor. O resultado da pesquisa deverá ser apresentado para a turma com defesa de argumentos e estará sujeita a uma votação simbólica, já que a participação

dos votantes na corrida poderá influenciar no voto. Será utilizada uma ficha preta para representar a posse do "turbo bônus".

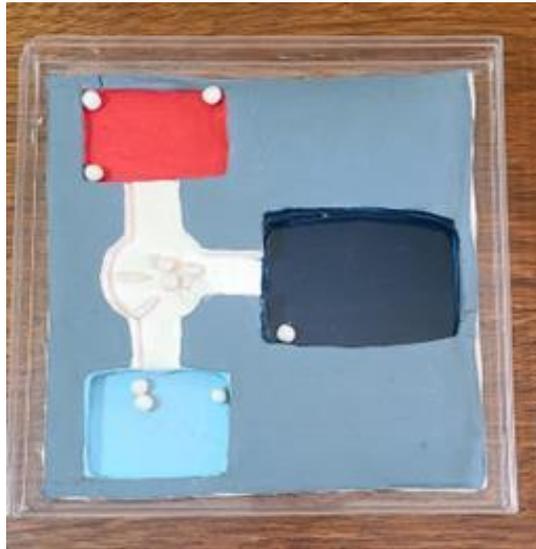
A equipe deverá tentar prever como este bônus funcionará no jogo. Para tanto, o professor poderá orientar com a seguinte pergunta: Este bônus permitirá aproveitar que tipo de energia? Portanto, não será relatado aos participantes que este bônus permitirá transferir uma unidade de Q_2 para Q_1 , baseada na ideia de reaproveitamento de energia de um turbo compressor. Os estudantes terão direito a duas tentativas para explicar o tipo de transferência que o turbo bônus permitirá. Isso exigirá pesquisa sobre como funciona o turbo. Caso não consigam explicar, a penalização será do valor gasto na compra do bônus, ou seja, perderão as 10 unidades gastas.

O professor poderá orientar a pesquisa disponibilizando materiais como, por exemplo, o vídeo disponível neste link, que explica como funciona um turbocompressor: <https://www.youtube.com/watch?v=9PxxSjRuY00>

3.2.2 Segunda fase do jogo

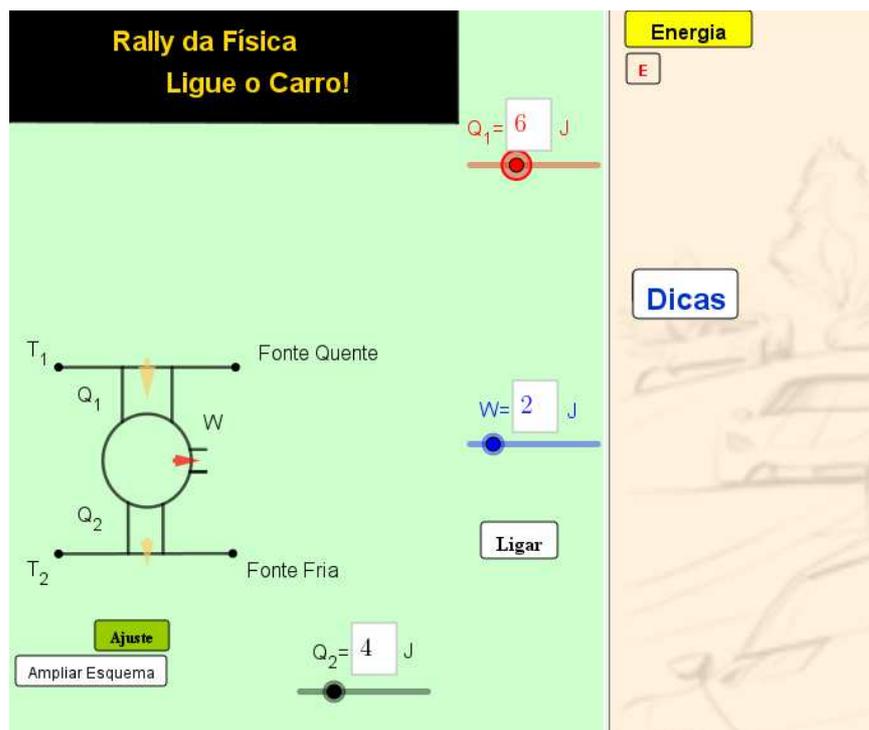
Na segunda fase do jogo, o professor poderá solicitar aos estudantes a construção de um esquema que relacione a temperatura da fonte quente (T_1), a temperatura da fonte fria (T_2), a quantidade de calor recebido (Q_1), a quantidade de calor liberado para a fonte fria (Q_2) e o trabalho (W). O ideal é que os próprios estudantes estabeleçam estas relações, mas, dependendo do tempo, o professor poderá optar por disponibilizar o resumo de termodinâmica presente no Apêndice B.

Utilizando materiais de baixo custo (caixas e bolinhas), o professor poderá montar um tabuleiro físico (Figura 6) para ilustrar situações possíveis. O modelo da Figura 6 foi construído com massa de biscoito.

Figura 6: Modelo de tabuleiro físico

Fonte: autoria própria

Após o debate em grupo das propostas e a construção de um esquema único, a partir das sugestões dos estudantes, o professor poderá apresentar o esquema (padrão) de uma máquina térmica aceite cientificamente. Sugerimos que somente a partir deste momento o professor passe a utilizar o esquema ilustrativo do APP (Figura 7). Consideramos que neste momento os estudantes já tenham construído uma noção do princípio da conservação da energia. Esse debate poderá ocorrer na segunda aula do jogo.

Figura 7: Esquema da máquina térmica apresentado no APP

Fonte: autoria própria

3.2.3 Terceira fase do jogo

A terceira fase do jogo começa com o sorteio de todos os valores, como ocorrido na primeira fase. Nesta fase, o professor poderá escolher estrategicamente alguns valores importantes para as grandezas que apresentam baixa probabilidade de ocorrência na rolagem dos dados, como, por exemplo, valores nulos para Q_1 ; Q_2 ou W , ou ainda utilizar o botão “Novos Valores” para realizar um sorteio automático de forma aleatória.

Nesta fase, além dos valores de Q_1 , Q_2 e W , será acrescido o rendimento (η), ainda com a possibilidade de aceitarmos o rendimento de 100% para ligar o motor.

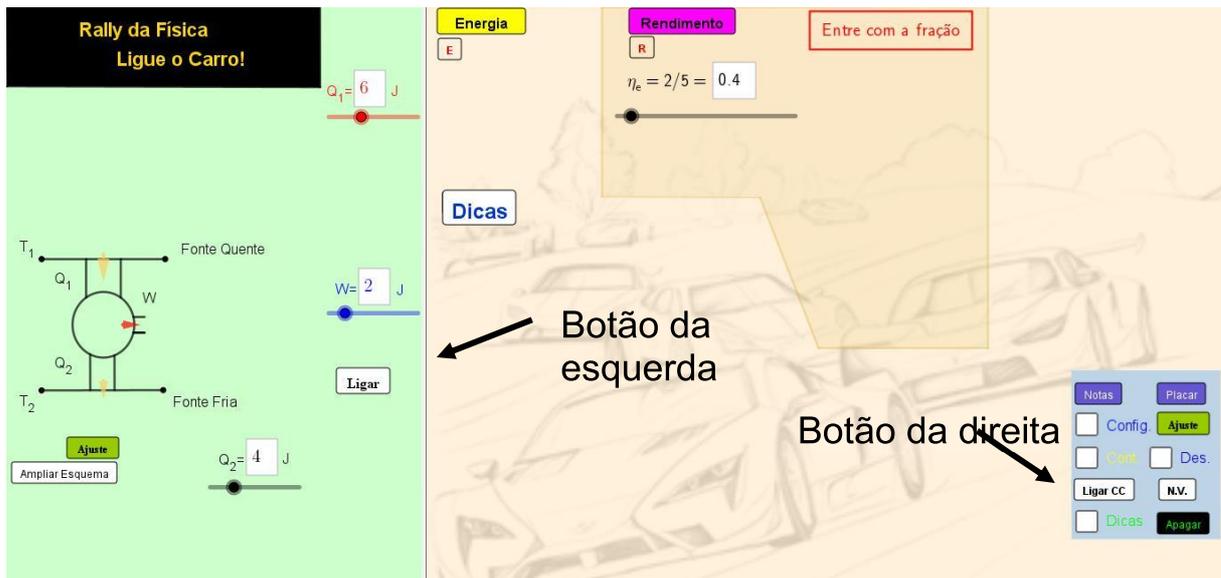
Serão mantidos os bônus das fases anteriores (diploma de mecânico, turbo bônus e engenheiro mecânico) e a será introduzido o bônus octanagem, que será discutido no final da apresentação desta fase, seguindo a ideia de acrescentar os bônus no jogo de forma gradativa

Uma pontuação menor poderá ocorrer nos ajustes parciais de energia ou de rendimento, quando utilizaremos emojis para fornecer um feedback parcial no APP, sem tentar ligar o carro, já que o ajuste completo não ocorreu. A equipe que fizer um ajuste assertivo terá direito de jogar novamente.

A maior pontuação será atribuída à equipe que ajustar simultaneamente as duas relações (de energia e de rendimento) e será calculada a partir do valor do trabalho elevado ao número de relações ajustadas, que no caso desta fase corresponde a W^2 . Este valor de pontuação procura valorizar as tentativas de ajuste de todas as relações simultaneamente.

Até esta fase, ainda utilizaremos o carro vermelho na “janela de visualização” do APP, com os controles do lado esquerdo. De acordo com a programação só passaremos a utilizar o botão da direita no APP quando iniciarmos o debate sobre o rendimento de Carnot na quarta fase. Esta diferença ocorre porque a programação do botão da direita (“Ligar CC”) respeita o rendimento máximo de Carnot. A Figura 8 mostra a posição desses dois botões.

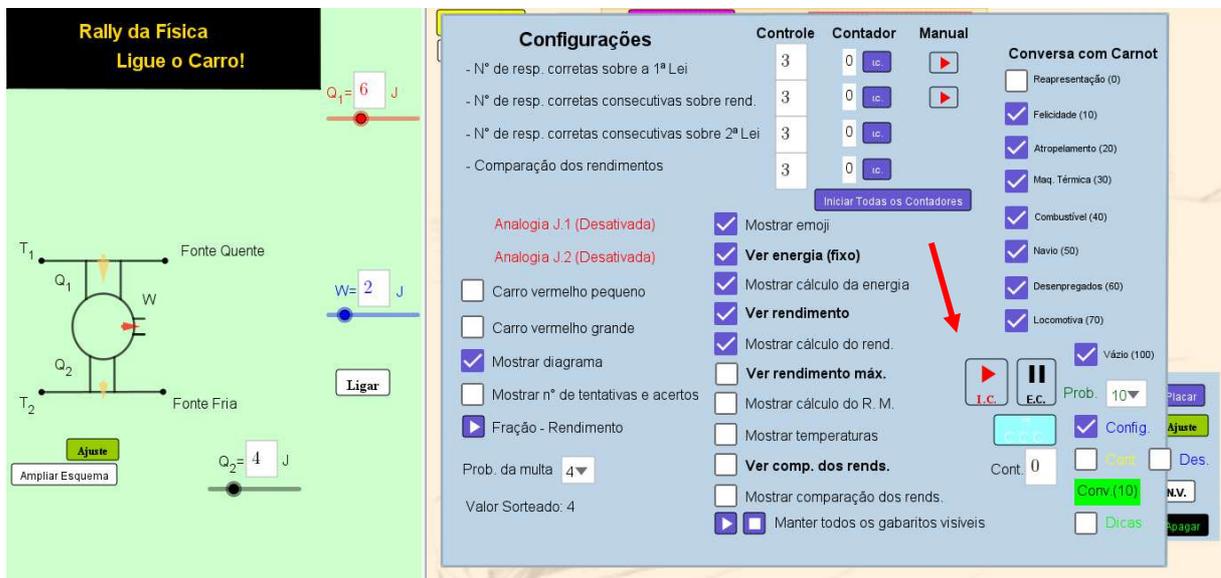
Figura 8: Ilustração dos botões para ligar o carro



Fonte: autoria própria

O final desta fase deve estar configurado para ocorrer a apresentação de Carnot. O disparo que libera a entrada de Carnot e controlada pelo botão (I.C.) em destaque na figura 9.

Figura 9: Ajuste do temporizador para entrada de Carnot



Fonte: autoria Própria

O Bônus Octanagem

Nesta fase as equipes terão a oportunidade de comprar o “bônus octanagem” no valor de 10 unidades de trabalho. Este bônus pode ser utilizado para produzir um combustível de melhor qualidade, aumentando a octanagem, desde que a equipe saiba explicar o que é a

octanagem do combustível e o porquê de sua importância no funcionamento do motor. Para isso, terão que fazer pesquisas sobre o tema¹³.

O resultado da pesquisa da equipe que estiver fazendo a compra do bônus deverá ser apresentado para o restante da turma com defesa de argumentos e estará sujeita a votação simbólica, já que a participação na corrida dos votantes pode influenciar no voto. Será utilizada uma ficha ilustrativa amarela para representar a posse do "bônus octanagem". Terão a chance de comprar este bônus as equipes que tiverem no mínimo 10 pontos de trabalho.

O intuito deste bônus é fazer com que os estudantes se envolvam em estudos sobre a qualidade do combustível e suas consequências para o meio ambiente. A equipe detentora do bônus octanagem poderá transferir uma ou duas unidades de Q_2 para o W após a rolagem dos dados.

3.2.4 Quarta fase do jogo: Carnot e o rendimento máximo

A apresentação dos estudantes sobre quem foi Carnot determinará a transição entre as fases 3 e 4 do jogo. Orientamos que o aparecimento de Carnot no APP ocorra no final da aula da terceira fase para que os estudantes tenham tempo para pesquisar e apresentarem os resultados de suas pesquisas no início da próxima aula, antes do reinício do jogo.

A partir desta fase, o professor deverá fazer o uso do botão de ligar o carro da janela de visualização 2 (ver Figura 8), pelo fato de este estar programado para considerar os valores de rendimento máximo estabelecido por Carnot. As equipes também passam a ter a possibilidade de adquirir os bônus Carnot e o bônus Rendimento, que serão apresentados ao final desta seção.

Ao acionar o botão (Ligar CC) da “Janela de Visualização 2”, poderá ocorrer três situações, representadas pelas seguintes animações:

- a) Carro chegando na cidade (carro liga normalmente e chega à cidade).
- b) Carro produzindo muita fumaça (carro liga, mas produz muita fumaça).
- c) Carro com defeito (carro não liga).

Serão utilizados os mesmos três dados para determinação do rendimento e do rendimento de Carnot, o que poderá gerar resultados indesejáveis (incoerentes). Faz parte da estratégia do jogo a escolha do número de dados a serem lançados. Caso resolva simplificar a rolagem de dados para os rendimentos poderá rolar o conjunto de dados e dividir o resultado por 10. Neste caso, poderiam surgir os seguintes resultados indesejáveis, como: 10,11, 12,

¹³ O vídeo indicado no link a seguir apresenta uma explicação sobre a octanagem do combustível no funcionamento do motor: https://www.youtube.com/watch?v=i96pY_hzu-k

13, 14 e 15, que seriam lidos como: 1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4 e 1,5. Portanto, faz parte da estratégia do jogo a equipe não optar por lançar os três dados ou mesmo dois dados para diminuir o risco de resultados indesejáveis. Outras estratégias podem ser criadas pelo professor.

Diferentemente da primeira fase, em que as equipes podem ajustar uma única grandeza sem rolagem dos dados, nesta fase elas podem ajustar duas grandezas sem rolar os dados. A seguir discutiremos cada uma das possibilidades quando uma equipe sugerir ligar o carro.

a) O carro liga normalmente e se movimenta em direção a cidade:

A equipe pontua e o valor da pontuação será o valor trabalho elevado ao número de relações ajustadas, por exemplo: W^3 .

b) O carro liga, mas gera muita fumaça:

Essa situação indica um baixo rendimento do motor, gerando muita poluição. Apesar de os valores terem sido ajustados corretamente, a equipe ficará sujeita a uma multa no valor do trabalho elevado a três (W^3).

Isso corresponde a uma aleatoriedade adicional desta fase. A equipe deverá indicar pelo menos um motivo para o baixo rendimento do motor do seu veículo e, conseqüentemente, da poluição gerada, para não serem considerados reincidentes e sofrerem nova multa no mesmo valor.

A equipe multada deverá formular um problema indicativo do excesso de poluição causado por seu veículo, que deverá ser resolvido por uma outra equipe a ser sorteada pelo professor. As equipes detentoras dos bônus: diploma de mecânico e engenheiro mecânico, poderão somar a quantidade de bônus ao resultado dos dados. O que oferecerá a estas equipes uma maior probabilidade de resolver o problema da fumaça do veículo.

Será dado um pequeno intervalo de tempo, sem a possibilidade de consulta, para que a equipe multada crie uma situação problema. O professor deve orientá-los para que evitem aspectos muito técnicos e de grande dificuldade. Caso a equipe sorteada para resolver o problema tenha dificuldades na sua identificação e interpretação, este poderá ser reestruturado após a sua apresentação, mas sem modificações essenciais.

A equipe multada não poderá participar do sorteio que determinará a equipe ou as equipes que irão propor a solução para o problema da poluição. Se a solução do problema for considerada satisfatória na análise da turma e do professor, a equipe receberá o bônus rendimento por terem conseguido fazer uma “melhoria no veículo” e por terem contribuído para a preservação do meio ambiente. Esta equipe será agraciada como o crachá: amigo do planeta, no valor de 20 pontos, e o bônus adquirido poderá ser utilizado para transferir uma unidade de

Q_1 para W ou vice-versa, de W para Q_1 , o que permitirá controlarem um pouco mais os valores do rendimento ao retomarem ao jogo.

O bônus rendimento também é acumulativo e será representado por uma ficha ilustrativa azul. As equipes que não tiverem êxito na defesa da melhoria do veículo ficam com uma penalização no valor de W^2 .

O professor deverá aproveitamos este momento do jogo para inserir o personagem “Guarda de Trânsito Consciente”, que será descrito a seguir.

3.2.4.1 O Guarda de trânsito consciente

Após o surgimento da cena da poluição no APP, o professor poderá vestir/incorporar o personagem Guarda de Trânsito Consciente para fazer a notificação da multa referente a poluição gerada. Dirigindo-se a equipe penalizada o guarda apresentará algumas frases de efeito que procuram destacar e enfatizar as questões ambientais e a necessidade de atitudes para preservação ambiental.

Sugerimos uma vestimenta que se aproxime ao máximo da farda de um guarda de trânsito: boné, apito e colete (Figura 10). Se não houver todo esse aparato, apenas o apito e o boné já serão suficientes no momento da fala. Após usar o apito o guarda de trânsito deve se dirigir à equipe penalizada e fazer o seguinte pronunciamento:

- *Bom dia senhores! Vocês sabiam que transitar com um veículo nestas condições, produzindo muita fumaça é infração grave? E que estão sujeitos a multa de acordo com o código de trânsito brasileiro (CTB), artigo 230 inciso XVIII e artigo 104 Caput parágrafo 5º.*
- *A multa será de 10 unidades de trabalho e o veículo dos senhores será retido para regularização. Estou entregando aos senhores o canhoto da multa com o Código da infração número 67263 , assine aqui por favor.*
- *A emissão de CO₂ do veículo dos senhores está contribuindo nas mudanças climáticas que foram responsáveis, por trágicos episódios de chuvas intensas e deslizamentos que vêm assolando nosso país ao longo dos últimos anos. Temos menos de uma década para frear as consequências mais graves do aquecimento global. A situação do planeta é urgente.*

Figura 10: Kit do Guarda de Trânsito Consciente



Fonte: autoria própria

c) A imagem do carro enguiçado

Será mostrada uma animação ilustrativa do carro enguiçado (Figura 11). O defeito é apresentado de maneira genérica e, portanto, pode ser justificado devido a diferentes causas e não será exigido rigor na solução técnica do defeito. As equipes recebem maiores pontuações ao resolverem as situações problemas que vão surgindo.

Figura 11: Carro com defeito

Fonte: autoria própria

A seguir apresentamos alguns exemplos de defeitos que poderão ser abordados, caso o professor queira discutir alguns aspectos técnicos. Tenha consciência de que nem sempre os defeitos são de simples identificação. Estes são apenas exemplos ilustrativos de defeitos que podem ser elaborados.

- Batida de pino, por causa da gasolina de baixa qualidade. Solução utilizar uma gasolina de maior octanagem.
- Motor fora do ponto. Solução, regular do motor.
- Queima incompleta do combustível por causa da vela velha. Solução, troca de vela ou tentativa de limpeza.
- "Arriou" a bateria. Solução, "chupeta" ou troca da bateria podem ser soluções satisfatórias, lembrando da necessidade do descarte correto da bateria substituída.

Caso a equipe deseje apresentar o problema poderá fazê-lo, por exemplo, das seguintes formas:

- Você não consegue ligar o carro. Nem escuta o motor de arranque.
- Você consegue ligar o carro, no entanto ao tentar subir o morro verifica que o motor não tem força.

3.2.4.2 Os bônus da quarta fase

Bônus rendimento (Valor de 20 pontos)

Esse bônus está relacionado ao problema da poluição (multa), citado anteriormente, e sua aquisição está relacionada à resolução do problema de poluição. Poderá ser utilizado para transferir uma unidade de Q_1 para W ou vice-versa, de W para Q_1 . As equipes detentoras do bônus também poderão somar até duas unidades na rolagem dos dados para concorrerem na solução do problema da poluição gerada pelo carro que resultou na multa.

O Bônus Carnot (Valor 30 pontos)

A aquisição deste bônus está vinculada às conversas com Carnot (que explicaremos a seguir). A equipe que for sorteada com a pergunta de Carnot durante a sua vez de jogar será bonificada desde que responda corretamente.

A equipe detentora desse bônus poderá jogar os dados para as temperaturas, T_1 e T_2 , numa única rodada, e somar ou subtrair uma unidade ao resultado dos dados para ajustar o rendimento máximo de Carnot. O fato de a equipe poder alterar em 1 unidade a temperatura da fonte quente e da fonte fria poderá produzir mudanças significativas em toda a dinâmica do jogo, o que torna o bônus de Carnot muito valioso. O número de bônus que a equipe possuir indicará a quantidade de unidades que ela poderá utilizar ao somar ou subtrair ao resultado obtido da rolagem dos dados. Caso tenha apenas um bônus, fará uso de mais ou menos 1, caso possua dois bônus utilizará o mais ou menos 2 e assim por diante.

Apenas a equipe detentora do bônus Carnot poderá manipular as grandezas específicas do rendimento máximo: T_1 e T_2 .

3.2.4.3 As falas de Carnot

Após algumas rodadas trabalhando apenas com a 1ª Lei da termodinâmica e com rendimento geral de uma máquina térmica, surgirá, de forma aleatória (segundo as configurações feitas pelo professor), a imagem de Carnot com a gravação sonora de uma fala “sua” conversando com o professor e com a equipe da vez.

A primeira aparição é automática e surgirá a partir do momento em que o professor clicar no botão iniciar conversa com Carnot (“I.C”), presente na tela de visualização.

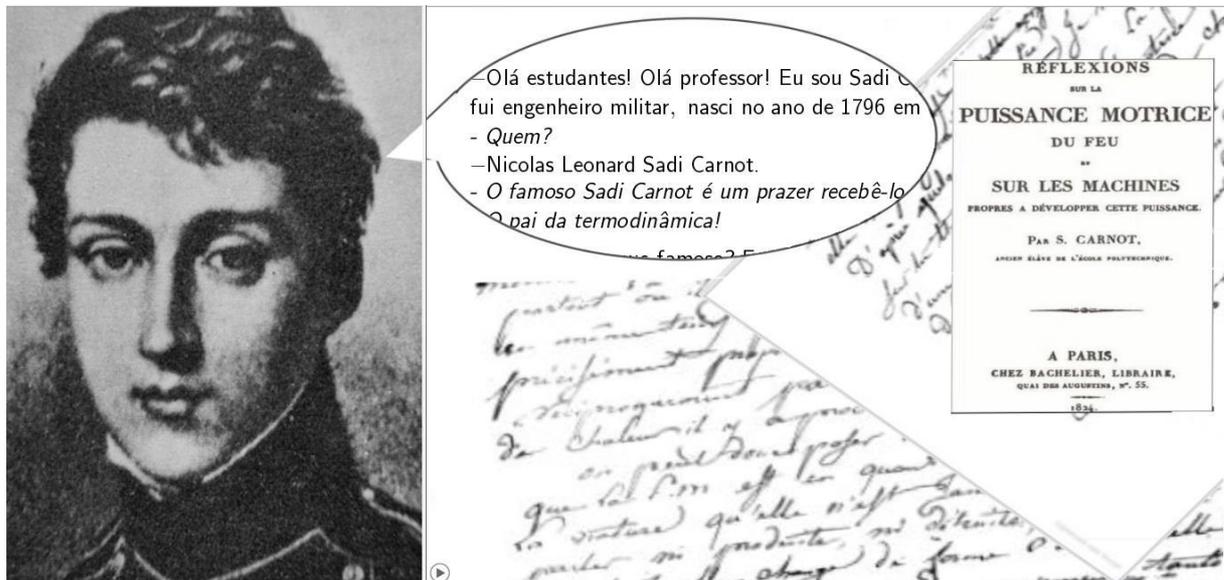
No jogo o aparecimento de Carnot ocorre com probabilidade configurada previamente para cada fala, com exceção da primeira, que será utilizada para abertura da conversa e apresentação de Carnot. Portanto, na programação existe um sorteio de qual será a fala do

momento. Durante a conversa de apresentação de Carnot foram gerados alguns intervalos de tempo entre as falas consecutivas para que o professor possa dialogar com Carnot. A seguir apresentamos esse diálogo, no qual as falas do professor estão destacadas em itálico.

- Olá, estudantes! Olá, professor! Eu sou Sadi Carnot, fui engenheiro militar, nasci no ano de 1796 em Paris.
- *Quem? (diz o professor).*
- Nicolas Leonard Sadi Carnot.
- *O famoso Sadi Carnot? É um prazer recebê-lo aqui. O pai da termodinâmica! (diz o professor bastante entusiasmado).*
- Famoso? Por que famoso? diz Carnot. Por que eu sou famoso? Eu escrevi um único livro e a maioria dos meus artigos foram queimados após a minha morte, o que era costume na época, porque eu morri de cólera.
- Por que eu sou famoso hoje? Gostaria que os estudantes me explicassem.

A Figura 12 mostra o formato de apresentação da fala de Carnot no APP. Na animação, o texto da fala vai "rolar" para cima em sincronia com o áudio.

Figura 12: Ilustração da fala de Carnot no app



Fonte: print da tela do app

A partir dessa conversa, a equipe sorteada com o aparecimento de Carnot, no momento que estiver jogando, deverá fazer uma pesquisa e elaborar uma sucinta apresentação dos estudos de Carnot sobre o rendimento máximo, a expressão que permite determinar esse rendimento e a importância desses estudos para o surgimento da termodinâmica. No início da aula seguinte, a equipe terá 10 min para apresentação de sua pesquisa e poderá fazer uso de diversos recursos.

Caso a equipe cumpra todos os requisitos terá direito ao “bônus Carnot”. Caso a equipe sorteada não consiga fazer a apresentação perderá a chance e não fará jus ao bônus Carnot.

A partir de então, o rendimento máximo ($\eta_{máx}$), a temperatura da fonte quente (T_1) e a temperatura da fonte fria (T_2) serão adicionados ao jogo.

A conversa do professor com Carnot deverá destacar a importância do seu trabalho e fortalecer a ludicidade do jogo ao dar vida ao personagem Sadi Carnot.

Em todas as falas foi adicionado um marcador de tempo permitido o surgimento de Carnot a qualquer momento após o acionamento do botão de verificação (“Ligar CC”), o que contribui para a ludicidade da situação, aumentando a ideia de autonomia de Carnot. No botão intitulado “I.C” temos o controle de início da conversa e no botão intitulado “E.C.” o encerramento da conversa. Maiores detalhes sobre os controles referentes às conversas com Carnot são apresentados no vídeo instrutivo do APP¹⁴. Outras falas de Carnot podem ser visualizadas no próprio aplicativo.

3.2.5 Quinta fase: o jogo dialogado

Na última fase do jogo a pontuação deverá ocorrer exclusivamente em função das respostas corretas, das justificativas do porquê jogar um certo número de dados e dos resultados que os estudantes esperam obter. Portanto, nesta última fase, o professor deve solicitar aos estudantes que tornem explícitas suas estratégias de jogadas. Dessa forma, o jogo passa a assumir a perspectiva de um debate intitulado “jogo dialogado” (JD), permitindo uma avaliação e uma construção coletiva do conhecimento.

A expectativa dessa fase é de que os alunos consigam construir seus próprios argumentos e que o professor mantenha a postura do professor juiz, sem interferir nas tomadas de decisão. Porém, dependendo da atuação dos estudantes, é possível introduzir algumas modificações para facilitar a compreensão de conceitos e estratégias que ainda não foram bem apreendidos. Nestes casos, o professor poderá apresentar a configuração do tabuleiro virtual do APP após o término de cada fase e pedir que todas as equipes analisem as mesmas configurações, estimulando o debate sobre as justificativas. Acreditamos que desta forma poderá avaliar melhor o aproveitamento dos estudantes.

¹⁴ Disponível em: <https://youtu.be/F48RIRMIaCI>

3.3 CONSIDERAÇÕES E COMENTÁRIOS SOBRE A APLICAÇÃO DO JOGO

Uma versão simplificada do Manual do Aluno (Apêndice F), poderá ser disponibilizada para os estudantes antes no início do jogo. Com isso, as equipes podem ir se familiarizando com a dinâmica da proposta metodológica que orienta o Rally da Física.

É importante que o professor se atente ao fato de que os contadores auxiliam no controle das dicas e que, para tanto, é necessário que haja uma interação constante com o APP e suas configurações. Por exemplo, as dicas podem ser configuradas para só aparecerem após três tentativas.

Os estudos sobre a metodologia PBL alertam para a necessária postura do professor juiz numa metodologia ativa, entretanto não é fácil manter essa postura pelo fato de estarmos acostumados a dar dicas para os estudantes o tempo todo. No jogo dinâmico as situações problemas são apresentadas e podem ser ou não resolvidas pelos estudantes de diferentes formas, como elaboração das equipes, com ajuda das dicas do APP, estudos e pesquisas em casa, ajuda de outros professores etc. Mas eles não podem contar com a ajuda do professor juiz. Dependendo da situação, como no travamento do jogo, o professor pode criar algumas estratégias para retomar a dinâmica, mas sempre cuidando para não dar as respostas prontas para os estudantes.

Com base na nossa experiência podemos destacar dois recursos que podem ser utilizados para contornar esta situação. Um deles é o “WhatsApp”, que pode ser utilizado para troca de informações privadas entre as equipes e o professor. Caso este aplicativo não esteja disponível, essa troca pode ser feita de outras formas, como bilhetes ou, até mesmo, pela própria plataforma do GeoGebra, com o auxílio do celular dos estudantes. Crie formas de receber informações privadas das equipes sobre os valores desejados no lançamento dos dados e justificativas. Essas informações fornecem material para que você possa fazer ajustes no jogo, ou na forma de jogar, e transitar entre as posturas de professor juiz e professor tutor.

Outro recurso são as tabelas de probabilidade (Apêndice C). Geralmente, os estudantes têm muita dificuldade em determinar a quantidade de dados a ser lançado para se obter determinado resultado. Nessas situações o professor poderá disponibilizar as tabelas do Apêndice C. Isso poderá facilitar a dinâmica do jogo até que os estudantes entendam o domínio das relações de probabilidade.

Essas modificações devem possibilitar a discussão entre os estudantes, mantendo certa imparcialidade do professor. Como já indicado anteriormente, uma modificação que pode ser inserida no Jogo Dialogado é a apresentação do mesmo conjunto de valores numéricos a todas

as equipes, ao mesmo tempo. Neste caso, elas devem resolver a situação por escrito e entregar ao professor (por meio do WhatsApp ou bilhete) antes de ocorrer o debate. Também é possível apresentar configurações previamente escolhidas por você e não apenas aleatórias, como ocorre no jogo dinâmico.

Dessa forma você pode proporcionar um jogo dinâmico modificado (JDM) que permite, por exemplo, recapitular situações do jogo original que, por algum motivo, não tenham sido discutidas com os estudantes. Elaboramos uma ficha de avaliação, disponível no Apêndice E, que poderá facilitar a organização do JDM. No entanto, essa forma de proceder deve ser utilizada com moderação, tendo em vista que perde em dinâmica de interação entre as equipes, pois a maneira de jogar de uma das equipes não afetará as outras.

Para fechamento da atividade, sugerimos um debate geral, acompanhado de um resumo do conteúdo. Poderá ser também um momento livre para que os estudantes possam tecer comentários gerais sobre o jogo que possam ser utilizados para as reformulações futuras.

Por fim, entendemos que a ação coletiva nos parece o melhor caminho na conquista de um trabalho de qualidade. Nesse sentido, consideramos você professor como nosso maior colaborador, e gostaríamos de receber comentários e críticas sobre este material. Desde já agradecemos a sua atenção e cooperação.

4. ATIVIDADE FINAL

OS ALUNOS COMPLETAM A HISTÓRIA

Como atividade final, os estudantes serão convidados a completar a história inicial, propondo uma solução para o problema apresentado. Espera-se que nesse momento eles já estejam mais conscientes da demanda social, de seus limites e de suas possibilidades. Dessa forma, poderão contribuir na identificação e superação de uma demanda socioambiental.

No geral, espera-se que a atividade promova o protagonismo social e uma formação crítica e emancipatória dos estudantes de uma forma lúdica e motivadora. Como afirmamos na introdução, é necessário modificar o perfil de nossas aulas para motivar o aluno. O objeto tecnológico (veículo/carro) associado ao contexto socioambiental e à metodologia ativa do jogo, constitui-se um elemento motivador intrínseco ao suscitar nos estudantes a curiosidade para o estudo da física e das ciências em geral. Além disso, a atividade constitui-se em um extenso e rico material com possibilidades de aplicação interdisciplinar, possibilitando o envolvimento de conteúdos de outros conteúdos de ensino que geralmente encontram-se fragmentados nos currículos da escola básica.

Sugerimos que o complemento da história seja escrito em grupo pela equipe e apresentado como encerramento do projeto para os colegas em debate aberto.

Aconselhamos que os estudantes não sejam orientados a resolverem os problemas dos avós. A ideia é avaliar até que ponto o envolvimento emocional ocorrerá de modo a estimular o protagonismo deles. Também sugerimos que não seja fornecido qualquer informação sobre a doença do avô (que poderá ser explicada em outra ocasião), ficando a critério dos estudantes a pesquisa necessária para fundamentação dos argumentos. Depois que os estudantes finalizarem suas pesquisas iniciais, o professor poderá fornecer algumas referências bibliográficas sobre as doenças e/ou complicações geradas pela poluição.

Quando os estudantes escrevem o final da história é interessante poder contar com a ajuda do/a professor/a de português na produção e revisão do texto, do/a professor/a de geografia, na abordagem dos aspectos ambientais, e até mesmo de professores/as de arte, na produção de ilustrações em geral. O/A professor/a de biologia poderá auxiliar os alunos na compreensão do sistema respiratório e da doença do avô.

A história poderá ser publicada, e ficar à disposição do público em geral, sendo divulgada na escola e na comunidade. Para isso, o texto deve ter uma boa redação. Caso você não consiga trabalhar interdisciplinarmente com o/a professor/a de português estimule os estudantes a buscarem recursos de aplicativos de revisão ortográfica, como por exemplo a AI.

Os estudantes poderão fazer uso de um aplicativo de apresentação para organizarem os recursos de mídia que acharem necessários na construção do final da história (vídeos, fotos, textos etc.). O professor pode estimular também outras formas de apresentação, como, por exemplo, uma história em quadrinhos. Existem vários sites bons e gratuitos que podem ser utilizados para este fim.

Aconselhamos que o professor faça um breve resumo da história inicial ou mesmo mostre novamente alguns trechos do vídeo para que os estudantes possam recordar a história da viagem inicial. Principalmente sobre as imediações da casa dos avós, como o acúmulo de veículos (Figura 13) e os geradores de energia do mercado que produzem muito barulho e fumaça (Figura 14).

Figura 13: A concentração de veículos nas imediações da casa dos avós



Fonte: autoria própria

Figura 14: Geradores do mercado com a exaustão voltada para rua onde moram os avós das crianças



Fonte: autoria própria.

O tempo para esta etapa pode ser de duas horas/aula caso deseje apenas a produção de texto em grupo pelos estudantes e mais uma hora/aula de debate.

Observe que os estudantes podem ser estimulados a desenvolverem a maior parte desta atividade fora de sala de aula, exigindo apenas momentos de orientação. As orientações para a produção do final da história pelos estudantes encontram-se no Apêndice D.

A narrativa da viagem, por mais fantasiosa que seja, nos permite explorar dois mundos interconectados: o ficcional, construído pela imaginação, e o real, onde a casa dos avós, a rua, o supermercado e toda a vizinhança existem de fato. Essa dualidade proporciona uma experiência rica e imersiva, que pode culminar com uma conversa com os estudantes sobre semelhanças e diferenças dos locais onde eles e seus parentes moram, suscitando uma reflexão sobre os problemas relacionados a poluição sonora e ambiental causada por veículos a combustão.

REFERÊNCIAS

- BERBEL, Neusi Aparecida Navas. A problematização e a aprendizagem baseada em problemas: diferentes termos ou diferentes caminhos? **Interface-Comunicação, Saúde, Educação**, v. 2, p. 139-154, 1998.
- BORGES, Tiago Silva; ALENCAR, Gidélia. Metodologias ativas na promoção da formação crítica do estudante: o uso das metodologias ativas como recurso didático na formação crítica do estudante do ensino superior. **Cairu em revista**, v. 3, n. 4, p. 119-143, 2014.
- EDENS, Kellah M. Preparing problem solvers for the 21st century through problem-based learning. **College Teaching**, v. 48, n. 2, p. 55-60, 2000.
- HUNG, Woei; JONASSEN, David H.; LIU, Rude. Problem-based learning. In: **Handbook of research on educational communications and technology**. Routledge, 2008. p. 485-506.
- MENEZES, P. H. M. Tradição e Inovação no Ensino de Física: grupos colaborativos de professores dando estabilidade às mudanças. **Dissertação**. Mestrado em Educação. Faculdade de Educação, UFMG, 2003. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/FAEC-85VQ75/1/1000000491.pdf>. Acesso em maio/2024.
- SANTOS, Wildson. L. P.; MORTIMER, Eduardo F. Tomada de decisão para ação social responsável no ensino de ciências. **Revista Ciência & Educação**, São Paulo v. 7, n.1, p. 95-112, maio 2001.
- SOUZA, SC d; DOURADO, L. Problem-based learning (pbl): an innovative learning method for educational teaching (in portuguese, aprendizagem baseada em problemas (abp): um método de aprendizagem inovador para o ensino educativo). **Holos**, v. 5, p. 182-200, 2015.
- TATAR, Erdal; OKTAY, Münir. The effectiveness of problem-based learning on teaching the first law of thermodynamics. **Research in Science & Technological Education**, v. 29, n. 3, p. 315-332, 2011.
- ZABALA, Antoni et al. **11 ideas clave. Cómo aprender y enseñar competencias**. Graó, 2007.

APÊNDICE A – AVALIAÇÃO DA HISTÓRIA INICIAL

Perguntas Sobre a Primeira Parte da História

Escreva aqui o seu nome completo:

Monstro de Fumaça - Avaliação da Imersão

1) Sobre os sentimentos e emoções que ocorreram durante o encontro com o monstro de fumaça:

- a) Cite três palavras que traduzem seus pensamentos (emoções) quando o monstro de fumaça estava no quarto.
- b) Se você fosse o menino também teria tido medo do monstro de fumaça?
- c) Você teve algum tipo de receio ou medo quanto ao monstro de fumaça?
- d) Se você pudesse concretizar este medo no seu corpo, em que parte seria?

Questões Interativas

2) Ajude o menino da história a contribuir no conserto do carro, propondo uma causa para o defeito e sua justificativa para seu pai.

3) Durante a viagem de volta o menino faz uma série de perguntas ao pai. Ajude o pai a responder os questionamentos do garoto:

- a) — O carro do vovô "tava" ligado na tomada que nem o liquidificador da mamãe. Por que o senhor não coloca o nosso carro na tomada?
- b) — O carro do vovô não faz barulho e não solta fumaça! Por que o nosso faz barulho e solta fumaça?
- c) — Como a gasolina empurra o carro? Ela não tem braço e nem mão!

Questões Interpretativas e de Equilíbrio Emocional

- 4) Somos nós que alimentamos o monstro da poluição todos os dias ao utilizarmos veículos a combustão. Portanto, imagine que você ajudará a se ver livre desse monstro. Para onde você o levaria? Você pode discutir com os colegas. Escreva sua resposta de uma forma bem sucinta.
- 5) Para compreensão do problema vivenciado na história, você considera importante adquirir conhecimentos básicos de física sobre como funciona o motor a combustão interna?
- 6) Por quê? Justifique a resposta da questão anterior.

Avaliação da Atividade

- 7) O que você achou da atividade e o que mais gostou?
- 8) O que você menos gostou na atividade?
- 9) Dê uma nota à atividade de 0 a 5?
- 10) O que mais gostou na história?
- 11) O que menos gostou na história?
- 12) De uma nota na história 0 a 5?
- 13) Espaço para comentários livres.
- 14) Faça uso de sua criatividade de escritor sugerindo modificações e/ou acréscimos à história.

Obrigado pela sua contribuição.

APÊNDICE B – RESUMO TERMODINÂMICA

1ª Lei e 2ª Lei da Termodinâmica

Primeira Lei da Termodinâmica

A energia total se conserva, pois, a energia da gasolina (Q_1) é apenas transformada em energia de movimento (δ) e o restante da energia térmica é lançada ao meio ambiente (Q_2). O que matematicamente pode ser expresso por:

$$Q_1 = W + Q_2 \text{ ou } W = Q_1 - Q_2$$

Segunda Lei da Termodinâmica

É impossível construir uma máquina térmica, operando em ciclos, cujo único efeito seja retirar calor de uma fonte e convertê-la integralmente em trabalho.

Para que uma máquina térmica converta calor em trabalho de modo contínuo, deve operar em ciclo entre duas fontes térmicas, uma quente e outra fria: a máquina retira calor de fonte quente (Q_1), converte-o parcialmente em trabalho (W) e rejeita o restante (Q_2) para a fonte fria.”

O rendimento de uma máquina térmica é expresso por:

$$\eta = \frac{W}{Q_1} \text{ ou ainda por,}$$

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

Rendimento de Carnot

Carnot provou que o rendimento de uma máquina térmica não pode ser maior que:

$$\eta_{e-m\acute{a}x} = 1 - \frac{T_2}{T_1},$$

Onde T_2 é a temperatura da fonte fria e T_1 é a temperatura da fonte quente.

APÊNDICE C – TABELAS DE PROBABILIDADE

UM DADO						
Resultado	0	1	2	3	4	5
Frequência.	1	1	1	1	1	1
Probabilidade	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$
Decimal	≈0.167	≈0.167	≈0.167	≈0.167	≈0.167	≈0.167

DOIS DADOS											
Soma	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Frequência.	1	2	3	4	5	6	5	4	3	2	1
Probabilidade	$\frac{1}{36}$	$\frac{2}{36}$	$\frac{3}{36}$	$\frac{4}{36}$	$\frac{5}{36}$	$\frac{6}{36}$	$\frac{5}{36}$	$\frac{14}{36}$	$\frac{3}{36}$	$\frac{2}{36}$	$\frac{1}{36}$
Decimal	≈0.028	≈ 0.055	≈ 0.083	≈ 0.111	≈ 0.139	≈ 0.167	≈ 0.139	≈ 0.111	≈0.083	≈0.055	≈ 0.028

	0	1	2	3	4	5
0	(0,0)	(0,1)	(0,2)	(0,3)	(0,4)	(0,5)

(1;0)	(1;0;0)	(1;0;1)	(1;0;2)	(1;0;3)	(1;0;4)	(1;0;5)		1	2	3	4	5	6		7	27
(1;1)	(1;1;0)	(1;1;1)	(1;1;2)	(1;1;3)	(1;1;4)	(1;1;5)		2	3	4	5	6	7		8	27
(1;2)	(1;2;0)	(1;2;1)	(1;2;2)	(1;2;3)	(1;2;4)	(1;2;5)		3	4	5	6	7	8		9	25
(1;3)	(1;3;0)	(1;3;1)	(1;3;2)	(1;3;3)	(1;3;4)	(1;3;5)		4	5	6	7	8	9		10	21
(1;4)	(1;4;0)	(1;4;1)	(1;4;2)	(1;4;3)	(1;4;4)	(1;4;5)		5	6	7	8	9	10		11	15
(1;5)	(1;5;0)	(1;5;1)	(1;5;2)	(1;5;3)	(1;5;4)	(1;5;5)		6	7	8	9	10	11		12	10
															13	6
(2;0)	(2;0;0)	(2;0;1)	(2;0;2)	(2;0;3)	(2;0;4)	(2;0;5)		2	3	4	5	6	7		15	1
(2;1)	(2;1;0)	(2;1;1)	(2;1;2)	(2;1;3)	(2;1;4)	(2;1;5)		3	4	5	6	7	8			
(2;2)	(2;2;0)	(2;2;1)	(2;2;2)	(2;2;3)	(2;2;4)	(2;2;5)		4	5	6	7	8	9			
(2;3)	(2;3;0)	(2;3;1)	(2;3;2)	(2;3;3)	(2;3;4)	(2;3;5)		5	6	7	8	9	10			
(2;4)	(2;4;0)	(2;4;1)	(2;4;2)	(2;4;3)	(2;4;4)	(2;4;5)		6	7	8	9	10	11			
(2;5)	(2;5;0)	(2;5;1)	(2;5;2)	(2;5;3)	(2;5;4)	(2;5;5)		7	8	9	10	11	12			
(3;0)	(3;0;0)	(3;0;1)	(3;0;2)	(3;0;3)	(3;0;4)	(3;0;5)		3	4	5	6	7	8			
(3;1)	(3;1;0)	(3;1;1)	(3;1;2)	(3;1;3)	(3;1;4)	(3;1;5)		4	5	6	7	8	9			
(3;2)	(3;2;0)	(3;2;1)	(3;2;2)	(3;2;3)	(3;2;4)	(3;2;5)		5	6	7	8	9	10			
(3;3)	(3;3;0)	(3;3;1)	(3;3;2)	(3;3;3)	(3;3;4)	(3;3;5)		6	7	8	9	10	11			
(3;4)	(3;4;0)	(3;4;1)	(3;4;2)	(3;4;3)	(3;4;4)	(3;4;5)		7	8	9	10	11	12			
(3;5)	(3;5;0)	(3;5;1)	(3;5;2)	(3;5;3)	(3;5;4)	(3;5;5)		8	9	10	11	12	13			
(4;0)	(4;0;0)	(4;0;1)	(4;0;2)	(4;0;3)	(4;0;4)	(4;0;5)		4	5	6	7	8	9			
(4;1)	(4;1;0)	(4;1;1)	(4;1;2)	(4;1;3)	(4;1;4)	(4;1;5)		5	6	7	8	9	10			
(4;2)	(4;2;0)	(4;2;1)	(4;2;2)	(4;2;3)	(4;2;4)	(4;2;5)		6	7	8	9	10	11			
(4;3)	(4;3;0)	(4;3;1)	(4;3;2)	(4;3;3)	(4;3;4)	(4;3;5)		7	8	9	10	11	12			
(4;4)	(3;4;0)	(4;4;1)	(4;4;2)	(4;4;3)	(4;4;4)	(4;4;5)		8	9	10	11	12	13			

(4;5)	(3;5;0)	(4;5;1)	(4;5;2)	(4;5;3)	(4;5;4)	(4;5;5)		9	10	11	12	13	14			
(5;0)	(5;0;0)	(5;0;1)	(5;0;2)	(5;0;3)	(5;0;4)	(5;0;5)		5	6	7	8	9	10			
(5;1)	(5;1;0)	(5;1;1)	(5;1;2)	(5;1;3)	(5;1;4)	(5;1;5)		6	7	8	9	10	11			
(5;2)	(5;2;0)	(5;2;1)	(5;2;2)	(5;2;3)	(5;2;4)	(5;2;5)		7	8	9	10	11	12			
(5;3)	(5;3;0)	(5;3;1)	(5;3;2)	(5;3;3)	(5;3;4)	(5;3;5)		8	9	10	11	12	13			
(5;4)	(5;4;0)	(5;4;1)	(5;4;2)	(5;4;3)	(5;4;4)	(5;4;5)		9	10	11	12	13	14			
(5;5)	(5;5;0)	(5;5;1)	(5;5;2)	(5;5;3)	(5;5;4)	(5;5;5)		10	11	12	13	14	15			

APÊNDICE D – ORIENTAÇÕES PARA PRODUÇÃO DO FINAL DA HISTÓRIA

O FINAL DA HISTÓRIA

Vocês agora terão a oportunidade de participarem como personagens da história, escrevendo um texto argumentativo para o final da história, propondo a solução para os problemas apresentados.

O final da história deverá ser escrito em grupo pela equipe e apresentado como encerramento do projeto para os colegas em debate aberto.

Problematização final

O pai das crianças avisa que o avô foi diagnosticado com Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC) e não está nada bem. A situação se agravou pelo fato de ele ser fumante e viver numa cidade com altos índices de poluição do ar, morando em frente a uma garagem de carga/descarga de uma grande rede de supermercados.

Para saber mais sobre DPOC, vocês podem consultar o vídeo disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=JCoCQBSSfY8>

Se não bastasse a poluição dos caminhões que manobram na garagem do supermercado e permanecerem ligados quando estacionados, há um grande fluxo de outros veículos nas imediações, dificultando ainda mais o tráfego na rua e aumentando o barulho e a fumaça (Figura 1).

Figura 1: Imagem da movimentação de veículos nas proximidades da casa dos avós das crianças



Fonte: autoria própria

Além disso, o supermercado possui dois geradores de energia elétrica, movidos a óleo diesel, que também geram muita fumaça e produzem muito barulho. A Figura 2 mostra os dois geradores de energia elétrica a óleo diesel. Os dois escapamentos, logo acima dos geradores, estão direcionados para a casa dos avós da criança.

Figura 2: Imagem dos geradores de energia



Fonte: autoria própria

ATIVIDADE FINAL DE PRODUÇÃO ESCRITA

Na história inicial, uma família que vive na zona rural, composta por mãe, pai e dois filhos, ainda crianças, viajam para visitar o avô que mora na cidade grande e está internado com problemas respiratórios. A situação se agravou pelo fato de ele ser fumante e viver numa cidade com altos índices de poluição do ar. Além disso, sua casa fica nas vizinhanças de uma garagem de carga/descarga de uma grande rede de supermercados, como apresentado na problematização anterior.

Durante o jogo Rally da Física, sua equipe teve a oportunidade de compreender um pouco mais sobre os motores a combustão. Agora vocês deverão elaborar um texto argumentativo propondo um desfecho para a história inicial, levando em consideração as seguintes problemáticas apresentadas:

- A doença do avô das crianças e sua relação com as questões de poluição ambiental gerada pelos veículos a combustão, associando ao contexto socioambiental.
- Destacar o contraste entre a vida na fazenda e na cidade grande. (lembrem-se que o menino da história tem um pesadelo com o monstro de fumaça que está tentando entrar em seu corpo...)
- Propor uma solução para o problema enfrentado pelos avós.

Nome dos participantes da equipe:

(1): _____

(2): _____

(3): _____

(4): _____

(5): _____

O final da história

(Utilizem quantas folhas forem necessárias)

APÊNDICE E – FICHA DE AVALIAÇÃO DO JOGO DIALOGADO

Avaliação e Jogo Dialogado

Nome da equipe:

No lado esquerdo da tabela vocês colocarão os valores do aplicativo e à direita devem ser colocados os valores desejados ao jogar. A equipe pontuará ao avisar, por escrito, sobre uma relação previamente correta. Lembre-se de pedir ao professor as dicas e interpretá-las antes e depois de jogar.

(): Liga ou não liga o carro? Quantos dados jogar para que grandeza?

Situação		Resultado Esperado	
$Q_1=$		$Q_1=$	
$W=$		$W=$	
$Q_2=$		$Q_2=$	

Cópia da 1ª dica:

Interpretação da 1ª dica:

Resultado esperado e justificativa:

Cópia da última dica:

Interpretação da última dica:

No lado esquerdo da tabela vocês colocarão os valores do aplicativo e à direita devem ser colocados os valores desejados ao jogar. A equipe pontuará ao avisar, por escrito, sobre uma relação previamente correta. Lembre-se de pedir ao professor as dicas e interpretá-las antes e depois de jogar.

(): Liga ou não liga o carro? Quantos dados jogar para que grandeza?

Situação		1º Resultado Esperado		2º Resultado Esperado	
$Q_1 =$		$Q_1 =$		$Q_1 =$	
$W =$		$W =$		$W =$	
$Q_2 =$		$Q_2 =$		$Q_2 =$	
$\eta_e =$		$\eta_e =$		$\eta_e =$	

Cópia da 1ª dica:

Interpretação da 1ª dica:

1º Resultado esperado e justificativa:

Cópia da 2ª dica:

Interpretação da 2ª dica:

2º Resultado esperado e justificativa:

Interpretação da última dica:

APÊNDICE F - MANUAL DO ALUNO

Rally da Física - Ligue o carro!

Prepare-se para o Rally da Física: uma aventura em equipe!

Neste rally, você e seus colegas embarcarão em uma emocionante corrida, na qual o trabalho em equipe é a chave para o sucesso. Formem as equipes, seguindo as orientações de seu professor, e definam os papéis de cada membro: piloto, navegador, mecânico, eletricitista, médico...

A dinâmica do jogo colocará vocês em situações desafiadoras que exigem união e colaboração para encontrar as soluções. Preparem-se para debates acalorados, convergências e divergências, sempre mediados pelo professor, que atuará como um observador imparcial, interferindo o mínimo possível.

Dinâmica e regras do jogo

O jogo “Rally da Física - Ligue o Carro!” funciona como uma corrida, cuja pontuação conquistada indica a quilometragem percorrida. O jogo funciona como um APP montado na plataforma GeoGebra. Para pontuar, a equipe deverá ajustar valores de energia, rendimento, rendimento máximo, o que pode ser entendido, na ludicidade do jogo, como uma manutenção necessária para continuar na corrida. O desafio é ligar o carro para pontuar. A pontuação estará baseada no valor numérico do trabalho realizado pelo motor e nos bônus adquiridos no decorrer do jogo, que serão convertidos em distância percorrida. Vence a equipe que alcançar a maior distância.

Os valores de ajuste devem ser obtidos na rolagem de dados, para as seguintes grandezas: temperatura da fonte quente (T_1), a temperatura da fonte fria (T_2), o calor da fonte quente (Q_1), o calor da fonte fria (Q_2), o trabalho (W] o rendimento ($|\$), o rendimento do ciclo de Carnot ($|_{\max}$), e serão usados pelas equipes para ajustar as relações de energia, rendimentos e rendimento máximo. Para jogar os estudantes precisarão construir algumas expressões que relacionam essas grandezas.

Quando uma equipe tentar ligar o carro de forma equivocada, serão apresentados desafios, na forma de situações problemas. A equipe que jogar assertivamente na resolução do desafio será parabenizada com um bônus, que serão descritos mais adiante. Vamos jogar!

FASES DO JOGO

Primeira fase e as regras do jogo

Na 1ª fase serão atribuídos valores apenas às seguintes grandezas: quantidade de calor fornecida à máquina (Q_1); quantidade de calor liberada para a fonte fria (Q_2) e o trabalho realizado pelo sistema (W).

A equipe iniciante (sorteada ou indicada pelo professor) deverá escolher uma das grandezas Q_1 , Q_2 ou W que assumirá o valor obtido na rolagem de dados. A equipe poderá escolher rolar um, dois ou três dados de seis faces, modificados com a inclusão do zero. Dessa forma, cada dado pode assumir um valor de zero a cinco. O objetivo da jogada será ajustar a relação entre as grandezas Q_1 , Q_2 e W , inicialmente apresentadas no APP.

Caso a equipe considere que o valor obtido consegue ajustar a relação de energia entre as grandezas, esta poderá tentar ligar o veículo e sua pontuação igual ao valor numérico do trabalho, que irá indicar a “distância” a ser percorrida pela equipe.

Outras maneiras de pontuar ocorrerão com os desafios. Se o número obtido ao jogar os dados não oferecer uma interpretação coerente a equipe passa a vez para a próxima, podendo tentar ligar o carro a qualquer momento quando estiver na sua vez de jogar.

A equipe pode tentar ligar o carro a qualquer momento, durante sua vez de jogar, desde que avisem em voz alta, “ligar!”. Caso uma outra equipe observe que há algum erro na relação entre as grandezas antes de o professor ligar o carro, esta poderá gritar “incoerência! Se, de fato, houver incoerência no ajuste das grandezas a equipe será presenteada com o bônus do diploma de mecânico. Caso de grito de incoerência tenha sido equivocado a penalização será de três vezes o valor do trabalho.

Uma equipe também poderá ligar o motor sem jogar os dados, isto poderá ocorrer no caso em que a equipe anterior tenha errado os cálculos ou não perceberam a existência da relação correta.

Após o término da primeira rodada, as equipes poderão tentar ajustar o valor de uma das grandezas (apenas nesta fase) para ligar o carro sem a rolagem de dados. O jogo poderá ser reiniciado caso fique travado após uma rodada completa.

A equipe também poderá ser multada se produzir apenas desperdício de energia, ou seja, quando o trabalho for nulo ($W = 0$). A multa será equivalente ao valor obtido para Q_2 , que será subtraído da distância percorrida pela equipe até então.

As equipes também podem “comprar” dicas na sua vez de jogar, no valor de 1 unidade de trabalho. A seguir explicaremos o funcionamento dos bônus na 1ª fase:

Bônus Diploma de Mecânico (valor do bônus é de 10 pontos)

Adquirido pela equipe que conseguir consertar o “defeito do motor” da equipe concorrente, na situação de incoerência ou não. A equipe detentora deste bônus poderá:

- Somar ou subtrair uma unidade ao resultado dos dados, por bônus adquirido. Esta unidade poderá ser atribuída nas grandezas: W , Q_1 e Q_2 .
- Consultar as dicas sem ônus, caso já tenha adquirido pelo menos um bônus de diploma de mecânico.
- Somar o valor do bônus ao resultado do lançamento do dado para concorrer ao conserto do motor da outra equipe que tentou ligar o carro equivocadamente.

Bônus Engenheiro Mecânico (valor do bônus é de 20 pontos)

Adquirido pela equipe que resolver uma situação problema (desafio) que o professor apresentará. Permitirá as seguintes aplicações:

- Somar duas unidades ao valor do resultado dos dados.
- Negociar o valor do “conserto” ao serem requisitados por outra equipe para resolver a situação desafio. Caso a equipe requisitada para o serviço consiga resolver o problema a penalização será dividida por 2. Se a solução for assertiva as duas equipes serão pontuadas. O valor a ser “pago” (valor de troca) pelo “serviço (dica) de mecânico”, a equipe detentora do bônus, será em unidades de trabalho a ser negociado entre as equipes. Caso o desafio não seja resolvido, será reapresentado, e sua pontuação e penalização serão duplicados.

Turbo bônus (valor do bônus, 10 pontos)

Este bônus poderá ser adquirido por qualquer equipe, na sua vez de jogada, pelo valor de 10 unidades de trabalho. Para isso, é necessário explicar como um turbo compressor funciona. Será utilizada uma ficha ilustrativa preta para representar o “turbo bônus”.

A equipe deverá tentar prever como este bônus funcionará no jogo, qual tipo de energia ele permitirá aproveitar (Q_1 , Q_2 ou W)? Os estudantes poderão fazer duas tentativas para explicar que tipo de transferência este bônus permitirá. Caso não consigam explicar de forma satisfatória a penalização será do valor gasto na compra do bônus que não farão uso.

Segunda fase

Nesta fase as equipes deverão construir um esquema que relacione a temperatura da fonte quente (T_1), a temperatura da fonte fria (T_2), a quantidade de calor recebido (W), a quantidade de calor liberado para a fonte fria (Q_2) e o trabalho (W). O estabelecimento dessa relação ajudará nas próximas fases do jogo.

Terceira fase

Nesta fase será introduzida a grandeza rendimento (l) e a equipe que fizer um ajuste assertivo parcial terá direito de jogar novamente. Serão mantidos os bônus das fases anteriores e será introduzido o “bônus octanagem”.

A maior pontuação ocorrerá quando as equipes ajustarem simultaneamente as duas relações: de energia e de rendimento, e será calculada pelo valor do trabalho elevado ao número de relações ajustadas (w^2). Esta forma de cálculo será mantida nas próximas fases do jogo, isto é, do trabalho elevado ao número de relações ajustadas.

Bônus Octanagem (valor do bônus 10 pontos)

Nesta fase as equipes terão a oportunidade de comprar o “Bônus Octanagem” no valor de 10 unidades de trabalho. Para isso é necessário explicar o que é a octanagem e sua influência na qualidade do combustível.

Será utilizada uma ficha ilustrativa amarela para representar o “bônus octanagem”. Terão a chance de comprar as equipes que tiverem no mínimo 10 pontos de trabalho.

- A equipe detentora desse bônus poderá transferir uma ou duas unidades de Q_2 para o W após a rolagem dos dados.

Quarta fase

Esta fase apresenta um elemento surpresa e um novo bônus, também como surpresa, que serão apresentados pelo professor.

Irá ocorrer uma mudança nas animações de feedback e as equipes poderão ajustar duas grandezas sem a rolagem dos dados. Quando a equipe tentar ligar o carro, poderá ocorrer três situações:

O carro liga normalmente e se movimenta em direção a cidade:

A equipe pontua e o valor da pontuação será o trabalho elevado ao número de relações ajustadas: W^3 .

O carro liga normalmente, mas gera muita fumaça:

Este é um evento que ocorrerá de forma aleatória. Neste caso, a equipe ficará sujeita a uma multa no valor do trabalho elevado a três (W^3)

A equipe deverá indicar pelo menos um motivo para o “baixo rendimento” do motor do seu veículo e, conseqüentemente, da poluição gerada.

Ficará a cargo da equipe multada a formulação do problema da poluição, que deverá ser resolvida por uma outra equipe que será sorteada.

As equipes detentoras dos bônus “diploma de mecânico” e “engenheiro mecânico” poderão somar a quantidade de bônus ao resultado dos dados.

Deve-se evitar formular uma situação problema complexa, com muitos aspectos técnicos. Para isso haverá um pequeno intervalo de tempo para a formulação do problema em sala e sem oportunidade de pesquisa.

Caso a equipe sorteada consiga apresentar uma solução satisfatória para o problema da poluição, na análise da turma e do professor, a equipe receberá o “bônus rendimento” e será premiada com o crachá: “amigo do planeta”, no valor de 20 pontos, por terem contribuído para a preservação do meio ambiente.

As equipes que não tiverem êxito na defesa da melhoria do veículo ficam com uma penalização de valor W^2 .

A imagem do carro enguiçado:

Será mostrada uma animação ilustrativa do carro enguiçado. O defeito será apresentado de maneira genérica, podendo ser justificado por diferentes causas e não será exigido rigor técnico na resolução do defeito.

É importante que as equipes fiquem atentas às informações do professor. Serão apresentados desafios e as equipes receberão maiores pontuações ao resolverem as situações problema que continuam sendo apresentadas a partir de então.

Os bônus da quarta fase

Bônus rendimento (Valor de 20 pontos).

Esse bônus está relacionado ao problema da poluição (multa), já citado, e sua aquisição está relacionada à resolução do problema de poluição.

- Este bônus poderá ser utilizado para transferir uma unidade de Q_1 para W ou vice-versa.
- As equipes detentoras do bônus também poderão somar até duas unidades na rolagem dos dados para concorrerem na solução da “multa” (solução para a poluição gerada pelo carro).

O Bônus Surpresa? (Valor 30 pontos)

Este bônus só será revelado pelo professor durante o jogo. Assim como outras surpresas do jogo.

Por fim...

A ação coletiva nos parece o melhor caminho na conquista de um trabalho de qualidade. Nesse sentido, você estudante, é nosso maior colaborador. Gostaríamos de receber comentários e críticas.

Divirta-se!