

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO INTERUNIDADES EM ENSINO DE CIÊNCIAS
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENSINO DE FÍSICA

**Concepção de um estilo progressivo
para atividades investigativas no ensino médio**

MONALIZA DA FONSECA

São Paulo

2023

MONALIZA DA FONSECA

**Concepção de um estilo progressivo
para atividades investigativas no ensino médio**

Versão Corrigida

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ensino de Ciências.

Área de Concentração: Ensino de Física

Orientadora: Prof. Dra. Nora Lía Maidana

São Paulo
2023

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

FICHA CATALOGRÁFICA
Preparada pelo Serviço de Biblioteca e Informação
do Instituto de Física da Universidade de São Paulo

Fonseca, Monaliza da

Concepção de um estilo progressivo para atividades investigativas no ensino médio. São Paulo, 2023.

Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo. Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências.

Orientador: Profa. Dra. Nora Lía Maidana

Área de Concentração: Ensino de Física.

Unitermos: 1. Física (Estudo e ensino); 2. Experimentação; 3. Atividades investigativas; 4. TDIC; 5. Modelos teóricos; 6. Mecânica clássica (Estudo e ensino)

USP/IF/SBI-044/2023

Agradecimentos

À professora Nora pela amizade de mais de 15 anos, por toda a orientação neste trabalho, pelos conselhos, correções, desabaços, por todo exemplo de força e perseverança como ser humano, mulher, pesquisadora e mãe de família.

Ao amigo Marcos, pela amizade de muitos anos, por poder compartilhar as alegrias e tristezas do trabalho e da vida, por toda proximidade e pelas sugestões preciosas durante todo o processo de análise que permitiram que esta proposta avançasse.

Aos colegas Rodrigo Liegel e Ricardo Paiva, pela referência como pesquisadores científicos, pela inventividade e criatividade, pela parceria na elaboração da sequência de atividades que este trabalho relata e pelas sugestões e críticas ao longo dos anos que permitiram a consolidação do que aqui será descrito.

Ao professor Vito Vanin, pelo exemplo de pesquisador, por suas constantes revisões e sugestões de melhorias no trabalho e pela imensa ajuda com todo o anexo deste trabalho.

Ao professor Agustín Adúriz-Bravo, pelas conversas e sugestões de referenciais que permitiram que esse trabalho tomasse forma.

À amiga Beth, pela amizade, incentivo e orações durante todo o período de elaboração deste trabalho e por poder dar a primeira oportunidade de aplicação da proposta que aqui será apresentada.

Ao amigo Ricardo Martins, que contribuiu com muitas ideias e execuções que permitiram concretizar as ilustrações deste trabalho.

À minha família, pelo apoio ao longo dos muitos anos de produção deste trabalho.

Ao colégio Santa Cruz, pela parceria estabelecida e por sempre proporcionar espaços para que novas estratégias de ensino possam ser desenvolvidas e aprimoradas.

Resumo

FONSECA, M. **Concepção de um estilo progressivo para atividades investigativas no ensino médio**. 2023. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências) – Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023.

Descreve-se a concepção de uma sequência didática planejada segundo o referencial do ensino por investigação a partir de um estudo sobre a composição de movimentos nos lançamentos oblíquos em Física. A metodologia de pesquisa adotada fundamentou-se em princípios do design (DBR), o que permitiu avaliar as iterações realizadas ao longo de três anos. A implementação das aplicações teve acréscimos significativos em sua estrutura, partindo do experimento “Velocidade Relativa - Trem” do laboratório online Mecânica Experimental com Imagens (MEXI) e de outros recursos de TDIC, foi possível, partindo de uma concepção modelo-teórica, modelar fenômenos e avaliar sua representatividade. As diferentes iterações da sequência visaram induzir progressivamente o processo investigativo nos estudantes e permitiram definir alguns pilares de execução. Os objetivos propostos para as diferentes etapas focaram-se em valorizar a preparação técnica para o desenvolvimento da prática científica, contextualizar e aplicar conceitos em fenômenos reais e mobilizar as habilidades desenvolvidas na construção dos modelos de análise, promovendo a divulgação científica por meio do compartilhamento dos resultados da investigação. A fim de avaliar essas diferentes instâncias, recorreu-se à análise da produção dos alunos tanto em relação à estrutura de sua argumentação quanto ao conteúdo do texto, verificando a adequação da linguagem ao contexto e a qualidade da produção em termos do entendimento das limitações da modelagem desenvolvida. Da aplicação dessa sequência, foi possível propor um estilo de atividades investigativas progressivas para o ensino médio, que podem ser expandidas para quaisquer áreas das ciências da natureza de maneira a promover o desenvolvimento de habilidades características do fazer científico.

Palavras-chave: Experimentação. Atividades investigativas. TDIC. Modelos teóricos. Mecânica clássica.

Abstract

FONSECA, M. **Conception of a progressive style for investigative activities in high school**. 2023. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências) – Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023.

This work describes the conception of a didactic sequence planned according to the teaching by research framework based on a study on the composition of movements in oblique throws in Physics. The research methodology adopted was based on design principles (DBR), which allowed to evaluate the iterations carried out over three years. The implementation had significant additions in its structure, based on the experiment “Relative Velocity - Train” from the Mechanical Experiments with Images (MEXI) online laboratory and other resources from TDIC. It was possible, starting from a model-theoretical conception to model phenomena and assess its representativeness. The different iterations of the sequence aimed to induce progressively the investigative process in students and allowed to define some pillars of the implementation. The objectives proposed for the different stages focused on valuing the technical preparation for the development of scientific practice, contextualize and apply concepts to real phenomena and mobilize skills developed along the construction of the analysis models, promoting science dissemination through the sharing of the research results. To evaluate these different instances, we resorted to the analysis of the students' production both in relation to the structure of their argumentation, as well as the text content, verifying the suitability of the language and the quality of the understanding of the developed model limitations. From the application of this sequence, it was possible to propose a style of investigative activities progressive courses intended for high school education, which can be expanded to any area of natural sciences in a way that promotes the development of skills characteristic of doing science.

Key words: Experimentation. Inquiry activities. TDIC. Theoretical models. Classical Mechanics.

Lista de Figuras

Figura 1: Itinerário formativo para o Ensino Médio (BRASIL, 2018).	25
Figura 2: Comparação entre as etapas de uma pesquisa baseada tanto em uma metodologia tradicional quanto em uma metodologia DBR (HERRINGTON, MCKENNEY, <i>et al.</i> , 2007).....	32
Figura 3: Etapas do processo de design proposto por Easterday (EASTERDAY, LEWIS e GERBER, 2013).	35
Figura 4: Etapas do processo de design proposta por Kneubil (KNEUBIL e PIETROCOLA, 2017).	37
Figura 5: Metodologia DBR proposta por Kneubil (KNEUBIL e PIETROCOLA, 2017).....	38
Figura 6: Diagrama sugerido por (EXPLORATORIUM, 2020) para uma sequência de processo investigativo (tradução livre).	44
Figura 7: Etapas do processo investigativo sugerido pelo Exploratorium (EXPLORATORIUM, 2020) (tradução livre).....	45
Figura 8: Estrutura geral de uma atividade investigativa (PEDASTEIA, MÄEOTSA, <i>et al.</i> , 2015) – tradução livre.....	59
Figura 9: Software de análise Coach. À esquerda o gráfico de posição vertical do bastão elástico em função do tempo (HECK e UYLINGS, 2011).	63
Figura 10: Representação obtida a partir do software <i>Coach</i> (HECK, KNOBBE, <i>et al.</i> , 2011).....	64
Figura 11: Modelo representacional de Giere (GIERE, 1999).....	71
Figura 12: Layout básico do argumento de Toulmin (TOULMIN, 2006).	80
Figura 13: Layout completo do argumento de Toulmin (TOULMIN, 2006).	81
Figura 14: Padrão proposto por Lawson (LOCATELLI e CARVALHO, 2007).....	82
Figura 15: Comparação entre o padrão proposto por Lawson e Toulmin (LOCATELLI e CARVALHO, 2007).	82
Figura 16: Quadro disponível para leitura de posição e tempo da experiência do Trilho de ar (ZAKI, 2006).	99
Figura 17: Página online que hospedava o experimento do trilho de ar (http://plato.if.usp.br/1-2005/fap0151d/material/relatorios/relatorio1_PROMAT.html).	100
Figura 18: Primeiro roteiro usado nos experimentos (http://plato.if.usp.br/1-2005/fap0151d/material/relatorios/relatorio1_roteiro.html).	100
Figura 19: Primeira página oficial dos experimentos (http://www.fep.if.usp.br/~fisfoto/paginaAntiga/).	101
Figura 20: Página do experimento do Rolamento (http://www.fep.if.usp.br/~fisfoto/roteiros/rolamento/roteiro_rolamento.pdf).	102
Figura 21: Página dos experimentos a partir do ano de 2016.	105
Figura 22: Imagens do movimento de uma bola lançada desde a chaminé de um trem em movimento.	108
Figura 23: Exemplo de leitura de posições da esfera para o sistema de referência adotado. O número do retângulo branco superior à direita indica o tempo em segundos.	109
Figura 24: Exemplos de registros de trajetórias ao longo do tempo.	112
Figura 25: Gráfico da velocidade em função do tempo de um movimento MRU.	113
Figura 26: Associação entre as variáveis da equação matemática e da expressão física no movimento uniforme. As setas e cores são usadas para evidenciar a correspondência.	115
Figura 27: Gráfico da velocidade em função do tempo.	117
Figura 28: Divisão entre duas áreas no gráfico de velocidade para determinação do deslocamento.	118
Figura 29: Associação entre a equação matemática e a expressão física no movimento uniformemente variável. As cores e setas destacam a correspondência das variáveis.	119
Figura 30: Representação de um vetor com direção, módulo e sentido.	120

Figura 31: Sobreposição de imagens que representam, na linha verde, a trajetória descrita pela bola ao sair da chaminé.	121
Figura 32: Representação das componentes do vetor velocidade (fora de escala) ao longo da trajetória idealizada pela linha tracejada, onde o vetor (V_x) mantém sua intensidade e o vetor (V_y) varia de intensidade ao longo do movimento de subida e descida.	122
Figura 33: Decomposição do vetor velocidade em suas componentes escalares.	123
Figura 34: Instruções para realização da atividade disponíveis no sistema eDisciplinas (https://edisciplinas.usp.br/mod/forum/discuss.php?d=405271).	125
Figura 35: Gráficos das posições horizontais e verticais em função do tempo. A equação acima do gráfico corresponde à função que melhor se ajusta aos pontos plotados.	128
Figura 36: Gráfico da velocidade vertical da bola em função do tempo.	129
Figura 37: Representação do vetor velocidade V da bola em 3 instantes diferentes.	130
Figura 38: Modelo de planilha oferecido aos alunos.	138
Figura 39: Exemplo de teste de trajetória usando o simulador e mantendo a velocidade horizontal.	139
Figura 40: Exemplo de teste de trajetória mantendo a velocidade vertical. O conjunto de pontos azul retrata a trajetória real da bola vista no vídeo, a trajetória laranja refere-se àquela na qual o trem teve sua velocidade horizontal alterada.	140
Figura 41: Esquema para o problema aberto onde aparece a Mulher elástica com o bebê e as dimensões impostas no problema.	141
Figura 42: Testes possíveis para o movimento do Zezé. Os pontos azuis representam as possíveis trajetórias do Zezé e os pontos laranjas representam o túnel.	143
Figura 43: Interface principal de um curso criado no Google Classroom (GOOGLE, 2014).	145
Figura 44: Distribuição individual de uma proposta de atividade.	146
Figura 45: Exemplo de um critério com sua definição e três indicadores.	147
Figura 46: Interface para avaliação usando rubricas.	147
Figura 47: Sistemas de referência possíveis para estudo do movimento, onde estão representados sobre cada imagem os eixos da posição vertical em função da posição horizontal.	151
Figura 48: Teste de trajetória para a bola de basquete. A bola é lançada desde uma altura de 2,5m e atinge a cesta em 3,05 m.	152
Figura 49: Simulação da trajetória do dardo vista em vídeo.	153
Figura 50: Gráfico com a distribuição da quantidade de alunos que apresentou cada um dos itens.	159
Figura 51: Exemplos de representação da situação com marcação das distâncias. As sinalizações em vermelho são correções apontadas pelos professores.	169
Figura 52: Exemplos de representação da situação com marcação das posições. As sinalizações em vermelho são correções apontadas pelos professores.	170
Figura 53: Exemplos de funções horárias de posição apresentadas pelos alunos. As sinalizações em vermelho são correções apontadas pelos professores em relação à ausência das funções horárias de posição em uma das duas direções.	172
Figura 54: Exemplos de ângulos de lançamento obtidos. As marcações em vermelho são sinalizações dos professores em relação ao procedimento adotado para obtenção do ângulo de lançamento. ..	174
Figura 55: Distribuição da contagem de alunos em cada critério das rubricas do Experimento do trem.	183
Figura 56: Desempenho geral dos estudantes no Experimento do trem.	183
Figura 57: Distribuição dos indicadores para cada critério do Simulador do trem.	184
Figura 58: Desempenho geral dos estudantes no Simulador de lançamentos.	186
Figura 59: Distribuição da contagem de alunos em cada critério das rubricas do Lançamento nos esportes.	187
Figura 60: Desempenho geral dos estudantes no Lançamento nos esportes.	187
Figura 61: Referenciais aplicados à metodologia DBR.	191
Figura 62: Esquema NAED para a atividade apresentada.	209
Figura 63: A cruzinha indica o ponto da bolinha que será usado na leitura das posições.	231

Lista de Quadros

Quadro 1: Comparação entre a abordagem investigativa de Hoftein e Balogová (HOFSTEIN, NAVON, et al., 2005; BALOGOVIÁ e JEŠKOVÁ, 2018).....	53
Quadro 2: Transcrição parcial da sugestão de rubricas apresentada por Marcheti (MARCHETI, 2020).	94
Quadro 3: Transcrição parcial de exemplos de critérios de avaliação por menção apresentados por Marcheti (MARCHETI, 2020).....	94
Quadro 4: Etapas para análise do experimento do trem.....	126
Quadro 5: Objetivos gerais e específicos do experimento do Trem.	135
Quadro 6: Objetivos gerais e específicos da segunda parte da sequência.....	137
Quadro 7: Novos objetivos gerais e específicos da terceira parte da sequência.	148
Quadro 8: Etapas da atividade divididas segundo a classificação proposta.....	156
Quadro 9: Exemplo de classificação de acordo com a divisão apresentada na Quadro 8, que analisa a produção solicitada.	158
Quadro 10: Exemplos de relatos com raciocínio considerado insuficiente.	160
Quadro 11: Categorias de respostas encontradas para a o tipo de movimento descrito pela bolinha.	162
Quadro 12: Categorias de respostas encontradas para o tipo de movimento na horizontal.	163
Quadro 13: Categorias de respostas encontradas para o tipo de movimento na vertical.	164
Quadro 14: Categorias de respostas para a verificação de compatibilidade do gráfico da velocidade vertical V_y em função do tempo.	164
Quadro 15: Categorias de respostas encontradas para as consequências de se variar a V_x da bolinha.	165
Quadro 16: Categorias de respostas encontradas para as consequências de se variar a V_y da bolinha.	166
Quadro 17: Categorias de respostas encontradas para o porquê de a bolinha voltar para a chaminé.	167
Quadro 18: Categorias de respostas encontradas para o ângulo de lançamento em cada referencial.	167
Quadro 19: Síntese esquemática das três partes da sequência.	177
Quadro 20: Rubricas do Experimento do trem.	178
Quadro 21: Rubricas do Simulador de lançamentos.	179
Quadro 22: Rubricas do Simulador de lançamentos.	180
Quadro 23: Rubricas do Lançamento nos esportes.	181
Quadro 24: Rubricas do Lançamento nos esportes.	182
Quadro 25: Etapas da DBR (EASTERDAY, LEWIS e GERBER, 2013) aplicadas à sequência investigativa.	192
Quadro 26: Sequência 1 – O uso das TDIC como estratégia para criação de modelos de lançamento oblíquo.....	214
Quadro 27: Sequência 2 – As células das folhas como estratégia para o desenvolvimento de uma metodologia científica.	215
Quadro 28: Sequência 3 – Controle de qualidade de bebidas: verificação experimental da concentração de açúcares indicada nos rótulos.	216

Lista de Tabelas

Tabela 1: Primeiros dados de tempo e posições lidos das imagens do Conjunto 1.A e exemplo de velocidade calculada.	128
Tabela 2: Parâmetros e dados obtidos para um lançamento arbitrário.	152

Sumário

Introdução	19
Apresentação e motivações	19
Base Nacional Comum Curricular (BNCC).....	21
Capítulo 1.....	29
Referenciais	29
1.1. Design based Research.....	29
1.2. Referenciais teóricos (princípios do <i>design</i>)	39
1.2.1. Contextualização	40
1.2.2. Investigação.....	42
1.2.3. Modelagem.....	65
1.3. Referenciais analíticos.....	72
1.3.1. Argumentação	72
1.3.2. Os jogos de linguagem de Wittgenstein	84
1.3.3. Rubricas.....	92
Capítulo 2.....	97
A evolução do MEXI e o experimento online do Trem.....	97
2.1. O experimento online do Trem	108
A Física por trás do experimento	110
O movimento retilíneo uniforme (MRU).....	113
O movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV)	115
2.1.1. Adaptações do experimento para o curso de graduação	124
2.1.2. Adaptação para o ensino médio	126
Capítulo 3.....	133
Iterações	133
3.1. A física do lançamento oblíquo (2018).....	134
3.1.1. O experimento do trem	134
3.2. O trem como um problema investigativo (2019)	136
3.2.1. O simulador de lançamentos	136
3.2.2. Um problema fictício: O lançamento do Zezé	140
3.3. Uma iniciativa de modelagem (2020).....	144
3.3.1. Google Classroom.....	145
3.3.1. O lançamento nos esportes.....	148

Capítulo 4.....	155
Análise e discussão das iterações	155
4.1. Argumentos (2018)	155
4.1.1. Produção dos alunos	156
4.2. Expressões e representações do Jogo da Cinemática (2019).....	161
4.2.1. Análise de expressões – Simulador de movimentos	161
4.2.2. Lançamento do Zezé	168
4.3. Modelos de simuladores (2020).....	176
4.3.1. Rubricas de correção para a sequência didática sobre lançamentos oblíquos....	178
4.3.2. Análise sob a ótica da investigação e da modelagem	189
Capítulo 5.....	191
A DBR em análise	191
5.1. A contextualização e a argumentação (2018)	193
5.2. As TDIC e a investigação (2019).....	195
5.3. A modelagem (2020)	198
Capítulo 6.....	203
A investigação progressiva NAED.....	203
6.1. Nivelamento (N)	204
6.2. Alicerce (A)	205
6.3. Edificação (E)	206
6.4. Divulgação (D).....	208
6.5. NAED na prática – O Laboratório Investigativo de Ciências (LABIC)	210
6.6. Sugestões de sequências <i>NAED</i> para o Ensino Médio.....	213
Capítulo 7.....	219
Considerações finais.....	219
Referências bibliográficas	223
Anexos	231
1. Roteiro da atividade Experimento do Trem usado em 2018	231
2. Roteiro do Experimento do Trem e do Simulador de lançamentos (2019).....	235
3. Roteiro da atividade Lançamento do Zezé usado em 2019	239
4. Roteiro da atividade Experimento do trem usado em 2020	241
5. Roteiro da atividade Simulador de lançamentos usado em 2020	245
6. Roteiro da atividade Lançamento nos esportes usado em 2020	249
7. Relatórios dos alunos	253

Introdução

Apresentação e motivações

O trabalho que aqui será apresentado é consequência de um longo processo de aprimoramento que vem ocorrendo desde 2015, após minha defesa da [dissertação de Mestrado](#) (FONSECA, 2015). A proposta defendida naquele ano baseou-se na análise de um dos experimentos online disponíveis na página do Mecânica Experimental com Imagens (MEXI - www.fep.if.usp.br/~fisfoto) que verificava a compreensão dos alunos sobre o movimento de um giroscópio. Esse experimento foi realizado com alunos da graduação em licenciatura em Física no Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP).

Pautando-se em ideias de Ausubel e Piaget e conceitos de subsunção e equilíbrio, buscou-se verificar o nível de assimilação dos alunos em relação a atividade que havia sido proposta. Aquela atividade era apresentada de maneira roteirizada, de modo que os participantes tinham uma liberdade menor de tomar iniciativas ou aproveitarem de maneira diferente o material que estava disponível. A análise do experimento era baseada em itens e questões complementares que direcionavam a compreensão acerca do fenômeno em estudo. Ao final daquele ano e com a posterior defesa deu-se início a reflexão sobre uma nova metodologia para se aplicar os experimentos do laboratório, dentre elas destacou-se as tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC). Dentre as muitas categorias propostas para atividades dessa natureza como as simulações, os programas (softwares) e os laboratórios remotos, a estratégia usada nos experimentos do MEXI integravam uma nova categoria, os experimentos reais filmados (FONSECA, 2015), um âmbito de laboratório experimental que utiliza imagens extraídas de filmagens de situações reais para realização de análises quantitativas, processo no qual habilidade no manuseio de planilhas computacionais, construção de gráficos e ajustes de funções são desenvolvidas.

As reflexões acerca das atividades do MEXI não diziam respeito à metodologia de construção de cada experimento, mas sim a maneira como eles eram propostos e como uma atividade construída seguindo aqueles padrões poderia se tornar mais aberta, dando mais autonomia para que o aluno realizasse sua análise, refletisse e argumentasse sobre ela. Além disso, novos desafios vinham se apresentando a partir do momento em que se procurava expandir o uso do MEXI para um novo ambiente de aplicação: o ensino médio. Até então esse laboratório *online* só tinha sido usado em cursos de graduação, inicialmente por

professores que faziam parte do grupo de pesquisa que o elaborou e posteriormente por outros professores parceiros da universidade, no entanto, sempre em nível superior.

As primeiras tentativas de uso do MEXI em nível médio apontaram para uma necessidade de adaptação dos roteiros propostos no site e até mesmo uma redução na quantidade de imagens que deveriam ser analisadas pelos estudantes. Para que essas aplicações continuassem sendo realizadas, estabeleceu-se uma parceria entre os desenvolvedores da página e os professores do Colégio Santa Cruz, localizado na cidade de São Paulo – SP, local no qual todas as iterações deste trabalho foram realizadas.

O ensino médio é um período de grandes escolhas para os estudantes, a opção por uma área que se mostre mais interessante e uma carreira acadêmica onde possam se sentir realizados são grandes questões. Assim, as diferentes disciplinas oferecidas vêm para apresentar um conjunto de áreas do conhecimento possíveis de se envolver. Uma questão nessa etapa escolar, queixa também da escola anteriormente citada, é a falta de espaços que permitam aos estudantes desenvolverem habilidades do fazer científico. Por mais que as disciplinas de ciências tentem abarcar essas demandas, o conteúdo curricular teórico muitas vezes se sobrepõe a elas. Um ambiente dessa natureza abriria espaço para que propostas investigativas pudessem ser feitas, dando uma liberdade maior para o desenvolvimento do raciocínio reflexivo, da argumentação, levantamento de hipóteses, desenvolvimento de metodologias, coleta e análise de dados e elaboração de conclusões. Aptidões desse tipo não são específicas de disciplinas individuais, mas são comuns a todas as áreas das Ciências Naturais. Muitos desses anseios se somaram às questões das atividades *online* roteirizadas, as quais, devido sua estrutura de construção, limitava a autonomia dos estudantes, dificultando o desenvolvimento das mesmas habilidades. Essas percepções permitiram delimitar alguns **objetivos específicos** para este trabalho:

- Transformar atividades roteirizadas em um recurso didático que permita um processo reflexivo e argumentativo.
- Possibilitar que o processo investigativo no ensino médio desenvolva linguagens e habilidades características do fazer científico.
- Favorecer a apropriação de um vocabulário característico para expressar e descrever os fenômenos e seus respectivos modelos segundo uma terminologia científica coerente com determinada matriz disciplinar.
- Elucidar caminhos de atuação do professor no processo investigativo dos estudantes dentro de um ambiente favorável à prática.

A reflexão acerca dessas especificidades delimitou como **objetivo geral** deste trabalho a proposição de um estilo progressivo para uma sequência de ensino e aprendizagem a partir da: (i) constatação da necessidade de uma abordagem didático-pedagógica que valorize o desenvolvimento de habilidades na área das ciências da natureza; (ii) ponderação das limitações existentes entre uma previsão teórica e resultados experimentais a partir da construção de modelos teóricos e (iii) definição de pilares de aplicação que incentivem e auxiliem a execução de atividades segundo uma abordagem investigativa.

O desenvolvimento deste trabalho começou com uma primeira adaptação em 2018 com a aplicação de um experimento do MEXI nas aulas de Física, de modo que nos dois anos seguintes, após reajustes pertinentes ela seria reaplicada. No entanto, no ano de 2019, a exigência da implantação de uma nova estrutura para os cursos de ensino médio fez com que fossem agregadas outras perspectivas para uma nova abordagem. Tratava-se da criação da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), homologada pelo Ministério da Educação (MEC), com vistas a unificar o ensino nas diversas instituições pelo país e que garantisse a todos os estudantes uma base comum no ensino. A fim de propor ajustes nas atuais propostas de ensino, fez-se uma análise das sugestões trazidas por esse documento de modo a incorporar os objetivos ali propostos às novas estruturas das atividades até então aplicadas.

Base Nacional Comum Curricular (BNCC)

Este documento normativo, escrito sob a regência da Lei de Diretrizes e Bases (LDB 9394/1996) e sob os preceitos das Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN), tem por objetivo ser a referência nacional para a elaboração dos currículos dos sistemas de ensino.

Referência nacional para a formulação dos currículos dos sistemas e das redes escolares dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios e das propostas pedagógicas das instituições escolares, a BNCC integra a política nacional da Educação Básica e vai contribuir para o alinhamento de outras políticas e ações, em âmbito federal, estadual e municipal, referentes à formação de professores, à avaliação, à elaboração de conteúdos educacionais e aos critérios para a oferta de infraestrutura adequada para o pleno desenvolvimento da educação (BRASIL, 1996).

As chamadas aprendizagens essenciais concorrem para assegurar o desenvolvimento de competências gerais, as quais são entendidas como uma “*mobilização de conhecimentos (conceitos e procedimentos), habilidades (práticas, cognitivas e socioemocionais), atitudes e valores para resolver demandas complexas da vida cotidiana, do pleno exercício da cidadania e do mundo do trabalho*” (BRASIL, 2018).

O documento foi elaborado de modo que tais competências sejam desenvolvidas e se inter-relacionem ao longo das três etapas do processo educacional (Educação Infantil,

Ensino Fundamental e Ensino Médio) contribuindo para a construção de conceitos e desenvolvimento de habilidades.

Ancorada em marcos constitucionais, a BNCC retoma alguns trechos da LDB para justificar sua ação unificadora.

estabelecer, em colaboração com os Estados, o Distrito Federal e os Municípios, competências e diretrizes para a Educação Infantil, o Ensino Fundamental e o Ensino Médio, que norteiarão os currículos e seus conteúdos mínimos, de modo a assegurar formação básica comum (BRASIL, 2018, p. 12).

Nos termos desse novo documento são estabelecidos dois conceitos gerais para o desenvolvimento da questão curricular no Brasil.

O primeiro, já antecipado pela Constituição, estabelece a relação entre o que é básico-comum e o que é diverso em matéria curricular: as competências e diretrizes são comuns, os currículos são diversos. O segundo se refere ao foco do currículo. Ao dizer que os conteúdos curriculares estão a serviço do desenvolvimento de competências, a LDB orienta a definição das aprendizagens essenciais, e não apenas dos conteúdos mínimos a ser ensinados (BRASIL, 2018, p. 13).

A distinção entre o que é comum e o que é diverso se vê refletido no artigo 26 da LDB.

os currículos da Educação Infantil, do Ensino Fundamental e do Ensino Médio devem ter base nacional comum, a ser complementada, em cada sistema de ensino e em cada estabelecimento escolar, por uma parte diversificada, exigida pelas características regionais e locais da sociedade, da cultura, da economia e dos educandos (BRASIL, 1996).

Já em 2014, com a promulgação do Plano Nacional de Educação (PNE) reitera-se a necessidade de se estabelecer uma base nacional comum que oriente os currículos no país e que sirva de subsídio para garantia dos direitos de aprendizagem, respeitando-se a diversidade de cada região. As constantes complementações e atualizações na LDB passaram a expressar de maneira objetiva as finalidades da educação, desde a questão dos direitos e objetivos da aprendizagem, até quais competências e habilidades esperam-se que ela desenvolva.

O Ensino Médio proposto pela BNCC possui alguns traços característicos. Dentro da sua nova perspectiva de formação, essa etapa deve consolidar uma escola que **acolha as diversidades**, que garanta aos estudantes um **protagonismo** no processo de escolarização e que lhes dê subsídios para gerir seus **projetos de vida**. Dessa forma, o documento é estruturado norteando-se pelas competências a serem desenvolvidas ao longo da Educação Básica. Relacionadas à essas competências estão as habilidades que representam as aprendizagens essenciais que devem ser garantidas aos estudantes do Ensino Médio.

Com relação à essa etapa do ensino, a BNCC demonstra um compromisso de torná-lo acessível, garantindo a permanência dos estudantes e buscando atender às suas demandas e aspirações.

Nesse cenário cada vez mais complexo, dinâmico e fluido, as incertezas relativas às mudanças no mundo do trabalho e nas relações sociais como um todo representam um grande desafio para a formulação de políticas e propostas de organização curriculares para a Educação Básica, em geral, e para o Ensino Médio, em particular. (BRASIL, 2018, p. 464).

Consciente da diversidade do público que se encontra nessa fase de escolarização, a BNCC busca estabelecer uma maneira de acolher a todos proporcionando uma educação capaz de formar jovens críticos, proporcionando-lhes “diversas maneiras de ler a realidade e de enfrentar desafios da contemporaneidade”

O mundo deve lhes ser apresentado como campo aberto para investigação e intervenção quanto a seus aspectos políticos, sociais, produtivos, ambientais e culturais, de modo que se sintam estimulados a equacionar e resolver questões legadas pelas gerações anteriores – e que se refletem nos contextos atuais –, abrindo-se criativamente para o novo (BRASIL, 2018, p. 463).

Nesse sentido busca-se oferecer aos estudantes uma educação integral. Educação essa no sentido de abranger diversos âmbitos, quer físicos, cognitivos ou emocionais. Nesse viés, o novo ensino médio deve incentivar o desenvolvimento da capacidade dos alunos de abstrair, refletir e propor ações ao buscar atingir seus objetivos pessoais; optar por desenvolver situações de aprendizagem que sejam compatíveis com a realidade de seu público e promover atividades em equipe de modo a enfrentar problemas relevantes para o contexto no qual os estudantes estão imersos (BRASIL, 2018).

O Ensino Médio, enquanto etapa final da escolarização básica, além de ser necessário para formação do cidadão global também deve ser suficiente para fornecer aos estudantes uma preparação básica para o trabalho. Almeja-se que eles sejam capazes de relacionar conteúdos teóricos com realidades práticas e que consigam enxergar em novos contextos, as constantes demandas por atualização na solução de velhos problemas. Em relação à essa questão, a BNCC deixa bastante explícito em que tipo de competências o novo ensino médio deve focar.

(...) a preparação para o mundo do trabalho não está diretamente ligada à profissionalização precoce dos jovens – uma vez que eles viverão em um mundo com profissões e ocupações hoje desconhecidas, caracterizado pelo uso intensivo de tecnologias –, mas à abertura de possibilidades de atuação imediata, a médio e a longo prazos e para a solução de novos problemas (BRASIL, 2018, p. 465).

Ainda em relação à formação integral do estudante, espera-se que o cidadão formado evolua enquanto pessoa humana, respeitando as diversidades, favorecendo o diálogo, combatendo todas as formas de discriminação e participando politicamente na criação de projetos sociais pautados na justiça pessoal, visando a solidariedade e sustentabilidade (BRASIL, 2018, p. 466).

A BNCC foi estruturada desde os anos iniciais do ensino, de modo que para atingir tais propostas seria necessário seu cumprimento desde o começo do processo formativo do indivíduo. Ficaria a cargo do Ensino Médio dar continuidade a esse processo “*consolidando e aprofundando os conhecimentos adquiridos*” nas séries anteriores. Para que isso seja possível, se fez necessário repensar a organização curricular que, segundo o documento, apresenta atualmente “*excesso de componentes curriculares e abordagens pedagógicas distantes das culturas juvenis*” (BRASIL, 2018, p. 14).

Com intuito de possibilitar novos rumos na formação do indivíduo, a LDB 9394/1996 foi alterada com a Lei nº 13.415/2017 de modo a organizar o currículo do Ensino Médio por áreas de conhecimento e itinerários formativos.

Art. 36. O currículo do ensino médio será composto pela Base Nacional Comum Curricular e por itinerários formativos, que deverão ser organizados por meio da oferta de diferentes arranjos curriculares, conforme a relevância para o contexto local e a possibilidade dos sistemas de ensino, a saber:

- I - linguagens e suas tecnologias;
- II - matemática e suas tecnologias;
- III - ciências da natureza e suas tecnologias;
- IV - ciências humanas e sociais aplicadas;
- V - formação técnica e profissional (BRASIL, 2017).

Em relação aos itinerários (Figura 1), a BNCC faz uma ressalva de que se trata de itinerários formativos acadêmicos, o que supõe o “*aprofundamento em uma ou mais áreas curriculares e a itinerários da formação técnica profissional*” (BRASIL, 2018, p. 467).



Figura 1: Itinerário formativo para o Ensino Médio (BRASIL, 2018).

Nesse sentido, o currículo escolar passa a ter uma nova estrutura com vistas a valorizar os múltiplos interesses dos estudantes. A organização por disciplinas deixa de existir, passando agora a um ordenamento por áreas, os quais não necessariamente fazem menção a todos os componentes curriculares que outrora eram elencados. Nessa nova concepção, um currículo flexível e com uma oferta diversificada daria ao aluno liberdade de compor seu percurso formativo contemplando seus interesses pessoais.

Em relação ao tempo destinado a cumpri-los, a Lei nº 13.415/2017, traz alguns esclarecimentos.

§ 5º A carga horária destinada ao cumprimento da Base Nacional Comum Curricular não poderá ser superior a mil e oitocentas horas do total da carga horária do ensino médio, de acordo com a definição dos sistemas de ensino (BRASIL, 2017).

Na nova proposta de Ensino Médio, o conteúdo proposto pela BNCC deveria compreender um mínimo de 75% da carga horária. As demais horas seriam destinadas à proposição de itinerários formativos diversos. Nessa composição, o Parecer homologado CNE/CEB Nº: 3/2018 que resultou na Lei nº 13.415/2017, sugere a organização de assuntos diversificados para, por exemplo, a área das Ciências da Natureza.

III – ciências da natureza e suas tecnologias – aprofundamento de conhecimentos estruturantes para aplicação de diferentes conceitos em contextos sociais e de trabalho, organizando arranjos curriculares que permitam estudos em astronomia, metrologia, física geral, clássica, molecular, quântica e mecânica, instrumentação, ótica, acústica, química dos produtos naturais, análise de fenômenos físicos e químicos, meteorologia e climatologia, microbiologia, imunologia e parasitologia, ecologia, nutrição, zoologia, dentre outros, considerando o contexto local e as possibilidades de oferta pelos sistemas de ensino (BRASIL, 2018).

Os conteúdos sugeridos no parecer abrem aos estabelecimentos uma variedade de opções para elaborar percursos formativos. A oferta diversa permitiria ao aluno optar por assuntos que lhe interessassem e que por sua vez estimulassem seu processo de aprendizagem. Toda essa oferta aos estudantes está permeada por algumas competências que se espera que sejam desenvolvidas.

Em meio à definição de dois módulos de conteúdo a serem oferecidos aos alunos, um baseado em um núcleo comum e outro advindo de uma oferta diversificada, a BNCC faz uma breve categorização entre as competências almejadas. Em relação às competências gerais, estas são as mesmas 10 competências que orientam a educação básica (BRASIL, 2018), sendo a segunda bastante relevante e propícia para ser desenvolvida na área das Ciências da Natureza

Exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções (inclusive tecnológicas) com base nos conhecimentos das diferentes áreas (BRASIL, 2018, p. 9).

Sobre as competências específicas, estas variam de acordo com cada área do conhecimento. Dentro da área das Ciências da Natureza propõe-se que elas direcionem para que os estudantes possam construir e usar conhecimentos específicos.

[O Ensino Médio] Trata a investigação como forma de engajamento dos estudantes na aprendizagem de processos, práticas e procedimentos científicos e tecnológicos, e promove o domínio de linguagens específicas, o que permite aos estudantes analisar fenômenos e processos, utilizando modelos e fazendo previsões. Dessa maneira, possibilita aos estudantes ampliar sua compreensão sobre a vida, o nosso planeta e o universo, bem como sua capacidade de refletir, argumentar, propor soluções e enfrentar desafios pessoais e coletivos, locais e globais (BRASIL, 2018, p. 472).

A etapa do Ensino Médio deve promover o desenvolvimento do espírito científico nos estudantes, proporcionando a eles situações em que possam se expressar usando linguajar próprio das Ciências.

Isso significa, por exemplo, garantir: o uso pertinente da terminologia científica de processos e conceitos (como dissolução, oxidação, polarização, magnetização, adaptação, sustentabilidade, evolução e outros); a identificação e a utilização de unidades de medida adequadas para diferentes grandezas; ou, ainda, o envolvimento em processos de leitura, comunicação e divulgação do conhecimento científico, fazendo uso de imagens, gráficos, vídeos, notícias, com aplicação ampla das tecnologias da informação e comunicação. Tudo isto é fundamental para que os estudantes possam entender, avaliar, comunicar e divulgar o conhecimento científico, além de lhes permitir uma maior autonomia em discussões, analisando, argumentando e posicionando-se criticamente em relação a temas de ciência e tecnologia. [...]

Pretende-se, também, que os estudantes aprendam a estruturar discursos argumentativos que lhes permitam avaliar e comunicar conhecimentos produzidos, para diversos públicos, em contextos variados, utilizando diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC), e implementar propostas de intervenção pautadas em evidências,

conhecimentos científicos e princípios éticos e socioambientalmente responsáveis (BRASIL, 2018, p. 552).

Juntamente com cada competência, a BNCC faz um levantamento de habilidades relacionadas à cada uma delas e o que se espera que sejam desenvolvidas pelos estudantes. O conteúdo que antes era separado por assuntos específicos nas disciplinas (Física, Química e Biologia), agora são apresentados de maneira interligada, são meios pelos quais se espera que o aluno desenvolva sua aprendizagem e atinja as já elencadas habilidades. Nessa nova proposta, o professor há de fazer um raciocínio que até então não era o tradicional. Deve-se pensar quais conteúdos seriam necessários para que se pudessem desenvolver determinadas habilidades.

A nova proposta do Ensino Médio, ancorada na BNCC, deve estar vinculada às mudanças também desenvolvidas no Ensino Fundamental. Nesse estágio final do aprendizado básico, espera-se que os estudantes “*ampliem as habilidades investigativas desenvolvidas no ensino Fundamental, apoiando-se em análises quantitativas e na avaliação e na comparação de modelos explicativos* (BRASIL, 2018, p. 538).” Essa nova concepção levou muitas instituições de ensino a refletir sobre como a até então estrutura escolar seria afetada. Foi o que aconteceu com o Colégio Santa Cruz, local onde o desenvolvimento deste trabalho ocorreu.

Dessa forma, diferente da primeira iteração que ocorreu nas aulas de Física, a segunda e terceira iteração ocorreu nas aulas de laboratório de ciências, que contava com a participação dos professores de Biologia, Química e Física simultaneamente. A abertura desse espaço na grade horária tinha por finalidade criar uma maneira de cumprir os apontamentos feitos pela BNCC.

O relato da construção e progressão das iterações é o propósito deste trabalho, o qual toma a DBR (*Design based research*) como metodologia de pesquisa, que será mais bem descrita no [Capítulo 1](#). Ela se mostra bastante propícia uma vez que quando uma aplicação era realizada, posteriormente, diversas observações ocorriam para que ajustes e melhorias pudessem ser efetuados quando os experimentos fossem novamente propostos. Esse processo apontou para a possibilidade de estudo da evolução de uma sequência de atividades, que posteriormente abarcaria novos referenciais teóricos que viriam a compor os princípios de *design* característicos de cada uma das três iterações ao longo dos anos de 2018, 2019 e 2020.

Assim, na divisão deste trabalho, o [primeiro Capítulo](#) apresenta inicialmente o referencial DBR como metodologia que direciona todas as iterações da atividade proposta. Além, disso, por ser uma metodologia que demanda alguns princípios e com eles novos referenciais de apoio, serão apresentados os referenciais teóricos e analíticos que foram agregados ao longo das aplicações da atividade. Dentre eles os referenciais teóricos que deram apoio para formulação das novas iterações, como a contextualização, a investigação e a modelagem e como os referenciais analíticos que auxiliaram no processo de avaliação dos resultados apresentados, a argumentação, os jogos de linguagem e as rubricas de correção.

O [segundo Capítulo](#) apresenta tanto a descrição do ambiente *online* do MEXI (Mecânica Experimental com Imagens) quanto de um de seus experimentos e a física envolvida no seu estudo. Esse ambiente, inicialmente construído para dar apoio a disciplinas teóricas de Mecânica oferecidas em cursos de graduação, teve o experimento do “Trem – Velocidade relativa” adaptado para ser realizado por alunos do ensino médio.

No [Capítulo 3](#) são descritas as iterações realizadas nos anos de 2018, 2019 e 2020, destacando as observações feitas ao final de cada ano e quais modificações e melhorias foram possíveis para o seguinte.

No [Capítulo 4](#) são avaliados os resultados obtidos em cada aplicação a partir dos referenciais inicialmente apresentados. Destacam-se tanto as produções dos alunos individualmente quanto os coletivos, buscando detectar em que etapa a atividade atingiu os objetivos inicialmente propostos e como esse fato era comunicado aos estudantes.

Na sequência, no [Capítulo 5](#), é realizada uma análise aplicando a metodologia DBR ao processo de execução das três iterações. Em cada uma delas identifica-se o princípio do *design* agregado, de modo a se evidenciar uma progressão na atividade de cada ano.

O [Capítulo 6](#) apresenta o resultado das aplicações dos três anos e como elas permitiram consolidar uma estratégia progressiva para se propor atividades investigativas no ensino médio.

O [Capítulo 7](#) sintetiza esse trabalho apontando como as iterações apresentadas no trabalho se refletem na proposta progressiva defendida e como essa estratégia pode se refletir em outras aplicações que valorizem o desenvolvimento de habilidades do fazer científico.

Capítulo 1

Referenciais

Este trabalho foi realizado em três etapas, que foram desenvolvidas segundo o referencial metodológico DBR (*Design-based research*). Essa metodologia se sustenta em outros referenciais específicos que foram agregados às diferentes etapas do trabalho. A primeira iteração teve como fundamentos, referenciais relacionados ao uso das TDIC e a sua contextualização. Em relação à avaliação definiu-se uma metodologia baseada nos processos argumentativos. A segunda iteração deu à proposta uma abordagem investigativa, sendo então baseada em referenciais dessa área; com relação à avaliação associou-se a ideia de jogos de linguagem de Wittgenstein ao uso adequado da linguagem científica para descrever o experimento em estudo. Na terceira iteração, mantiveram-se os referenciais anteriormente definidos agregando-se a eles as chamadas rubricas de correção, que permitiram uma classificação da produção dos alunos em relação aos níveis de adequação de suas produções aos objetivos propostos. A seguir, é apresentado tanto o referencial DBR quanto o arcabouço de referenciais que foram sendo incorporados a cada iteração.

1.1. Design based Research

Design-based research (DBR) é uma metodologia de pesquisa, que pode ser aplicada em qualquer área do conhecimento com o objetivo de melhorar as práticas educacionais por meio de uma revisão sistemática, flexível e interativa que incorpore mudanças orientadas a cumprir com esses objetivos (COBB, CONFREY, *et al.*, 2003). Por ser uma palavra carregada de sentidos, será usada a palavra original, sem tradução, sendo que no contexto deste trabalho ela terá sempre esse significado, em outras ocasiões a ideia contida no termo DBR será substituída por *design*, simplesmente. Trata-se de uma combinação das pesquisas científicas na área da educação com as efetivas construções em ambientes de aprendizagem que busca compreender como, quando e por que as inovações educacionais funcionam na prática. A metodologia DBR incorpora referenciais teóricos sobre ensino e aprendizagem e auxilia a compreensão entre teoria educacional, materiais desenvolvidos e a aplicação prática (BELL, HOADLEY, *et al.*, 2003). Essa alternativa não é guiada exclusivamente por uma

teoria, mas incrementada durante o processo, de modo que a “teoria deriva seu propósito da aplicação e a aplicação deriva seu potencial da teoria”, originando uma sequência em espiral com a finalidade de alcançar uma versão melhor do processo.

[...] experimentos de design foram desenvolvidos como uma forma de realizar uma pesquisa formativa para testar e aperfeiçoar projetos educacionais com base em princípios teóricos derivados de pesquisa prévia. Esta abordagem de refinamento progressivo em 'design' envolve a colocação de uma primeira versão de um projeto para o mundo ver como ele funciona. Em seguida, o projeto é constantemente revisado baseado na experiência, até que todos os erros sejam trabalhados (COLLINS, JOSEPH e BIELACZYCKATE, 2003) tradução nossa.

A metodologia DBR visa identificar um problema ou uma oportunidade, explorar sua história ou fornecer um argumento convincente e persuasivo de que esse problema é significativo e vale a pena ser pesquisado. Essas pesquisas focam-se em projetar e explorar toda a proposta educacional desenvolvida, desde o geral até aspectos menos concretos como suas etapas, habilidades iniciais requeridas, contexto em que foi elaborada, currículo da instituição etc. Pesquisas baseadas no *design* não se detêm apenas em projetar e testar intervenções específicas, elas partem de pressupostos teóricos sobre o ensino e a aprendizagem dos conteúdos, firmando um compromisso em compreender as relações existentes entre a teoria, a elaboração e a efetiva aplicação em sala de aula (BELL, HOADLEY, *et al.*, 2003).

Nessa perspectiva, profissionais da educação e pesquisadores devem trabalhar juntos para produzir mudanças significativas no contexto de aplicação. As técnicas de pesquisa usadas, a aquisição de um conjunto de dados descritivos, análise sistemática e busca de generalizações e exceções dependerá das parcerias estabelecidas entre esses profissionais. Essa colaboração significa que os objetivos e as particularidades da proposta são extraídos dos contextos locais, assim como quais intervenções deverão ser feitas pelo pesquisador. Essa parceria em várias instâncias pode vir a revelar relações entre as inúmeras variáveis que entram em jogo durante a prática, ajudando a refinar as estratégias e melhorias da intervenção (BELL, HOADLEY, *et al.*, 2003). A manutenção de uma parceria colaborativa produtiva entre professores e pesquisadores mantém-se como um desafio logístico para a metodologia DBR:

Como uma única linha de pesquisa geralmente investiga vários ciclos de design, execução e estudo, o trabalho pode durar anos e coincidir com compromissos de pesquisadores e professores. De fato, exemplos bem-sucedidos de pesquisa baseada em design geralmente são conduzidos em um único ambiente por um longo tempo e o sucesso da inovação e o conhecimento adquirido com seu estudo dependem em parte da capacidade de sustentar a parceria entre pesquisadores e professores (BELL, HOADLEY, *et al.*, 2003).

Nesse sentido, o pesquisador é colocado em um papel duplo, tanto de defensor de sua proposta quanto de crítico, sendo necessário, dentro da metodologia, explorar diferentes estratégias que permitam questionar suas suposições. O fato de o pesquisador estar completamente envolvido em todo o processo de conceituação, construção, desenvolvimento, implementação e pesquisa de uma abordagem pedagógica, tem sido motivo de críticas em relação ao uso da metodologia (ANDERSON e SHATTUCK, 2012). Para esses pesquisadores, a prática DBR é desenhada por e para educadores com o intuito de aumentar o impacto, a transferência e a tradução da pesquisa em educação em melhores práticas. Eles entendem a aplicação dessa metodologia segundo algumas definições: pesquisa situada em um contexto educacional real, pesquisa focada na construção e teste de uma intervenção significativa, uso de métodos mistos, processo com diferentes iterações, colaboração entre professores e pesquisadores e definição de princípios do *design*. Segundo os autores, seu uso demanda um período maior para que resultados possam ser notados:

As intervenções desenvolvidas nestes estudos podem ser caracterizadas como pequenas melhorias no *design*, introdução e teste de tecnologias e práticas sustentáveis em sala de aula ou contextos de educação a distância. No entanto, mesmo pequenas mudanças podem ter efeitos a longo prazo (ANDERSON e SHATTUCK, 2012, p. 24).

Assim como em uma linha de produção, a evolução da aplicação ocorrerá a partir da criação e teste de protótipos que serão refinados a cada iteração. As intervenções DBR raramente são projetadas e implementadas perfeitamente; sempre haverá espaço para melhorias no projeto em uma avaliação posterior.

Segundo Herrington e colaboradores (HERRINGTON, MCKENNEY, *et al.*, 2007), as metodologias de pesquisa procuram demonstrar, por exemplo, de forma recorrente, como as TDIC podem melhorar o processo de aprendizagem dos alunos em comparação ao não uso. Eles criticam o fato de que, tradicionalmente, não se busca compreender como ou por que o processo de aprendizagem pode ser facilitado quando mediado pelas TDIC. Os autores apresentam na Figura 2 um paralelo entre a metodologia DBR e outras metodologias de pesquisa que envolvem TDIC.

Segundo o esquema proposto, uma pesquisa tradicional (*Predictive Research*) inicia-se com hipóteses baseadas em observações ou teorias já existentes que são posteriormente testadas por meio de experimentos. Os resultados obtidos serão analisados segundo alguma teoria correlata. Dependendo dos resultados, conclusões poderão ser expressas e a teoria validada ou novas hipóteses poderão ser levantadas. Em paralelo a essa metodologia, a mesma figura apresenta também como os autores entendem a metodologia DBR. Os

problemas educacionais levantados por professores e pesquisadores são analisados e submetidos a métodos de intervenção baseados em princípios direcionadores que poderão eventualmente fazer uso de inovações tecnológicas. Diferente de uma pesquisa tradicional, nesse método, os “testes experimentais” são aprimorados cada vez que uma intervenção é realizada. Uma metodologia DBR nunca finaliza em uma conclusão, mas conta com recorrentes momentos de reflexão e de novas reformulações e implementações, visando alcançar a estratégia que ofereça melhor alcance dos objetivos estabelecidos.

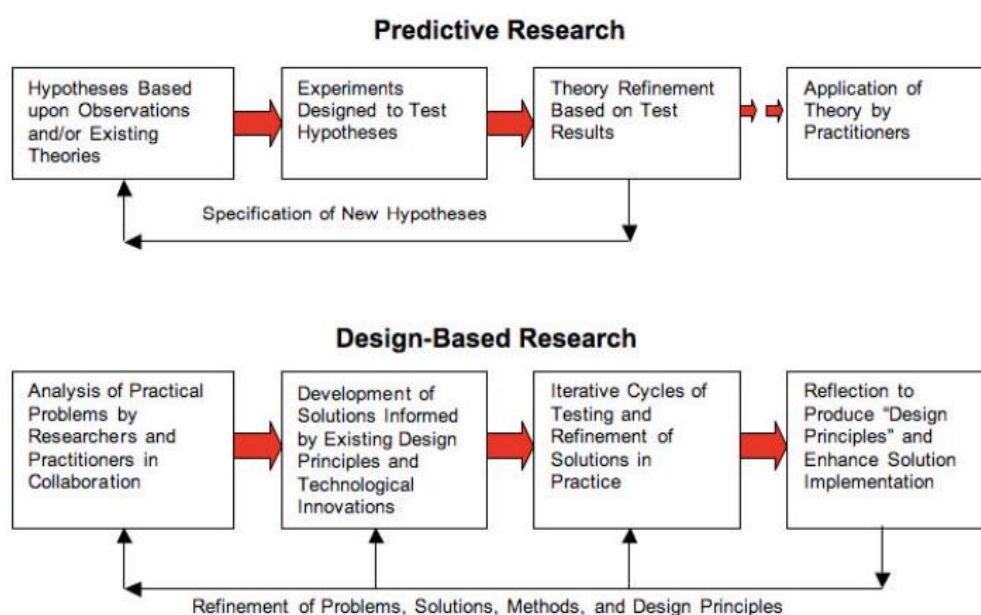


Figura 2: Comparação entre as etapas de uma pesquisa baseada tanto em uma metodologia tradicional quanto em uma metodologia DBR (HERRINGTON, MCKENNEY, *et al.*, 2007).

Na mesma linha, Sandoval (SANDOVAL, 2012) entende o *design* como uma maneira de incorporar pressupostos teóricos da aprendizagem ao contexto das aplicações e como o processo de aprendizagem ali desenvolvido pode ser apoiado por eles. Essa sustentação é melhor abordada por Herrington e colaboradores (HERRINGTON, MCKENNEY, *et al.*, 2007). Para eles, as questões da metodologia DBR que impulsionarão as pesquisas não devem ser baseadas em suposições infundadas ou derivadas da literatura. As hipóteses precisam surgir de um problema legítimo detectado pelos profissionais do ensino em parceria com pesquisadores que poderiam alinhá-las com a literatura conhecida na área. Nesses casos, a investigação que dará base para a DBR ajudará o pesquisador a entender os processos e variáveis envolvidos nas aplicações propostas e como eles impactam os métodos de ensino. As diferentes intervenções realizadas sobre uma proposta podem produzir

explicações potentes para práticas inovadoras e fornecer princípios que podem ser transmitidos para que outros reapliquem às novas configurações.

Desse modo, a concepção de uma atividade dentro desses moldes deve levar em conta um conjunto complexo de elementos. Cobb e colaboradores (COBB, CONFREY, *et al.*, 2003) denominam “ecologia da aprendizagem” ao processo composto de elementos como tarefas, problemas propostos aos alunos, diálogos em sala de aula, participação dos estudantes, ferramentas e materiais didáticos disponibilizados no processo, atuação do professor etc. A interação desses elementos que influenciarão no processo da aprendizagem, é o objeto de análise da DBR.

Além de apenas criar designs que são eficazes e que às vezes podem ser afetados por “ajustes para a perfeição”, uma teoria de design explica por que eles funcionam e sugere como podem ser adaptados a novas circunstâncias. Portanto, como outras metodologias, experimentos de design são cruciais para a geração e teste da teoria. (COBB, CONFREY, *et al.*, 2003, p. 9) – tradução livre.

Para se fazer uso dessa estratégia metodológica é necessário compreender como diferentes autores defendem a DBR trazendo suas ponderações sobre as principais ideias e características defendidas. Por um lado, alguns enfatizam a necessidade de assumir pressupostos teóricos que possam ser validados ao longo das aplicações (BELL, HOADLEY, *et al.*, 2003; SANDOVAL, 2012); outros autores se detêm em avaliar o papel duplo de professor e pesquisador na DBR (ANDERSON e SHATTUCK, 2012); alguns dão destaque para o objetivo dessa metodologia, buscando compreender como ocorre a melhora das práticas educacionais (COBB, CONFREY, *et al.*, 2003) além de explicitar que não existe uma solução preestabelecida para o sucesso de uma proposta, mas as hipóteses para tanto são construídas ao longo das aplicações (HERRINGTON, MCKENNEY, *et al.*, 2007).

O resultado da aplicação de uma metodologia DBR deveria levar a outras compartilháveis que ajudassem a comunicar implicações relevantes para profissionais que estejam desenvolvendo novas estratégias. Dentro dos limites de aplicação, essa prática deve explicar como o desenvolvimento das propostas ocorrem em ambientes autênticos, não apenas documentando o sucesso ou o fracasso, mas também focando nas interações que refinam a compreensão das questões de aprendizagem envolvidas, valorizando a documentação dos métodos usados e como os processos adotados ao longo da metodologia se conectam a cada nova iteração. Cobb e colaboradores (COBB, CONFREY, *et al.*, 2003) acreditam que testes sucessivos em sala de aula com diferentes versões da atividade em questão contribuem para uma compreensão das características de uma “âncora”, ou seja,

espera-se chegar a uma proposta que seja o marco inicial para desencadear todo um conjunto de etapas, estimulando o engajamento dos estudantes. Ao se definir essa âncora, espera-se obter parâmetros mais delimitados acerca dos objetivos em relação ao desenvolvimento de novas habilidades.

Cobb e colaboradores (COBB, CONFREY, *et al.*, 2003) afirmam que o *design* de experimentos tem um lado prospectivo e outro reflexivo. Por um lado, se faz necessário valer-se de um arcabouço de possibilidades para prever os possíveis rumos a serem tomados na intervenção realizada, analisando minuciosamente cada passo seguido, promovendo sempre a possibilidade de novos caminhos e valendo-se de estratégias para contornar imprevistos. Por outro lado, existe uma reflexão possível, uma vez que as propostas feitas usando a DBR seguem algumas hipóteses e inferências, e alguns objetivos que se espera alcançar no processo de aprendizagem. Vale lembrar que um experimento seguindo essa metodologia está em constante processo de melhoria, de modo que inicialmente são estabelecidas algumas hipóteses a serem testadas, no entanto, durante a condução e aprimoramento dos resultados, podem surgir novas hipóteses que serão novamente reformuladas e testadas, por isso a necessidade de um constante processo reflexivo.

Nesse sentido, Kneubil e Pietrocola (KNEUBIL e PIETROCOLA, 2017) afirmam que a metodologia DBR adota elementos de diferentes teorias de modo a construir seus próprios princípios que direcionarão todo o processo de construção, implementação e avaliação da proposta realizada, mas, apesar dos pressupostos teóricos, há de se considerar a parte prática da aplicação, que sempre leva em conta as condições e realidades do seu contexto.

Os passos iniciais de uma pesquisa em *design* envolvem a escolha de um ambiente para a ação. O processo estará a partir de então continuamente aberto para constantes revisões e adaptações visando melhorar a experiência dos alunos e sempre buscando hipóteses sobre os percalços que podem surgir ao longo do caminho (GRAVEMEIJER e COBB, 2006). É necessário que essas análises, revisões e adaptações sejam documentadas para que posteriormente possa ser feito um teste de hipóteses, buscando validar se os objetivos inicialmente pensados para a aplicação foram atingidos, quer intencionalmente ou não (COBB, CONFREY, *et al.*, 2003).

A ideia que será defendida neste trabalho para a construção de uma sequência de aprendizagem baseada no *design*, segue os pressupostos de Easterday (EASTERDAY e D. R. LEWIS, 2014) cujo esquema pode ser visto na Figura 3.

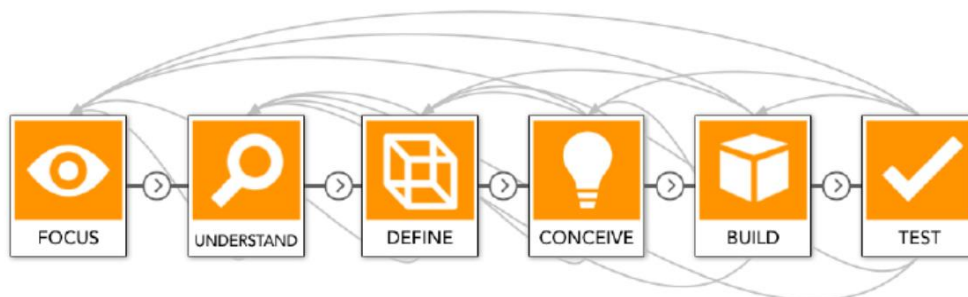


Figura 3: Etapas do processo de design proposto por Easterday (EASTERDAY, LEWIS e GERBER, 2013).

Para eles, a etapa inicial destina-se ao **foco** do projeto que será desenvolvido. Em relação ao ensino, pode-se pensar por exemplo, na proposta de alguma atividade a ser realizada. Nesse momento sugere-se que não só a atividade seja pensada, mas também o público-alvo, a relevância da proposta nas circunstâncias apresentadas e quais as intenções por trás da aplicação. Essa reflexão visa garantir que a atividade seja promissora e apresente indícios de que será bem-sucedida.

Na mesma linha de Easterday e seus colaboradores (EASTERDAY, LEWIS e GERBER, 2013), Cobb e colaboradores (COBB, CONFREY, *et al.*, 2003) defendem que inicialmente deve ser traçada uma trajetória de aprendizagem onde as intenções teóricas sejam esclarecidas e justifiquem porque elas são adequadas para conduzir o processo de aprendizagem dos estudantes. Para Kneubil e Pietrocola (KNEUBIL e PIETROCOLA, 2017), o início de uma construção baseada no *design* envolve a escolha de um tema relevante, quer seja de natureza didática, por exemplo, inovações na maneira de ensinar determinado conteúdo curricular, ou de natureza científica, por exemplo, tratar de algum tema científico que não é corriqueiramente explorado no nível de ensino em questão. Com esse tema em mente é que se definiriam os pressupostos teóricos da aplicação.

Os princípios de design estão associados a uma dimensão teórica do conhecimento e podem ter diferentes status. Para uma intervenção educacional, por exemplo, pode-se tomar como princípio aspectos de uma teoria de aprendizagem cognitivista ou ainda premissas epistemológicas sobre o conteúdo a ser aprendido e desenvolver um material ou um currículo para ser aplicado num ambiente escolar para reforçar, testar ou tirar algum resultado desses princípios (KNEUBIL e PIETROCOLA, 2017, p. 3).

Para Easterday e Lewis (EASTERDAY, LEWIS e GERBER, 2013), o processo do *design* entra então na etapa de **compreensão**. Nessa fase pode ser feita uma análise da aplicação realizada, verificando o resultado das atividades, envolvimento dos alunos, compreensão da proposta, nível de engajamento dos alunos etc. Esses dados ajudam a entender possíveis problemas da aplicação, identificando os modelos de aprendizagem mais

adequados e, portanto, uma melhor estratégia para construir a atividade. As recorrentes análises dos resultados e o uso de literatura da área podem ser usadas para sintetizar os resultados e permitir uma visão mais ampla dos pontos positivos e negativos da aplicação (COBB, CONFREY, *et al.*, 2003). Essa etapa da metodologia DBR é necessária uma vez que, em geral, a concepção de sequências de ensino não se volta para uma compreensão dos motivos que levaram a uma execução deficiente de determinada atividade. Alguns problemas que podem surgir ao longo da aplicação muitas vezes não são previstos na proposição. Cabe então na **compreensão** usar-se de recursos secundários para avaliar e entender as causas do problema. Essa fase pode permitir que uma atividade seja remodelada, visando aperfeiçoar sua abordagem e efetuando correções nas rotas da aplicação (EASTERDAY, LEWIS e GERBER, 2013). Identificados os problemas, sugere-se um novo momento para **definição**, onde são estabelecidos os objetivos e metodologias de avaliações para os problemas encontrados e dos quais inicialmente não se tinha conhecimento. A pergunta “Como podemos...” permeia todo o processo levantando metas a serem cumpridas. Quanto mais problemas puderem ser definidos mais inovadora poderá se mostrar a proposta. Posteriormente estabelece-se uma fase de **concepção**, onde são configurados alguns planos de solução dos problemas que foram previamente apontados. Não existiria o compromisso de implementar essa proposta, trata-se de uma solução que permita analisar conceitualmente o problema e como poderia ser aplicada uma resolução a ele. Essa etapa do processo permite que se teste a construção da atividade apenas com base em conhecimentos e teorias, apontando para os problemas encontrados e melhorando a aplicação antes de se comprometer com a implementação de maneira efetiva, o que pode demandar um esforço e comprometimento maior. A etapa de **construção** visa implementar a solução projetada. Essa execução pode ser mais ou menos fiel à proposta original dependendo do estágio no qual se encontra a aplicação da atividade ou até mesmo da meta estabelecida. Ela é necessária uma vez que fornece resultados que podem ou não responder aos objetivos esperados. Por fim há o momento de **avaliação**. Será ponderada a eficácia das soluções propostas na aplicação. Quanto mais aplicações forem feitas maiores serão as chances de ajustar a atividade para a sua melhor versão. Uma atividade recém-elaborada pode passar por alguns testes prévios, mesmo que ainda não esteja finalizada, o que acaba fornecendo dados de análise para ir aperfeiçoando-a aos poucos. Posteriormente a atividade pode ser executada com grupos maiores precavendo-se de tomar nota de todas as variáveis envolvidas na aplicação, como por exemplo, o público-alvo. A fase de testes deve envolver um processo de avaliação

formativa, onde os erros e acertos dos alunos são detectados e posteriormente auxiliam na identificação de ambiguidades ou incompreensões na proposta. A verificação aumenta a probabilidade de encontrar um formato eficaz da atividade que poderá futuramente ser submetida a uma avaliação somativa, onde se verifica tanto a proposição do professor e o engajamento quanto o aprendizado dos alunos. Em geral, os testes permitem uma devolutiva sobre o sucesso da proposta e a validade dos resultados obtidos, averiguando se as metas propostas inicialmente foram atingidas.

A metodologia DBR proposta por Easterday e colaboradores (EASTERDAY, LEWIS e GERBER, 2013) muito se aproxima daquela apresentada por Kneubil e Pietrocola (KNEUBIL e PIETROCOLA, 2017), que aparece na Figura 4.

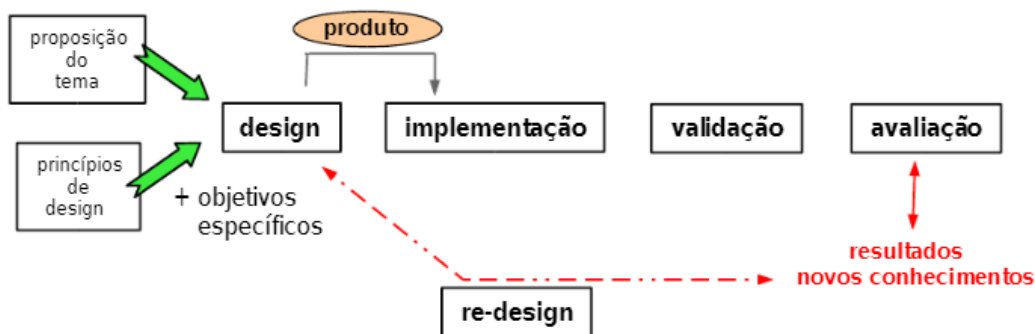


Figura 4: Etapas do processo de design proposta por Kneubil (KNEUBIL e PIETROCOLA, 2017).

Para esses autores, um processo DBR envolve o levantamento inicial de um tema para direcionar a construção da sequência bem como princípios do *design* característicos, combinados com objetivos específicos, que darão fundamento para cada uma delas. Essa primeira etapa coincide com o que Easterday e colaboradores (EASTERDAY, LEWIS e GERBER, 2013) apresentam como a etapa do foco. Kneubil e Pietrocola (KNEUBIL e PIETROCOLA, 2017) defendem como passo seguinte a implantação da proposta, o que sugere a criação de um produto, algo que poderá ser usado e replicado em outras situações. Uma vez aplicada, ocorre sua validação, momento esse que muito se assemelha às etapas de compreensão e definição da Figura 3. Por fim, a etapa de avaliação permite validar a proposta executada e projetar ajustes para novas aplicações (*re-design*). Essa finalização vai ao encontro daquela proposta por Easterday: concepção, construção e avaliação.

Apesar das semelhanças entre ambos, Easterday e colaboradores (EASTERDAY, LEWIS e GERBER, 2013) evitam usar o termo produto, uma vez que as propostas estão em

constante atualização e desenvolvimento. Pelo esquema fica claro que se trata de um processo cíclico, cujo acompanhamento se dá constantemente visando o desenvolvimento e aprimoramento de novos conhecimentos. É nesse sentido que a presença do professor na concepção da sequência se mostra fundamental. Em propostas baseadas no *design* é imprescindível que o professor atue como um pesquisador, atento às condições de contorno, prevendo acontecimentos e levantando hipóteses para corrigir possíveis desvios de rota que possam surgir ao longo da aplicação. Mais que isso, a metodologia DBR tem a vantagem de se submeter a problemas que atingem a realidade escolar, as intervenções realizadas não se tratam de aplicações pontuais cujo resultado é coletado por um pesquisador que validará se ela foi bem sucedida ou não, trata-se de uma intervenção que precisa se adaptar continuamente às demandas escolares, a realidade do aluno, a condição da sala de aula, o que acaba por ser uma ferramenta de pesquisa com potencial para articular e refletir sobre as questões curriculares do ambiente escolar, a possibilidade de inserção de conteúdos novos, o desenvolvimento de novas práticas, etc.

Uma vez apresentada as etapas que compõem uma aplicação baseada em *design* e em quais circunstâncias se dão sua realização, de maneira resumida, podemos visualizar esse processo no esquema da Figura 5 proposto por Kneubil e Pietrocola (KNEUBIL e PIETROCOLA, 2017).

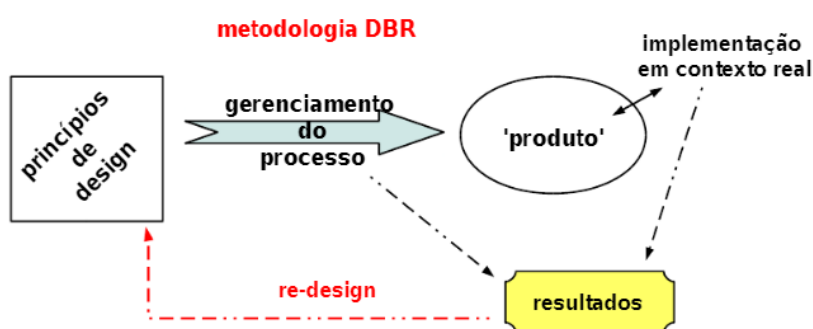


Figura 5: Metodologia DBR proposta por Kneubil (KNEUBIL e PIETROCOLA, 2017)

Os princípios do *design* comentados anteriormente dizem respeito aos pressupostos teóricos que direcionarão a aplicação.

Os princípios de design são os norteadores da elaboração da intervenção que será produzida na etapa do design. Embora a pesquisa DBR tenha uma forte ênfase metodológica, não há como desconsiderar o papel de pressupostos teóricos na definição ‘do que’ e ‘de como’ será ensinado. São estes pressupostos teóricos, os princípios de design, que servem de base no planejamento de uma intervenção, podendo ser epistemológicos, didáticos, axiológicos, de aprendizagem ou, ainda, uma combinação deles. [...] Esses princípios funcionam como pilares teóricos, ou hipóteses, sobre as quais a sequência de ensino-aprendizagem se apoia

enquanto é produzida. Eles representam um conhecimento já disponível e que será usado como fio condutor do processo de didatização (KNEUBIL e PIETROCOLA, 2017).

Alguns princípios do *design* que poderiam ser apresentados para iniciar uma proposta DBR é a problematização e contextualização a partir de uma vivência pessoal dos estudantes, supondo-se numa concepção didática que isso torne o processo de aprendizagem significativo (OERS, 1998); outro pressuposto mais voltado para a área do conhecimento seria fazer uso de recursos que envolvam CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente) ou de história da ciência de modo a aproximar o aluno da evolução do conhecimento e de suas aplicações de hoje em dia (MARTINS, 2020); outro princípio que poderia direcionar uma proposta DBR seria o uso da modelagem para representação da realidade (BELZEN, DRIEL e KRÜGER, 2019, p. 9), por exemplo, desenvolver um modelo de lançamento oblíquo para explicar a trajetória de um dardo em uma competição.

É sob a ótica dos princípios que fundamentam a metodologia DBR que este trabalho se desenvolve. A produção que aqui será analisada é fruto da aplicação de um conjunto de atividades que foram criadas e reformuladas ao longo dos anos de 2018, 2019 e 2020. De maneira geral a primeira proposta buscou contextualizar um experimento online contido no site do MEXI. Análises posteriores mostraram que tal aplicação era deficiente em relação a certas habilidades que se viam necessárias de serem desenvolvidas nos estudantes, dessa forma adaptou-se a proposta para que no ano seguinte ela adquirisse um caráter investigativo. A atividade contou então com um conjunto mais restrito de habilidades que apontavam melhorias e que demandavam a compreensão da experiência mediante a construção de um modelo (BELZEN, DRIEL e KRÜGER, 2019) que implementasse a aplicação dos conceitos estudados. Cada nova iteração abarcou um novo conjunto de referenciais teóricos para compor seus princípios do *design*, paralelamente a eles foram acessados referenciais que auxiliassem o processo avaliativo das produções dos estudantes.

1.2. Referenciais teóricos (princípios do *design*)

A primeira iteração proposta em 2018 demandou uma contextualização para que o seu conteúdo fosse acessível aos estudantes e para que as análises sugeridas naquele momento se baseassem em medidas experimentais vinculadas ao mundo real. Assim, esse foi o primeiro princípio estudado. A contextualização se apresenta como um referencial teórico que embasa uma das iterações desse trabalho, as contínuas avaliações apontaram para outras

necessidades e reajustes nas propostas realizadas. Um novo referencial agregado foi o da investigação, abordagem essa recorrente para adequar propostas didáticas a um perfil que valorizasse o desenvolvimento de habilidades típicas do fazer científico. A potencialidade de aplicações envolvendo essa abordagem e mediação das TDIC demandou, após a iteração de 2019 a busca por um novo referencial teórico. As atividades que vinham sendo realizadas pautavam-se em situações reais que poderiam ser explicadas a partir da construção de um modelo, para tanto foi necessário recorrer à literatura de modo a fundamentar essa aplicação. Todos esses referenciais, tratados como princípios dentro da metodologia DBR, serão mais bem abordados na sequência.

1.2.1. Contextualização

Uma demanda constante nos cursos de Física é a dificuldade de adaptação de certos conteúdos teóricos a situações reais. Para Van Oers (OERS, 1998), o espaço real onde uma entidade recebe significado e nele se apoia em certo momento, é o que ele chama de contexto. Nesse espaço, as definições particulares serão restritas, eliminando ambiguidades ou múltiplos sentidos que não pareçam adequados à situação. Apesar disso, o contexto também impede que interpretações próprias se isolem, uma vez que são necessárias para coerência de um todo maior. Ele vincula diferentes noções e experiências permitindo que cada uma seja compreendida e tenha sua particularidade reconhecida no todo. A ideia de algo adquirir relevância quando incorporado em determinado ambiente é o elemento central para se explicar a contextualização, no entanto, a natureza desse ambiente ainda se mostra bastante diversa (OERS, 1998).

Para ele, uma atividade é contextual quando a finalidade da tarefa a ser realizada torna-se aparente a partir do momento em que se interage com ela. Uma hipótese é que não se trata do problema proposto que permite que se chegue a uma coerência na compreensão, mas sim a natureza da atividade proposta, visto que qualquer significado particular e coerente essencialmente depende de algum tipo de ambiente.

O que conta como contexto depende de como a situação é interpretada em termos de atividade a ser realizada. Um contexto é construído por um agente toda vez que ele é ativamente envolvido em um cenário: determinando seu objetivo particular, examinando suas experiências anteriores, descobrir quais meios estão disponíveis, investigar quais ações fazem sentido realizar para atingir a meta escolhida e relacionar motivo, meta, objeto, meios etc. O contexto, então, é o resultado desse processo de identificação de uma situação como uma definição de atividade específica. (OERS, 1998, p.481).

Para Carvajal e Sanmartí (MARCHÁN-CARVAJAL e SANMARTÍ, 2015), a contextualização é uma estratégia didática que além de motivar os estudantes e promover

atitudes positivas em relação à ciência, possibilita uma aprendizagem significativa das ideias desse fazer, sendo mais competente em seu uso. Entende-se que as propostas devem começar com algum aspecto do cotidiano dos estudantes que tenham vivenciado, de modo que os conceitos científicos possam ser aplicados aos poucos nessa vivência. Além disso, o uso do contexto poderia se dar a partir de uma situação real do mundo que possa ser explicada a partir desses conhecimentos específicos. A partir dessas ideias os autores propõem uma metodologia baseada em três estratégias: contextualizar, descontextualizar e recontextualizar (LITWIN, 2008). O momento de contextualizar seria aquele no qual os estudantes seriam apresentados a alguma situação que faça parte de sua vivência e faça sentido para eles, de modo que inicialmente eles possam expressar suas ideias e tentativas de explicá-la. Posteriormente se dá a descontextualização, onde são apresentados conceitos científicos que ajudam a explicar fenômenos que ocorrem no entorno deles, abstraindo algumas ideias principais, suas interrelações, as provas que podem validar e a maneira de representar e expor a situação a ser estudada. Por fim, a recontextualização é entendida como a transferência dos novos conceitos aprendidos para novos contextos, de modo que os estudantes possam estabelecer novas relações, representá-lo de maneira mais completa e ao mesmo tempo aprendam a aplicá-los em diferentes situações podendo até estabelecer relações com modelos de outros contextos.

Idealmente, ao se escolher como se encadear a sequência de uma atividade, deveria se levar em conta a relevância pessoal, social e vocacional dos indivíduos, questões socioculturais, questões relevantes que surgem nos meios de comunicação etc. Não só essa escolha deve ser cuidadosa como também a maneira como a atividade será apresentada aos estudantes. Há de se investir um tempo na etapa de contextualização abrindo espaço para que os alunos possam interagir, questionar, refletir, opinar e compartilhar objetivos (STUCKEY, HOFSTEIN, *et al.*, 2013).

O processo de aprendizagem a partir de situações bem ambientadas envolve aprender os conteúdos necessários para conhecer o cenário, mas o mais importante é que traz uma oportunidade para construir conceitos científicos e suas interrelações, de modo que essas ideias sejam úteis não apenas para interpretar as situações ou resolver um problema, mas também outros semelhantes, transferindo assim o conhecimento adquirido (MARCHÁN-CARVAJAL e SANMARTÍ, 2015).

Uma outra maneira de fazer uso da contextualização é partindo da necessidade de se apropriar de princípios. Na proposta de Bulte e colaboradores (BULTE, WESTBROEK, *et*

al., 2007), a ideia é “*gerar um conflito cognitivo no aluno que lhe possibilite reconhecer que com seus conhecimentos atuais não é capaz de abordar a problemática do contexto apresentado e, portanto, necessita de mais conhecimento*”. Trata-se de mostrar uma situação instigante e juntamente a ela uma questão acerca da qual se faz necessário o uso de algum conhecimento científico para respondê-la.

Ao mesmo tempo em que atividades desse tipo são desenvolvidas, o avanço dos recursos tecnológicos e a necessidade de incorporá-los ao processo de ensino tem desafiado professores a repensar os espaços escolares. Um ambiente que tem sido adaptado para esses novos tempos é o laboratório didático, que vem se reinventando ao propor experimentos, antes desenvolvidos de maneira presencial, de maneira online, como é o caso do MEXI (Mecânica Experimental com Imagens – disponível em <http://www.fep.if.usp.br/~fisfoto/>). Além disso, um dos desafios das aulas de Física tem sido tornar os conteúdos teóricos mais significativos para os estudantes, de modo que eles possam ser aplicados a situações reais. Assim, o MEXI busca, através de experimentos filmados, unir essas duas realidades, o ensino online e a contextualização, revisitando assuntos clássicos da mecânica com uma abordagem diferente. Por essa razão, uma das atividades contidas nesse espaço online foi selecionada para o desenvolvimento deste trabalho.

1.2.2. Investigação

O ensino de ciências baseado na investigação vem compondo uma corrente que pode ser notada desde o pragmatismo de Dewey até o construtivismo de Piaget e socio construtivismo de Vygotsky. No primeiro, a ciência seria entendida como um processo de pensamento e não como um conjunto de fatos a serem memorizados, no segundo, os alunos construiriam o conhecimento a partir das suas experiências por meio de processos de assimilação e acomodação e por fim, no terceiro, as noções seriam produto de uma construção coletiva social e cultural. A abordagem investigativa surge como uma maneira de confrontar os tradicionais métodos transmissivos para questionar, por exemplo, os laboratórios didáticos que costumam focar na validação de leis científicas já aceitas. Nessa nova proposta, o ensino daria uma atenção maior ao aluno enquanto construtor de conhecimento, oferecendo situações nas quais ele se veria capaz de formá-lo ao longo de um processo (BALZANO, 2016).

Na década de 60, grandes projetos de ensino vinham sendo desenvolvidos com o intuito de melhorar o sistema educacional e proporcionar uma formação sólida para os

estudantes. Movidos pela guerra fria, os EUA desenvolveram em 1956 o PSSC, cuja criação ficou a cargo de professores de ensino médio e cientistas de prestígio na época (FONSECA, 2015). O material, bastante completo com livros textos, roteiros de laboratório e experimentos era fortemente centrado na interpretação e representação de dados e modelos. Na mesma época, a Europa desenvolvia o projeto Nuffield, cujos princípios muito se assemelhavam ao PSSC. Segundo Balzano (BALZANO, 2016), a abordagem desse projeto seria muito bem representada pelo slogan “*Eu ouvi e eu esqueci; Eu vi e eu lembrei; Eu fiz e eu entendi*”. O modelo de ensino proposto pelos projetos, segundo ele, estaria apresentando um conteúdo que não seria lembrado pelos alunos com o passar dos anos. Nesse projeto, dava-se uma ênfase maior ao papel desempenhado por modelos na análise dos fenômenos, além de sugerir um desenvolvimento de análises críticas tanto de experimentos reais como de experimentos mentais. Essa prática revelava, ainda que de modo sutil, uma tentativa de trazer mais oportunidades de reflexão ao processo de ensino do que de memorização. Tanto era uma vontade que essa prática se estendesse que, antes do lançamento dos projetos em 1960, Eric M. Rogers, um dos envolvidos na concepção dos mesmos, publicou o livro “*Física para Mentes Investigativas*” afirmando que, para entender como o conhecimento experimental se encaixava com a teoria e novos resultados eram obtidos, era necessário que cada um desenvolvesse seu próprio raciocínio e pensamento, acreditando que não existiria um único método de se fazer ciência, mas sim uma combinação de diferentes formas.

Ainda nesse mesmo período histórico as tentativas investigativas puderam se ver refletidas no museu de ciências, arte e percepção humana *Exploratorium*, localizado em São Francisco e fundado em 1969 pelo físico e educador Frank Oppenheimer (EXPLORATORIUM, 1969). A filosofia desse museu compartilha a essência da investigação não apenas com exposições, apresentações e oficinas, mas também oferece uma variedade de recursos para o aprendizado profissional visando apoiar a abordagem de um ensino baseado na investigação. Dentre os programas suportados está o Instituto para Investigação (*Institute for Inquiry – IFI*), que aborda a teoria envolvida no ensino por investigação bem como quais práticas poderiam ser adotadas pelos professores para que essa metodologia fosse promissora. Karen Worth, uma das cientistas que participou da concepção desse espaço apresentou a estrutura sobre a qual discutiram os pilares que sustentariam toda a construção do projeto. Percebe-se nessa composição uma tentativa de se focar em vários elementos da investigação, sugerindo não apenas a importância da experimentação, mas também de oferecer uma experiência aberta e que permita a reflexão. No diagrama da Figura

6 aparece enfatizada a importância de se usar uma experiência inicial para gerar perguntas que possam servir de base para investigações mais estruturadas. As linhas e flechas do diagrama estariam sugerindo uma tentativa de abordagem do processo investigativo, de modo que os elementos de uma investigação, tais como fazer perguntas, coletar dados e tirar conclusões, estariam entrelaçados em todo esse processo (EXPLORATORIUM, 2020).

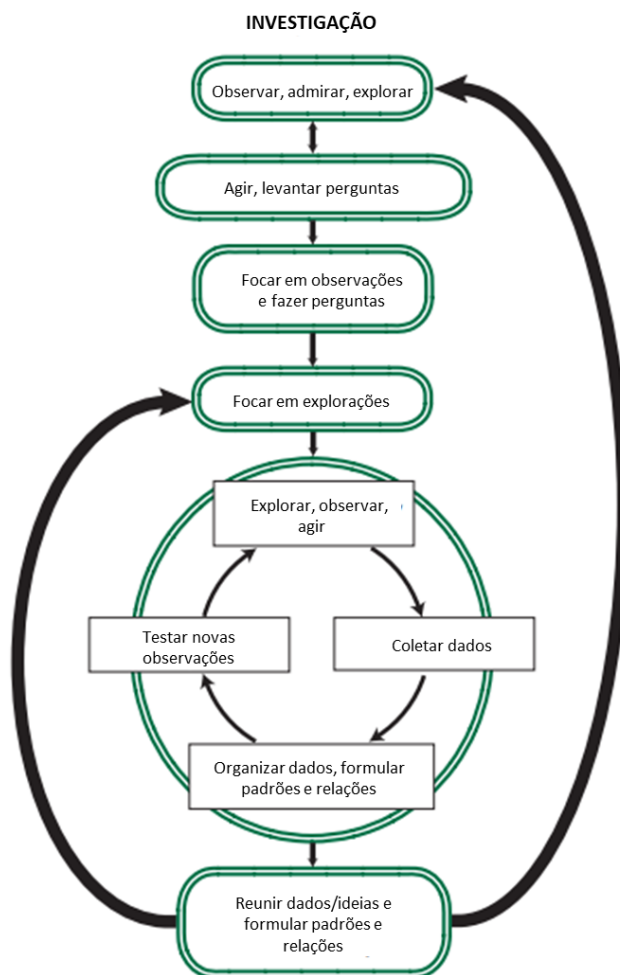


Diagram: Hubert Dyasi, CCNY; Karen Worth, EDC

Figura 6: Diagrama sugerido por (EXPLORATORIUM, 2020) para uma sequência de processo investigativo (tradução livre).

Para o IFI, o processo investigativo seria dirigido pela própria curiosidade e interesse do indivíduo em tentar entender, explicar ou solucionar um problema, de modo que o diagrama proposto por Worth é agora reconstruído (Figura 7) para apresentar a estrutura investigativa pensada pelo museu *Exploratorium* para tratar de conteúdos científicos de aprendizagem (EXPLORATORIUM, 2020):

Estrutura investigativa para aprendizagem de conteúdo científico

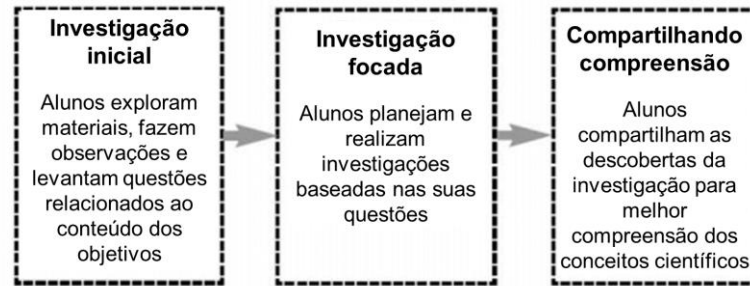


Figura 7: Etapas do processo investigativo sugerido pelo Exploratorium (EXPLORATORIUM, 2020) (tradução livre).

Desde esse ponto de vista, Balzano (BALZANO, 2016) defende a mesma compreensão de investigação do IFI:

“Uma boa educação científica requer tanto a aprendizagem de conceitos científicos quanto o desenvolvimento de habilidades do pensamento científico. A investigação é uma abordagem no ensino que envolve um processo de explorar o mundo natural ou material fazendo perguntas, descobertas, testando as descobertas e buscando novos entendimentos. A investigação, no que se refere à educação científica, deve refletir tanto quanto possível uma experiência real no fazer ciência” (BALZANO, 2016, p. 14).

Documentos produzidos pela *National Science Foundation* (NSF), agência governamental dos Estados Unidos que promove a pesquisa e educação fundamental em todos os campos da ciência e engenharia, já tratavam de questões envolvendo abordagens investigativas no ensino. Os objetivos gerais para a educação científica apresentados nos Padrões Nacionais para a Educação Científica (*National Science Education Standards*) destacam dentre alguns de seus pontos a importância do desenvolvimento de uma postura investigativa:

- Investigar questões e conceitos que guiam as investigações científicas.
- Projetar e construir investigações científicas.
- Usar tecnologia e matemática para melhorar investigações e comunicações.
- Formular e revisar explicações científicas e modelos usando lógica e evidência.
- Reconhecer e analisar explicações alternativas e modelos.
- Comunicar e defender argumentos científicos (NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, 2000).

A criação de documentos que explicitem esse incentivo às práticas investigativas acaba por apontar para uma definição do que se entende por um ensino com esse caráter. Apesar da complexidade em se chegar a um significado, Balzano traz uma possível síntese para essa ideia (BALZANO, 2016):

A investigação, liderada por perguntas “não restritas” e que permitam uma maior exploração da fenomenologia, é mais eficaz se incluir a solicitação de uma busca por regularidade e invariantes, podendo abranger também fenômenos mais complexos. O

trabalho em pequenos grupos e a demanda para comunicar e compartilhar com toda a classe a experiência adquirida através da descrição de palavras, gráficos e figuras ajudam na revisão cognitiva das experiências. Mas isso só é possível com um trabalho cuidadoso de mediação didática dos adultos; - precisamos trabalhar com estratégias apropriadas relacionadas à idade para evitar cair em explicações vazias de significado para crianças com base no dogmatismo ou na superficialidade (BALZANO, 2016, p. 19)

A tentativa de definir a investigação acabou por gerar uma estrutura de pensamento comum a muitos autores. Mcloughlin, Findlayson e Brady (MCCLOUGHLIN, FINDLAYSON e BRADY, 2014) definem a investigação como um “*processo intencional de diagnosticar problemas, criticar experimentos e diferenciar alternativas, planejar investigações levantar hipóteses, pesquisar informações, construir modelos, debater com os colegas e formar argumentos coerentes*”.

Na abordagem de Dostál (DOSTÁL, 2016), os alunos devem descobrir e reconhecer os atributos da realidade durante a investigação. Esse processo seria entendido como uma criação ativa de compreensão baseada em construções mentais e conhecimentos prévios, de modo que o professor exploraria o esforço do aluno atuando como um orientador do processo, um profissional com conhecimento técnico e pedagógico para encaminhar o processo investigativo dos estudantes. Para o autor, a investigação que o aluno desenvolve permite que ele não apenas venha a ter contato com novos conhecimentos, mas também que compreenda a essência das coisas fazendo uso de seus próprios métodos de pesquisa. As oportunidades criadas pelo professor deveriam permitir que os estudantes pudessem observar fenômenos, manipular objetos específicos, discutir resultados com os colegas, desenvolver experimentos e solucionar problemas.

Tran, Berg e Ellermeijer (TRAN, BERG e ELLERMEIJER, 2017) acreditam que a prática investigativa deve ocorrer em três instâncias. Inicialmente deve proporcionar aos estudantes um ambiente propício ao levantamento de questões, planejamento, realização de experimentos, análise e interpretação de dados, conclusões, argumentação, raciocínio e comunicação das descobertas e métodos usados. Em segundo lugar a atividade proposta de maneira investigativa deveria buscar estabelecer uma relação entre teoria, conceitos, fenômeno e experimento. Por fim, durante a concepção da atividade, deve-se sempre manter como foco quais habilidades investigativas aquela proposta visa desenvolver.

Nota-se que a maioria dos autores quando citam atividades investigativas referem-se a elas como experiências, o que sugere o entendimento de que boa parte dessas execuções poderiam ser desenvolvidas no ambiente de um laboratório didático.

Mamlok (MAMLOK-NAAMAN, 2019) sugere que as atividades investigativas de laboratório têm o potencial de melhorar a aprendizagem dos alunos, a compreensão conceitual e a compreensão da natureza da ciência. Para ela, alguns dos objetivos de atividades de laboratório devem ser encorajar os estudantes a fazerem observações e descrições precisas, permitir a compreensão de ideias científicas e promover um método científico de pensamento.

Em termos de habilidades, Bybee (BYBEE, 2000) sugere que a investigação deve incluir, além daquelas anteriormente citadas, a habilidade de formular e revisar explicações e comunicar e defender argumentos científicos. O que tem sido sugerido por muitos autores é que todas essas habilidades devem estar de acordo com a caracterização do espaço dos laboratórios investigativos, um lugar com atividades que coloquem o estudante no centro do processo de aprendizagem e no qual eles possam se desenvolver (HOFSTEIN, NAVON, *et al.*, 2005). Johnstone e Al-shuaili (JOHNSTONE e AL-SHUAILI, 2001) também acreditam no laboratório investigativo como um espaço de oportunidade para os estudantes terem controle de suas atividades, melhorando a percepção sobre os fenômenos e desenvolvendo um interesse maior pelo trabalho produzido. Para eles, esse ambiente seria adequado para fornecer um novo contexto de aprendizagem, com ideias mais profundas e desafiadoras envolvendo fenômenos sobre os quais possa-se construir e reconstruir conhecimento.

Para Gunstone (GUNSTONE, 1991), o processo investigativo poderá promover uma compreensão conceitual, bem como habilidades para resolver problemas, no entanto o maior desafio é auxiliar os alunos a assumirem o controle de sua própria aprendizagem ao mesmo tempo em que se oferecem oportunidades que os incentivem a fazer perguntas, formular hipóteses e projetar e executar experimentos. Ainda no espaço do laboratório, as oportunidades para refletir sobre as descobertas e esclarecer entendimentos deveriam ocorrer também entre os colegas, a partir de uma consulta a fontes de pesquisas, livros, websites e até mesmo com o suporte do professor. Mamlok (MAMLOK-NAAMAN, 2019) defende que muitas vezes essas etapas não ocorrem por conta da preocupação do professor em explicar técnicas para realização das atividades não priorizando a aquisição das habilidades científicas.

Sobre a motivação para desenvolver investigações científicas, Berg (BERG, 2009) argumenta que a essência deve ser a conexão entre pesquisa, teorias e fenômenos. Para ele, os cientistas transitam entre um mundo de teorias, ideias e conceitos e um mundo de fenômenos, naturais ou produzidos em laboratório. No primeiro mundo as ideias e hipóteses

são criadas enquanto no segundo elas podem ser testadas. Dessa forma, um cientista só volta para o mundo das teorias depois que tentou entender seus dados, conceitos e representações investigados no mundo dos fenômenos. Por outro lado, a investigação também pode começar a partir da observação de um fenômeno, no entanto, segundo o autor, ela não estaria isenta de ser analisada a luz de algum conceito ou teoria já estabelecido. Dessa forma, fenômenos e experimentos serviriam como fonte para validar ideias e teorias, podendo até gerar outras novas. Sob esse ponto de vista, Berg (BERG, 2009) afirma que a maior parte das atividades de laboratório ou são mecanicamente propostas como um exercício de pesquisa experimental ou visam dar apoio a compreensão de alguma teoria já vista. Apesar de as duas propostas requererem que os alunos estabeleçam um vínculo entre o mundo dos fenômenos e os das teorias, o autor acredita que ultimamente os estudantes têm manipulado equipamentos, mas não têm conseguido manipular suas ideias (BERG, 2009). Os alunos precisam ser capazes de formular perguntas de pesquisa, construir experimentos para responder suas perguntas, coletar dados, analisar e interpretar os resultados, articulando o início do processo juntamente às suas conclusões (TRAN, BERG e ELLERMEIJER, 2017).

Muitas vezes, para o professor, a eficácia de uma atividade experimental se revela quando os estudantes realizam as tarefas prescritas por ele em um roteiro, por exemplo. No entanto ela se torna menos eficaz quando exige que os alunos reflitam sobre as ideias científicas e sobre os dados coletados. Muitos alunos não conseguem desenvolver uma boa argumentação que estabeleça um paralelo crítico entre o que foi analisado e o que a teoria prescrevia, apontando incoerências e limitações durante o processo. Essa aparente incompatibilidade entre os objetivos do laboratório e o que efetivamente ocorre durante as atividades, levou Berg (BERG, 2009) a elencar algumas incoerências. Em primeiro lugar a escolha dos experimentos estaria favorecendo atividades clássicas com resultados conhecidos e instruções prescritas; em segundo lugar, os roteiros das atividades seriam muito detalhados não dando tanta margem para o aluno levantar novos questionamentos; as orientações dadas pelos professores no início das atividades estariam limitando o pensamento do aluno e por vezes até fornecendo algumas respostas que poderiam ser investigadas; por fim, para o autor, o processo de avaliação tem se focado muito mais no conhecimento dos conteúdos do que no processo investigativo e argumentativo que os alunos desenvolveram.

Se por um lado o objetivo do laboratório tem se apresentado como um espaço no qual se oferecem oportunidades de desenvolver um espírito investigativo, por outro ele tem sido

proposto de maneira prescritiva e orientada, limitando a atuação dos alunos na solução de problemas abertos. Essas incoerências mostram que o problema pode não estar no objetivo do laboratório, mas sim no que se está buscando em cada atividade proposta. Tentando contornar essas aparentes incoerências, Berg (BERG, 2009) estabelece uma classificação para os tipos de laboratório: conceituais, técnicos e investigativos.

Os laboratórios conceituais, enfatizariam o ensino de conceitos. Para isso seria justificável que a abordagem da atividade fosse mais estruturada, com roteiros instrutivos direcionados, mas que ainda poderiam dar abertura para que o aluno fizesse seus questionamentos. Esses experimentos frequentemente usam-se de previsões, observações e demonstrações, no entanto, muitas vezes, o uso dos equipamentos e a manipulação do aparato experimental poderia acabar desviando do objetivo principal que é a aquisição de conceitos. No espaço do laboratório, o que se espera de um cientista é que ele seja capaz de desenvolver e aperfeiçoar conceitos por meio de uma investigação, integrando métodos de busca e validando conhecimentos. No entanto, todos esses objetivos juntos se mostrariam demasiadamente ambiciosos e, segundo o autor, deveriam ser desenvolvidos com cautela e até mesmo divididos em situações experimentais diferentes. Nos laboratórios técnicos, as habilidades concentram-se na manipulação de equipamentos e aprendizagem de técnicas específicas (medidores diversos, dissecação, titulação, construção de circuitos elétricos etc.). Berg (BERG, 2009) evidencia que habilidades simples, que a princípio seriam requisitos dados como certos, como ler medidores e gráficos, nem sempre são dominadas pelos alunos (tanto no ensino médio quanto no ensino superior) o que acaba por interferir no desempenho das atividades experimentais. Dessa forma, se mostra necessário um espaço de laboratório onde habilidades básicas sejam desenvolvidas e somadas na construção dessas condições iniciais. Para o autor, atividades desse tipo deveriam ser fechadas e estruturadas, pois trata-se de instruções imprescindíveis de como as coisas devem ser feitas (como precisão e segurança) para se obter melhores resultados. A principal função da discussão do professor nesse laboratório é esclarecer procedimentos e estimular o aluno a pensar na melhor maneira de executar determinada habilidade. Se por um lado ele é mais eficiente quando é mais estruturado, por outro lado, ele não possibilita tanto o desenvolvimento das habilidades de um laboratório conceitual ou investigativo os quais requerem maior ênfase na tomada de decisões dos alunos e um tipo de ensino muito mais aberto e menos didático. Por fim, o excesso de objetivos que aparentemente sobrecarregaria um laboratório conceitual poderia ser deixado para a modalidade dos laboratórios investigativos. Para Berg, esse espaço

deveria priorizar assuntos com menor profundidade conceitual, evidenciando assim outras habilidades. Às vezes, pode-se querer enfatizar a concepção e planejamento de experimentos (formulação de perguntas e hipóteses de pesquisa, controle de variáveis). Outras vezes, pode-se enfatizar a análise de dados (apresentação de dados, cálculos, erro experimental, representação gráfica) e, novamente, outras vezes focar na interpretação e validação de conclusões. As habilidades desenvolvidas ao longo do processo não são independentes do conteúdo. Seria impossível gerar hipóteses razoáveis ou formular definições operacionais sem conhecimento conceitual. Por fim, para Berg, os conceitos principais em um laboratório investigativo seriam a validade (representação esquemática, definição de variáveis, interpretações e conclusões) e a confiabilidade (erros de medições, reprodutibilidade do procedimento experimental).

Tendo em vista as sugestões levantadas por Berg (BERG, 2009) e a classificação estabelecida, acredita-se que os laboratórios investigativos não devam ser orientados por meio de roteiros descritivos, mas a partir de uma sequência de instruções diversificadas, cada uma cumprindo um objetivo específico. Em seu trabalho, Rogers (ROGERS, 1960) destaca a necessidade de que haja uma orientação cuidadosa das atividades investigativas, selecionando as ideias científicas envolvidas. Além disso, as instruções e condução das atividades investigativas devem suprir as dificuldades dos alunos que buscam significado para suas investigações ou que podem até não enxergar como suas investigações são relevantes tanto para eles quanto para outros grupos em sala de aula. Rogers também levanta diversos questionamentos recorrentes na proposição de atividades investigativas: Como devem ser essas atividades? Como garantir que elas ofereçam oportunidades para desenvolver-se modelos? Como deve ser a mediação dessas atividades? As perguntas que estimulam a investigação devem necessariamente fazer referência a algum tópico já conhecido pelos estudantes?

Na tentativa de buscar uma solução para essas questões, Rogers defende a necessidade de conectar pensamentos concretos e abstratos.

A questão, na minha opinião, é a relação entre o pensamento concreto e o abstrato. Parece que, especialmente com as crianças, temos que trabalhar com pensamentos concretos que envolvam a observação de objetos, fatos e eventos para resolver problemas em exemplos específicos. Obviamente, isso é importante. Mas também acredito que, através da mediação didática, temos a grande oportunidade de lidar com noções e raciocínios abstratos. O raciocínio abstrato envolve criatividade e solução lógica de problemas. As crianças tornam-se capazes de detectar padrões e relações entre eventos, ideias e objetos, formulando teorias e modelos, entendendo gradualmente o vínculo entre ideias verbais e não verbais, usando diferentes representações. (ROGERS, 1960)

O processo investigativo começaria quando o aluno nota que o problema proposto é intrigante, surpreendente ou que até mesmo por não ter relação com sua vivência, é interessante de ser solucionado. O próximo passo envolveria um processo ativo de observações, levantamento de hipóteses, questionamentos, testes e elaboração de modelos conceituais. Nessa etapa o aluno deveria seguir o seu próprio caminho, que raramente se mostra linear. À medida que a investigação avança, novas observações seriam feitas, surgiriam perguntas e aos poucos a compreensão começaria a ganhar espaço. Ao longo do processo é importante que o aluno colete e registre dados, faça representações de resultados podendo até mesmo se basear em outros recursos como vídeos, livros, ideias do grupo. Fazer com que uma experiência tenha sentido requer um investimento na reflexão, conversa entre os alunos, comparação dos experimentos com outros, observação e aplicação de novas concepções em outros contextos (ROGERS, 1960).

Para Balogová e Ješková (BALOGOVÁ e JEŠKOVÁ, 2018), uma atividade investigativa deve ser construída a partir da proposição de uma questão a ser analisada pelos alunos. O problema apresentado é normalmente seguido da formulação de hipóteses que deveriam ser verificadas a partir da identificação de variáveis e proposta de experimentos. Seguindo instruções e respondendo questões, os alunos continuam aos poucos conduzindo seus experimentos, coletando e analisando dados, interpretando resultados a fim de elaborarem conclusões. A partir de pesquisas realizadas com professores, alguns autores (MCLOUGHLIN, FINDLAYSON e BRADY, 2014) argumentam que experimentos tradicionais guiados por roteiros muito detalhados trariam uma visão distorcida da natureza da ciência, evitando uma produção significativa de conhecimento científico por parte dos alunos e não resultando em um trabalho em grupo eficaz. O excesso de roteirização seria aceitável desde que os objetivos pensados para a atividade requeressem uma quantidade de subsídios maior. Por outro lado, ao mudar o foco e optar por uma abordagem investigativa, abre-se margem para uma autonomia maior do aluno, que teria a liberdade de exercer sua criatividade para solucionar problemas que surgirão a partir de suas questões de pesquisa. No entanto, apesar de autônomo, o aluno precisará de uma mediação competente que o conduza ao longo do processo investigativo e o faça enxergar além do problema proposto.

Nota-se até aqui que apesar das atividades investigativas incentivarem o desenvolvimento de habilidades típicas das ciências e a autonomia do aluno, muitos professores evitam a prática por conta da dificuldade de avaliar propostas feitas com essa abordagem. Enquanto mediadores desse processo, os professores se mostram preocupados

sobre como coletar elementos que verifiquem o quão envolvidos os estudantes se mostraram durante a investigação (MAMLOK-NAAMAN, 2019).

Embora acreditem na motivação do aluno ao longo da investigação, em geral, as práticas adotadas nos laboratórios parecem falhar quando tentam apoiar uma abordagem investigativa (HODSON, 1990). Para Sere (SERE, 2002), é compreensível que muitos professores não consigam atender a todos os objetivos de uma investigação, por isso sugere que eles sejam limitados. Nas propostas deveria ser incluída, em cada atividade, uma descrição sobre quais habilidades pretende-se desenvolver em cada uma delas bem como qual estratégia específica pretende-se usar.

Por outro lado, esses autores sugerem que a avaliação do processo investigativo seja realizada levando em conta alguns tópicos gerais. Em atividades com essa abordagem se faz necessário verificar suas habilidades sociais, e nessa categoria estariam questões como o interesse e curiosidade do aluno em resposta à proposta apresentada e também o seu nível de engajamento no trabalho com o grupo; outra categoria de avaliação seriam as conclusões, nas quais deveria se levar em consideração a posição crítica dos alunos em relação ao que foi investigado e suas conclusões acerca dos resultados apresentados; outro ponto a ser verificado diz respeito a própria investigação, a qual envolve a verificação do planejamento proposto, hipóteses e questionamentos realizados; em uma categoria de observação estaria o fato de verificar a evolução dessa observação em momentos antes e depois do processo investigativo; e por fim outra categoria possível de ser avaliada seria a própria condução do experimento, verificando a destreza do aluno para lidar com o experimento e sua capacidade de seguir instruções (MAMLOK-NAAMAN, 2019).

Hofstein e colaboradores (HOFSTEIN, NAVON, *et al.*, 2005) tentaram verificar a eficácia de atividades investigativas a partir da avaliação de duas turmas, uma controle, que não realizou atividades nessa abordagem, e outra na qual as propostas das aulas seguiam um direcionamento investigativo. A avaliação realizada buscava verificar a capacidade dos alunos de pensar cientificamente, fazendo mais e melhores perguntas, tanto realizando um experimento quanto lendo um artigo científico. Nas conclusões obtidas constatou-se que os estudantes que participaram da modalidade investigativa melhoraram suas habilidades de fazer um número maior de questões e com maior relevância. Eles aparentemente estariam mais motivados a fazer perguntas sobre fenômenos científicos quando se deparavam com um artigo científico. Para eles, o ensino de ciências traz desafios tanto para alunos quanto para professores. Dessa forma, visando amenizar essa condição os autores propõem uma

lista de etapas possíveis para dar encaminhamento a uma sequência investigativa. De semelhante modo, Hofstein e colaboradores também propõe estratégias para conduzir atividades com essa abordagem, de modo que ambas as sugestões serão apresentadas de forma comparativa no Quadro 1:

Quadro 1: Comparação entre a abordagem investigativa de Hofstein e Balogová (HOFSTEIN, NAVON, et al., 2005; BALOGOVÁ e JEŠKOVÁ, 2018).

1 – conduzir experimentos de acordo com as instruções do professor; 2 – fazer observações;	
3 – levantar tantas questões quanto possível; 4 – escolher uma questão para ser analisada; 5 – construir uma hipótese para se tornar questão de pesquisa, baseando-se em princípios científicos;	formular hipóteses para serem testadas;
6 – projetar um experimento investigativo para resolver a questão de pesquisa;	- projetar experimentos (com variáveis que se relacionem);
7 – realizar e organizar mais observações;	- transformar resultados em formas padrão como gráficos;
8 – analisar e resumir o experimento investigativo;	- determinar relações entre variáveis baseando-se em gráficos, tabelas, testes e fórmulas; - determinar a precisão dos dados experimentais (identificar possíveis fontes de erros);
9 – apresentar os resultados para toda a classe; 10 – levantar mais perguntas.	- discutir/defender resultados/construir argumentos
(HOFSTEIN, NAVON, et al., 2005)	(BALOGOVÁ e JEŠKOVÁ, 2018)

Comparando os dois autores pode-se notar que Hofstein e colaboradores (HOFSTEIN, NAVON, *et al.*, 2005) reforçam o papel do professor durante o processo investigativo. Na perspectiva deles é sua função apresentar situações passíveis de observação e que sejam potencialmente investigáveis. Ambos os autores reforçam a importância de se levantar questionamentos em torno do problema analisado, buscando a melhor forma de projetar um experimento para avaliá-lo quantitativamente, estudar a influência de diferentes variáveis e qual relação pode ser estabelecida entre elas. A divulgação dos resultados obtidos é também unanimidade, compartilhar os resultados obtidos com os demais colegas, explicando e defendendo seu processo investigativo é um elemento essencial para a prática científica.

Uma síntese desses dois posicionamentos é refletida na abordagem dada por Sasseron e Carvalho e que será a postura adotada neste trabalho.

O aluno precisa ter contato com as práticas mais comuns empregadas no pensamento científico: o levantamento de hipóteses, identificação de variáveis e relações entre elas, elaboração de explicações e generalizações, registro e divulgação das informações, apresentação e defesa de ideias, construção de argumentos. Pretende-se que o aluno compreenda os processos de caráter social da produção, avaliação e divulgação do conhecimento, compreendendo a ciência como um empreendimento cultural pelo qual ideias são colocadas a prova sob a luz de determinadas concepções teóricas (SASSERON e CARVALHO, 2008).

Para que as habilidades do Quadro 1 fossem verificadas, Balogová e JEŠKOVÁ propuseram problemas que contemplassem cada um desses itens de modo que os alunos pudessem optar, dentre um conjunto de alternativas, aquela que melhor respondia seu problema. Em resumo, os autores concluíram que a implementação investigativa consistente levou a uma melhoria significativa no nível de desenvolvimento de habilidades investigativas (BALOGOVÁ e JEŠKOVÁ, 2018). As atividades realizadas em disciplinas como Física, Matemática e Tecnologias, mostraram que os alunos se mantiveram focados, desenvolvendo habilidades específicas de cada área. As avaliações realizadas a fim de verificá-las apontaram para uma aquisição positiva, denotando que as propostas anteriormente realizadas se desenvolveram de maneira satisfatória.

O material bem orientado e um professor com direcionamento consciente são fundamentais para uma boa execução de atividades investigativas. No entanto, esse tópico se torna ainda mais delicado quando a investigação passa a ser mediada pelas tecnologias digitais da informação e comunicação (TDIC). O potencial de crescimento das TDIC tem se intensificado e com ele muitas discussões têm sido levantadas sobre mudanças necessárias no processo de ensino. A seguir serão trazidos alguns desses questionamentos e como se tem feito uso delas atualmente. Além disso, espera-se encontrar uma forma de conciliar essa atual demanda por um ensino investigativo em conjunto com as novas tecnologias.

TDIC e a investigação

Atualmente, há um recorrente apelo à mudança no processo educacional, uma vez que ela parece não estar mais refletindo as necessidades da sociedade (DOSTÁL, 2016). Para o autor, não se trataria de uma mudança de conteúdo ou do currículo, mas na maneira de ensinar. Seu estudo busca identificar as necessidades que tornaram as TDIC um suporte para a abordagem investigativa do ensino. Mais que isso, a sociedade de hoje parece demandar cidadãos criativos e capazes de resolver problemas, como já vem mostrando tendências de

aplicações como o “*design* centrado no homem” (SHARPLES, JEFFERY, *et al.*, 2002). Esse termo foi originalmente criado pela IDEO, uma organização de *design* que desenvolve projetos orientados para as comunidades no combate à pobreza e criação de um mundo mais sustentável (IDEO, 2020). A ideia por trás dessa metodologia é estabelecer uma linha de comunicação aberta entre os indivíduos de uma comunidade, de modo que ao se conhecer de perto as necessidades do grupo, poderá ser pensada e construída uma solução mais adequada para seus possíveis problemas. Quando se envolve a comunidade no processo de criação, acredita-se que há mais chance de eles adotarem a solução alcançada (KEATING, 2019).

Nesse processo, a busca por soluções seria desenvolvida de maneira conjunta, partindo-se de um momento de inspiração. Na sequência ocorre um levantamento de ideias e questionamentos em torno do problema e uma posterior ideação onde se constroem possibilidades de solução com base em algum conhecimento já definido. Por fim ocorre a implementação da ideia visando resolver o problema inicial. O que se nota nessa prática é que o indivíduo não se adapta ao resultado, mas o resultado é que se adapta a ele tanto quanto for possível (SHARPLES, JEFFERY, *et al.*, 2002). Segundo Pedersen e Liu, essa tendência não pode ser evitada na educação, o que se espera é que ela forme um indivíduo tecnologicamente preparado para lidar com as suas questões pessoais e com as da sociedade, superando obstáculos, sendo criativo e tolerante (PEDERSEN e LIU, 2003).

Com relação a isso, muitos autores explicitam suas ideias sobre a atual formação escolar, acreditando que é substancial ensinar o aluno a pensar, resolver problemas e ser capaz de desenvolver e aprender ao longo da vida (DOSTÁL, 2016). Atualmente alguns pesquisadores têm acreditado que a compreensão é mais importante do que o conhecimento, de modo que a aprendizagem deve ser entendida como um mecanismo de compreensão para desenvolver a criatividade nos currículos escolares, o objetivo seria mais fazer com que os alunos entendam do que apenas conheçam conteúdos (BOY, 2013). Não se trataria de uma omissão de conhecimentos, mas uma preocupação em se focar também no desenvolvimento de habilidades e atitudes (CONNOR, KARMOKAR e WHITTINGTON, 2015).

Tendo em vista essa tendência, uma proposta tem sido vincular as atividades investigativas com outros elementos de instrução elevando o processo para um nível mais complexo, acreditando-se que o uso das TDIC possam ser uma das possíveis maneiras de engajar os estudantes em um processo mais autônomo de aprendizagem (DOSTÁL, 2016). Pesquisas avaliando relatórios da UNESCO têm mostrado que as TDIC proporcionariam

uma oportunidade para os alunos se envolverem em diferentes tipos de atividades, responsabilizando-se pelos rumos de sua aprendizagem, tendo oportunidades para experiências mais personalizadas em contextos diversos, com liberdade e poder de tomar decisões por conta própria (SUÁREZ, SPECHTA, *et al.*, 2017). Para Majumdar (MAJUMDAR, 2006), as TDIC incentivariam as interações entre os alunos por meio do desenvolvimento de uma cultura colaborativa, favorecendo a transmissão de um conceito, por vezes abstratos, por meio de estratégias como simulação, modelagem, análise de eventos reais por meio de filmagens.

A maior ênfase da infusão das TDIC na pedagogia seria melhorar o aprendizado, motivar e engajar os estudantes, promover a colaboração, promover a investigação e a exploração e criar uma cultura de aprendizagem centrada no aluno.

Isso permite passar de um modelo reprodutivo de ensino e aprendizagem para um modelo independente e autônomo que promove a iniciativa, criatividade e pensamento crítico com pesquisas independentes (MAJUMDAR, 2006).

O aprendizado por meio de projetos e problemas, investigação e proposição de experimentos, descobertas e invenção, criatividade e diversidade, ação e reflexão talvez fossem os mais adequados para os dias atuais, mudando a posição do professor de transmissor para um orientador e facilitador. O ensino passaria de algo expositivo, para situações exploratórias onde os alunos assumiriam um papel autônomo, ativo e de produtor do conhecimento, sempre colaborando com o processo de aprendizagem de maneira criativa, reflexiva e comunicativa, num ambiente colaborativo mediado pelo professor (MAJUMDAR, 2006). Ao mesmo tempo, o avanço da tecnologia estaria tornando a figura do professor dispensável, uma vez que a informação tem se encontrado muitas vezes na palma das mãos dos estudantes (DOSTÁL, 2016). Seria então papel da escola reagir a essa tendência apoiando o uso das tecnologias e ainda ensinando maneiras de lidar com ela. Ainda, segundo o autor, atualmente, muitos alunos preferem evitar os problemas que circundam a vida cotidiana ao invés de tentar solucioná-los. As atividades investigativas forneceriam então uma oportunidade para superar esses obstáculos à medida que permitem um desenvolvimento prático na resolução de problemas. A abordagem investigativa os ajudaria a compreenderem que na atividade humana existem obstáculos e problemas dos quais não se pode fugir, mas que se deve buscar maneiras de solucionar (DOSTÁL, 2016). Dessa forma, o uso das TDIC seriam uma estratégia acertada para se desenvolver um processo de ensino por investigação, favorecendo a aprendizagem e proporcionando um ganho de habilidades e atitudes por parte dos alunos (MAJUMDAR, 2006).

No entanto, a discussão sobre a autonomia do aluno e a intervenção sobre suas ações buscam avaliar se ele seria capaz de controlar sua própria aprendizagem ou agir sob sua própria iniciativa, chegando-se a supor que a intervenção dos professores seria diferenciada se houvesse iniciativa por parte deles (LITTLE, 2007). Nesse sentido, alguns autores (TRAN, BERG e ELLERMEIJER, 2017) defendem que a investigação se inicie de maneira guiada, fornecendo o problema, as condições e as ferramentas para solucioná-lo, ajudando apenas com um acompanhamento e formulando perguntas que poderiam impulsionar a investigação, incentivando a aquisição de liberdade para desenvolver a pesquisa com autonomia.

Ao mesmo tempo, aqueles que criticam as instruções dadas nas atividades investigativas argumentam no sentido de que o excesso de liberdade geraria resultados de aprendizagem menos desejáveis fazendo com que dedicassem um tempo maior selecionando e organizando informações para solucionar um problema proposto (SUÁREZ, SPECHTA, *et al.*, 2017). Nesse sentido os autores buscaram apontar uma compreensão mais clara sobre como entende-se o processo de instrução nas atividades investigativas.

Nesse trabalho os autores se propõem a apresentar uma estrutura de análise para verificar como se dá o processo de instrução dos alunos sob uma abordagem investigativa quando estão usando alguma TDIC. Dentro dessa estrutura de análise entrariam dimensões como os *objetivos*, dando a oportunidade de se estabelecer os próprios objetivos de aprendizagem; a *ação*, oportunizando a decisão do que fazer na continuidade da investigação; a *estratégia*, como responsabilidade para decidir como fazer; a *reflexão*, permitindo pensar sobre as estratégias que seriam adotadas para executar o processo; o *conteúdo*, podendo escolher dentre várias, quais informações usariam no seu trabalho; o *monitoramento*, que dá a oportunidade de monitorar o seu progresso ao longo da investigação (SUÁREZ, SPECHTA, *et al.*, 2017).

Suárez e colaboradores, aplicaram diversas atividades envolvendo o uso das TDIC segundo as dimensões anteriores. Algumas, por exemplo, foram classificadas como contendo uma instrução direta na sua proposição; outras favorecem a reflexão, organização e seleção de conteúdos disponíveis nas diversas mídias; há atividades que incentivam a coleta de dados e compartilhamento dessas informações; existem propostas que favorecem a troca de informações entre pares de modo a se atingir os objetivos apresentados; outras seriam atividades que permitem uma seleção de materiais digitais para realizar pesquisas e por fim explorar, discutir e construir conhecimentos sob diversas circunstâncias (SUÁREZ,

SPECHTA, *et al.*, 2017, p. 45). No entanto, a aparente liberdade dos alunos nesse processo deveria ser uma proposta feita com cautela. Uma maneira de estabelecer essa regulamentação seria propor alguns “andaimes” ao longo da sequência investigativa (PEDASTEIA, MÄEOTSA, *et al.*, 2015).

A proposta de Pedasteia e colaboradores apontam a necessidade de uma orientação nas atividades investigativas que funcione como apoios no processo de aprendizagem, não existindo um consenso para quais estratégias dos professores favorecem o melhor equilíbrio entre a atuação do aluno e esses andaimes oferecidos. Segundo esses autores há indícios de que situações de aprendizagem com o uso das TDIC poderiam impulsionar o processo investigativo. O termo “andaimes”, vindo do inglês *scaffolding*, traz a metáfora de que, assim como os construtores usam esse apoio essencial, mas temporário durante a construção, os professores precisariam fornecer estruturas de suporte temporárias para ajudar os alunos a desenvolverem novas compreensões, conceitos e habilidades de modo que a medida que os estudantes vão adquirindo-as, esses apoios vão sendo retirados (HAMMOND e GIBBONS, 2019).

Nas atividades investigativas, principalmente mediadas pela TDIC, a estrutura da proposta deveria então ser tal que proporcionasse aos alunos essas estruturas de apoio, no entanto, críticos dessa metodologia argumentam que talvez essa estrutura fornecida não seja suficiente para apoiar o processo de aprendizagem e essa atuação do professor enquanto orientador da tarefa não tenha o efeito desejável, tornando a execução da mesma pouco proveitosa (FURTAK, SEIDEL, *et al.*, 2012).

O uso de guias instrutivos nas atividades investigativas ainda gera questionamentos (LAZONDER e HARMSSEN, 2016). Nessa pesquisa compararam-se diferentes tipos de instrução para uma atividade. Os resultados indicaram que estudantes que receberam algum tipo de instrução melhoraram os resultados de sua aprendizagem, no entanto não há consenso sobre a especificidade da orientação, compreendendo apenas que ela é essencial na condução dessas tarefas.

No intuito de orientar propostas feitas nesse âmbito, Pedasteia e colaboradores (PEDASTEIA, MÄEOTSA, *et al.*, 2015) sugerem uma estrutura para implementar sequências de ensino. Dessa forma, experimentos investigativos poderiam ganhar um potencial em suas aplicações a partir da crescente oferta de ambientes virtuais para se desenvolver atividades. A partir de um levantamento bibliográfico os autores se propõem a analisar as diversas aplicações que vêm sendo feitas e que têm se baseado na investigação.

Nessa pesquisa foi possível identificar que as atividades propostas nesses moldes, habitualmente, são compostas como ilustrado na Figura 8: orientação, conceitualização, investigação, conclusão e discussão.

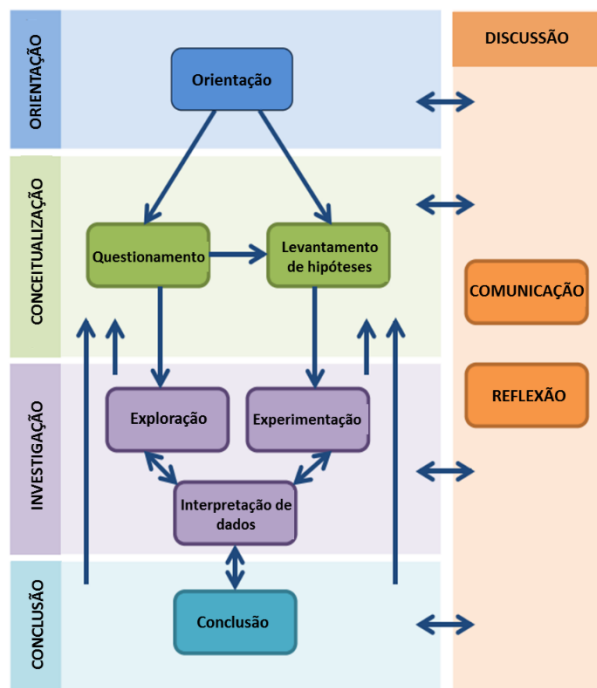


Figura 8: Estrutura geral de uma atividade investigativa (PEDASTEIA, MÃEOTSA, *et al.*, 2015) – tradução livre.

A etapa de orientação deve estimular a curiosidade dos alunos acerca de algum tópico e direcioná-los a resolver o problema. Na conceitualização deve ser definida uma questão base em meio ao problema proposto de modo a se poder fazer um levantamento de hipóteses para solução da questão. A investigação trata do processo de planejamento ou experimentação, de uma coleta e análise baseada em dados de uma exploração, preferencialmente experimental. Na conclusão deve ocorrer uma comparação de resultados, comparação de inferências baseadas em dados com hipóteses ou nas próprias questões de pesquisa dos diversos alunos. A discussão deve ser a etapa final, um processo de apresentação de conclusões de fases específicas ou de todo o ciclo de investigação, onde os alunos devem comunicar-se com os outros, explicitando o raciocínio desenvolvido ao longo da resolução do problema e quais tipos de reflexões levaram-no a resolver a atividade. Em relação ao estágio final da reflexão, notou-se que é necessária a explícita apresentação do raciocínio por parte dos alunos.

Nota-se que as atividades investigativas têm o anseio de engajar os alunos em um autêntico processo de descobertas científicas, havendo a possibilidade de iniciá-las de maneira indutiva, onde um conjunto de dados empíricos seriam o ponto de partida da

investigação e sua interpretação encaminhariam a solução do problema, ou de maneira dedutiva, onde a experimentação seria uma consequência, a investigação se iniciaria a partir de uma hipótese teórica, de uma crença a ser confirmada por meio de um possível teste experimental. Uma investigação não precisa necessariamente de testes empíricos, uma vez que muitos problemas a serem trabalhados não são novidades no meio científico, no entanto, nesse processo, é primordial que o aluno siga uma direção própria e que por conta própria sinta a necessidade de algum tipo de teste ou análise de dados para auxiliar seu processo reflexivo. A crescente necessidade de colocar o aluno no centro do processo investigativo tem apontado para busca de novas metodologias de ensino, das quais o computador tem se mostrado bastante eficiente (DRIGAS e KONTOPOULOU, 2016). Em alguns casos, as TDIC estariam oferecendo novas práticas de aprendizagem usando o mouse do computador, uma nova modalidade de atividades *hand-on*, onde a mesma compreensão conceitual desenvolvida em atividades experimentais seria agora fornecida via interação virtual (SCHEUCHER, BAILEY, *et al.*, 2009).

Como visto, adquirir uma compreensão mais profunda acerca do conhecimento científico e das práticas científicas requer dos estudantes um envolvimento cada vez maior no fazer ciências, aproximando-se dos métodos seguidos pelos cientistas ao invés de se concentrar apenas em aprender conteúdos intrínsecos. Para Tran e colaboradores (TRAN, NGUYEN, *et al.*, 2014), o processo investigativo proposto para os estudantes deve contemplar não apenas a compreensão de conceitos e regras, mas principalmente o caminho para a construção do conhecimento, qual a sua responsabilidade nesse processo e qual a importância da comunicação na socialização do conhecimento. O método investigativo faria então com que os estudantes tivessem mais oportunidades de participar do processo de aprendizagem, tendo uma visão mais profunda das competências trabalhadas, tanto explorando quanto aplicando raciocínios científicos.

Com o avanço das TDIC, tem sido possível experienciar diferentes formas de ensino. Entendendo a investigação como uma maneira prática de estimular o desenvolvimento de habilidades científicas, pensou-se na possibilidade de adaptar as propostas do MEXI para que elas pudessem ser usadas dentro dessa abordagem. Para tanto, fez-se um levantamento de propostas educacionais online, desenvolvidas sob uma perspectiva investigativa, de modo a se buscar referências para possíveis readequações do MEXI e que desenhassem o âmbito no qual este trabalho pode vir a ser inserido.

Propostas investigativas mediadas por TDIC

A união da tecnologia com a investigação tem se mostrado uma prática com potencial atrativo para os alunos quando se aproveitam de possíveis interações já vistas por eles. No trabalho de Rodrigues e Carvalho (RODRIGUES e CARVALHO, 2013) é apresentada uma maneira de ensinar a dinâmica do lançamento oblíquo para alunos do ensino médio usando o jogo virtual *Angry birds*. O estudo é feito a partir da gravação da tela do jogo e uma posterior análise usando o software *Tracker*, de modo que é possível iniciar o estudo da cinemática a partir dele. Trata-se de um jogo estratégico dinâmico baseado nas leis da física para o movimento de projéteis. O objetivo do jogo é acertar elementos alocados em prédios a partir do lançamento de pássaros que são feitos com um estilingue. Nesse trabalho, o movimento do pássaro foi gravado a uma taxa de 30 quadros por segundo, fornecendo quadros suficientes para estudo do lançamento. Segundo os autores, essa atividade permite que o aluno crie seu próprio referencial de análise, estabelecendo um padrão de comprimento de medida, além de começar a compreender conceitos fundamentais como posição, trajetória, movimento e repouso de uma maneira prática. Para um nível posterior, após o estudo da trajetória, os alunos podem construir gráficos de posição, velocidade e aceleração em função do tempo. O próprio software escolhido para análise constrói esses gráficos, o que acaba contribuindo para uma discussão com os estudantes sobre a trajetória descrita no jogo. Apesar do *Tracker* já efetuar os cálculos de velocidade e aceleração os autores sugerem fortemente que os alunos calculem esses valores ou manualmente ou usando uma planilha de cálculos, o que os ajudariam a compreender melhor os valores de um ponto de vista matemático e conceitual. Os professores também poderiam introduzir conceitos de composição de movimentos explorando os movimentos já discutidos como o uniforme e o uniformemente acelerado com suas correspondentes representações gráficas. Os autores acreditam que uma investigação interessante no processo é que o sistema *Tracker* requer uma calibração inicial para efetuar as medidas de posição. No entanto, por ser um jogo, não se sabe ao certo as medidas exatas dos corpos que estão interagindo dentro dele. Dessa forma, em uma análise inicial os alunos fazem uma calibração arbitrária. No entanto, após o processo de análise dos gráficos e funções horárias é possível obter o valor da aceleração da gravidade sob a qual o movimento estava ocorrendo. A partir do valor tradicionalmente conhecido para a gravidade, os alunos poderiam, usando uma função específica do *Tracker*, modelar o movimento a partir de funções horárias já estabelecidas, e com isso encontrar uma taxa de conversão mais adequada.

Outra aplicação abordando investigação e TDIC é apresentada por Ahlam e Michal (AHLAM e MICHAL, 2016). Nesse estudo os autores buscam apresentar um processo de construção de conhecimentos matemáticos abstratos a partir da interação entre pares de alunos. A tarefa de investigação consiste na verificação de possíveis relações entre áreas de quadrados construídos nas laterais de um triângulo obtuso a partir do uso do software *Geogebra*. O intuito era mostrar qual a influência desse programa no processo de investigação dos alunos, de modo que a partir de um questionamento os alunos levantariam suas hipóteses e as testariam usando o programa computacional. Após o processo eles eram convidados a explicar ou justificar a relação matemática construída. Uma informação relevante apontada pelos pesquisadores é que previamente ao processo foi desenvolvido com os alunos alguns conhecimentos necessários que guiariam a investigação, de modo a fornecer alguns subsídios necessários para se iniciar o processo. Nesse contexto, a construção do conhecimento se deu mediante o uso das TDIC, as quais permitiram explorar casos representativos de triângulos nas mais diferentes configurações além de usar um conhecimento prévio (teorema de Pitágoras) para construir um novo conhecimento a respeito das áreas, o que acabou possibilitando um ambiente de exploração, generalização e explicação.

Heck e Ellermeijer (HECK e ELLERMEIJER, 2012) defendem três objetivos para o ensino de ciências e matemática: compreender conceitos inerentes a cada área, entender que cada uma delas envolve mais do que conceitos, mas também história, metodologia e filosofia e ganhar a capacidade de se envolver e desenvolver conhecimentos científicos além de resolução de problemas. Além disso, eles procuram entender como as TDIC podem apoiar a aprendizagem e a prática investigativa dos alunos e como é possível desenvolver um ambiente integrado de aprendizagem de matemática e ciências. Assim, fazendo uso das TDIC espera-se fornecer ferramentas que permitam aos alunos atuar como cientistas reais, de modo que o trabalho deles apresenta estudos de caso no qual foi possível desenvolver investigações onde modelos matemáticos puderam ser testados a partir de dados reais coletados baseando-se em princípios científicos. Nessa pesquisa, usaram o *software Coach*, que permitiu investigações sobre locomoção humana (caminhar, pular, correr etc.) e outros assuntos envolvendo movimento, análise de imagens digitais e vídeos como mostra a Figura 9. Nesse exemplo o estudo baseou-se em um vídeo com uma pessoa pulando com um bastão elástico. O movimento periódico foi descrito a partir do software de modelagem *Coach*, a partir das posições verticais em função do tempo e a posterior construção deste gráfico. A

equação ajustada no software combinava bem com os dados medidos para valores de parâmetros adequados. Percebeu-se que os modelos teóricos adotados na física se mostraram mais adequados para estudar o movimento do que o modelo matemático construído a partir do software. Esse tipo de percepção era esperado que fosse percebido pelos estudantes durante o processo investigativo.

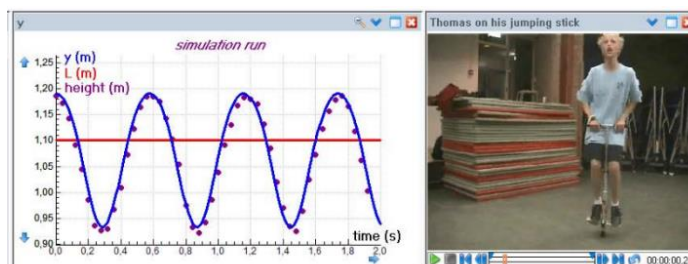


Figura 9: Software de análise Coach. À esquerda o gráfico de posição vertical do bastão elástico em função do tempo (HECK e UYLINGS, 2011).

Em outro trabalho similar que fez uso do mesmo programa para realizar o estudo de saltos, Heck e Uylings (HECK e ELLERMEIJER, 2012) destacaram que os alunos puderam descrever com considerável aproximação o movimento em questão. O estudo permitiu a eles preverem várias características do movimento como o tempo de contato com o solo, a quantidade de movimento vertical e horizontal em cada salto, energia mecânica do sistema. A experiência dos autores aponta para um sucesso no procedimento de modelagem por parte dos estudantes. Acredita-se que todos possam desenvolver pesquisa usando as TDIC da mesma maneira que os “cientistas reais”, podendo colocar em prática habilidades matemáticas como compreensão de gráficos, diferenciação e integração numérica, processamento e análise de dados, podendo desenvolver uma atitude crítica necessária para modelar com sucesso os fenômenos naturais. Para que isso seja possível, mostra-se importante que os alunos comparem os resultados dos modelos criados em computador com dados reais, coletados em uma atividade de medição anterior, por exemplo. O confronto de um modelo com a realidade transforma a modelagem gráfica não apenas em uma maneira divertida de aprender, mas também torna o trabalho desafiador e concreto, deixando os estudantes satisfeitos quando experimento, modelo e teoria estão de acordo (HECK e UYLINGS, 2011)

Em outro trabalho, Heck e colaboradores (HECK, KNOBBE, *et al.*, 2011) abordam o trabalho desenvolvido no ensino médio de uma escola na Holanda, onde os alunos devem ao final de sua formação escolar desenvolver uma pesquisa autoral sobre alguma questão que

lhes seja intrigante e aplicando as competências adquiridas ao longo do período escolar. Nesses projetos, o foco é oferecer oportunidades de experimentar como a ciência se desenvolve de maneira autêntica, mais que isso, apresentar ferramentas das TDIC que permitam a eles agir como cientistas. Nesse trabalho os autores apresentaram a pesquisa desenvolvida por dois alunos do ensino médio que estudaram a ciência do esporte, mais especificamente o movimento de giro para trás na barra alta, equipamento integrante do circuito das competições dos ginastas masculinos. A partir da orientação dos professores ambos desenvolveram suas pesquisas investigando se haveria alguma influência dos ângulos das articulações do ombro e do quadril na velocidade angular desenvolvida ao longo desse movimento específico. Eles buscaram identificar como um ginasta poderia otimizar esses e outros fatores em seu desempenho a fim de atingir a maior velocidade angular possível e ainda apresentar um bom desempenho aos olhos dos jurados da ginástica. Na investigação, os dois alunos projetaram um experimento no qual fosse possível coletar dados de posição, ângulo, velocidade e tempo a partir da gravação do movimento e posterior análise dos quadros extraídos da filmagem. A partir do *software Coach* e *Kinovea* coletaram dados de posição linear e angular e tempo ao longo do movimento de rotação de um atleta na barra (Figura 10).

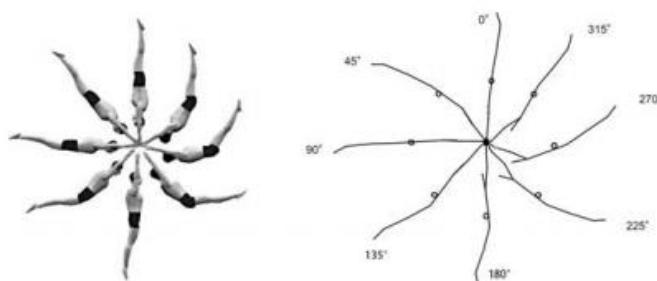


Figura 10: Representação obtida a partir do software *Coach* (HECK, KNOBBE, *et al.*, 2011).

O que se mostrou interessante ao longo da investigação é que os alunos procuravam usar-se de conceitos para explicar o movimento, desde a lei dos cossenos para calcular um ângulo de rotação até mesmo princípios da mecânica como momento de inércia, momento angular, impulso etc. No relatório produzido, eles refletiram sobre o desempenho da pesquisa e os resultados obtidos e ainda fizeram sugestões para investigações adicionais, como ocorre na prática científica. Quanto ao uso das TDIC eles usaram apenas ferramentas disponíveis e de fácil acesso. O artigo mostrou que com esse tipo de tecnologia é possível colocar os alunos em contato com a investigação científica de maneira autêntica, permitindo que colem informações sobre determinado assunto e entrem em contato com literatura especializada.

Tiveram a oportunidade de coletar dados reais, processar, analisar e relatar resultados de maneira muito equivalente aos cientistas. Para os autores, o uso efetivo das TDIC, o envolvimento com a investigação e o processo de raciocínio desenvolvido seria mais importante do que os resultados obtidos.

1.2.3. Modelagem

Para Psycharis (PSYCHARIS, 2008), os ambientes de modelagem são aqueles que permitem que o aluno consiga, a partir dos princípios de uma teoria já estabelecida, construir um modelo, uma representação parcial do mundo ao redor. Para ele, um modelo poderia ser classificado segundo duas naturezas: um modelo do tipo **O** “objeto modificado”, que é deduzido a partir de uma teoria conhecida como por exemplo o modelo para movimentos uniformemente acelerados; e o modelo do tipo **T** “teoria”, que seria construído de maneira heurística, buscando meios de se conectar à explicação da natureza das coisas, tentando respaldar teorias em desenvolvimento, como por exemplo a ideia de fótons (MORRISON, 1999).

Um modelo deve, portanto, ser entendido como uma representação de um conhecimento e pode ser estruturado sobre alguns componentes. O modelo pode ser visto como um substituto para pensar a realidade, não sendo necessário agir diretamente sobre ela, compondo um conjunto de estratégias sob as quais o mundo poderia ser pensado. Para essa construção o modelo, quando estruturado, deveria considerar o raciocínio que levou à sua concepção, o domínio de validade que ele abarca e quais as inferências feitas ao construí-lo (DAVIS, SHROBE e SZOLOVITS, 1993).

Para Örnek (ÖRNEK, 2008), um modelo científico seria aquele que representa, a partir de uma referência conhecida, um objeto, fenômeno ou ideia e, mesmo sendo uma representação individual, poderia servir de exemplo para outras classes semelhantes. No contexto da educação e do ensino de física, os modelos se mostram como uma maneira de apresentar a física presente na natureza com seus conceitos, princípios, regras e equações matemáticas (TSEITLIN e GALILI, 2006), assumindo diferentes estruturas dependendo da aplicação. Para alguns pesquisadores, os modelos são importantes componentes da metodologia científica, sugerindo que por meio deles os alunos tomem conhecimento dos mais significativos modelos científicos, sejam capazes de avaliar a abrangência e limitação desses modelos e se envolver em atividades de modelagem e discussões sobre o uso de modelos produzidos por eles mesmos (GILBERT e BOULTER, 1994).

A modelagem fazendo uso das TDIC acaba muitas vezes se confundindo com as simulações computacionais, no entanto as simulações e modelagens apresentam características que os distinguem. Como visto, o domínio de validade do modelo é algo a se levar em consideração, dessa forma, quando ele é usado para construção de uma simulação computacional há de se testar condições de entrada conhecidas comparando com valores de saída compatíveis com o fenômeno simulado. Em geral, nesses casos são usados modelos matemáticos, que podem ser deterministas (entrada e saída das variáveis são valores fixos) ou estocásticos (pelo menos a entrada ou saída das variáveis são valores probabilísticos), estáticos (o tempo não é levado em consideração) ou dinâmicos (o tempo entre as interações é levado em conta) (PSYCHARIS, 2008). Para o autor, em geral, as simulações computacionais não diferenciam os modelos usados em simulações, se do tipo **T** ou **O**, trata-se apenas de uma escolha de valores de entrada que fornecem outros de saída, desconsiderando questões de validade, verificação e credibilidade que são imprescindíveis na modelagem. Para que as simulações computacionais possam realmente ser adequadas a uma estrutura de modelo seria necessário levar em conta essas considerações, uma vez que ainda se tem essa estratégia como um recurso eficaz para o estudo de fenômenos. O uso de modelos nas simulações, além de envolver estudantes na investigação e previsão de resultados em certos fenômenos, eles ajudam a entender por que os eventos observados ocorrem, exploram os efeitos da modificação de variáveis, avaliam ideias e estimulam o pensamento crítico.

Os autores apresentados até aqui defendem a ideia do modelo como uma representação da realidade, criado e estruturado sob determinadas considerações e inferências e que de maneira geral pode se comportar como um substituto da teoria, visto que sua construção está baseada nela. Apesar de pontuarem algumas considerações para construção de um modelo recorreu-se a ideias de outros pesquisadores que aplicassem a modelagem às situações investigativas do fazer científico e que contribuíssem para a atividade que vinha sendo desenvolvida com os alunos do ensino médio. O que se vinha percebendo dos autores comentados é que os modelos muitas vezes eram entendidos como construções que serviam para representar uma situação em estudo.

Por muito tempo os modelos foram vistos como apêndices das teorias, sem ter sua própria relevância para o pensamento científico. A popularidade deles começou a crescer quando passaram a ser considerados relevantes para as descobertas científicas e responsáveis por mudanças nas teorias vigentes (BELZEN, DRIEL e KRÜGER, 2019).

O processo de modelagem se torna reconhecido quando está atrelado a práticas científicas, por exemplo, observação, comparação, classificação ou experimentação (MÄKI, 2005). No caso da experimentação, as variáveis envolvidas no processo de modelagem são realizadas tomando a teoria como base, já no mundo real a manipulação das variáveis se baseia em uma realidade aplicada a uma situação experimental não necessariamente real (CLEMENT, 2009). Esse fato acaba por creditar à modelagem a possibilidade de examinar empiricamente previsões feitas no mundo experimental. No caso de o modelo gerar hipóteses que contradizem os dados até então aceitos, o sistema de análise precisa ser repensado, o conceito do fenômeno modelado precisa ser revisto e novos testes devem ser realizados. É nesse sentido que a modelagem se apresenta como um método capaz de comparar resultados baseados na teoria com experiências do mundo real, abrindo assim possibilidades de se desenvolver o conhecimento científico (GIERE, BICKLE e MAULDIN, 2006). Alguns autores defendem que o processo de modelagem não segue um princípio procedimental rigoroso, uma vez que pode ser considerada como o desenvolvimento de uma arte composta de elementos criativos (MORRISON e MORGAN, 1999)

Para Giere e colaboradores (GIERE, BICKLE e MAULDIN, 2006), a modelagem não deve ser determinada apenas por um conjunto de dados ou uma teoria, mas ela deve levar em conta também a intuição e a experiência de quem está criando o modelo. Sua construção começa com a observação do fenômeno e então, levando-se em consideração sua finalidade e as habilidades de quem o está montando, levanta-se um modelo inicial com as variáveis que serão relevantes para o estudo do fenômeno. Essa primeira etapa tem um único propósito, no entanto pode receber diferentes nomenclaturas dependendo do autor. Pode ser pensado como um modelo mental (NERSESSIAN, 2008), modelo inicial (CLEMENT, 1989) ou protomodelo (GILBERT e JUSTI, 2016). Esse modelo inicial edificado a partir da observação pode ser aprimorado aos poucos, acrescentando-se sempre novas variáveis de modo a oferecer consistência, ajustando-o sempre ao fenômeno em questão. Essa etapa foca-se em selecionar variáveis para o sistema modelado, de modo que a partir dele podem ser elaboradas hipóteses que venham a agregar novas condições ao sistema. Outra maneira de incorporar novas variáveis é por meio de investigações experimentais, comparações entre fenômenos, observações sistemáticas, estratégias que podem trazer resultados que confirmam ou refutam as hipóteses que estão sendo consideradas.

Em seu trabalho, Ritchey (RITCHEY, 2012) procura desenvolver uma teoria que descreva o processo de modelagem. Em sua primeira definição está o modelo científico com

pelo menos duas construções mentais que podem ser interpretadas como variáveis ou que podem ser investigadas experimentalmente. A partir disso, aquele que está modelando deve buscar estabelecer relações entre essas variáveis. Além disso, o autor elenca 5 características da modelagem: a) Sua estrutura pode assumir valores ou serem apenas nominais; b) O contexto no qual o modelo está inserido pode ser direcionado ou não, isto é, estar explícito ou não; c) A relação entre contexto e variáveis podem ou não ser quantificadas; d) As relações podem ser cíclicas ou acíclicas; e) As relações podem ser definidas por meio de equações matemáticas, relações de causa e consequência, probabilidades, critérios lógicos etc. Apesar dessas 5 definições, o autor sugere que existam combinações entre elas durante o processo de modelagem e dessa forma afirma existirem duas funções básicas para os modelos nas ciências. Com um modelo conceitual os cientistas são capazes de comunicar suas ideias sobre um fenômeno e discuti-lo com outras pessoas, transportando e comunicando o estado da pesquisa, por exemplo. Além disso, a ciência pode adquirir novos conhecimentos ao aplicar e testar os modelos. Nesse caso eles têm o papel de ferramenta de pesquisa para obter novos conhecimentos e permitir uma reflexão ainda maior no processo de investigação.

A partir dos novos autores apresentados notou-se a potencialidade do modelo científico como ferramenta investigativa da realidade. As considerações feitas por eles direcionam para o modelo como parte essencial da investigação científica, apontando abrangências e limitações na sua construção e abrindo espaço para considerações acerca de uma teoria vigente. Por ser essa abordagem mais compatível com a proposta de atividades que este trabalho está desenvolvendo, adotou-se a visão semântica de modelo (ADÚRIZ-BRAVO e ARIZA, 2014) e principalmente a definição de modelagem proposta por Giere (GIERE, 1999), cujas apresentações serão feitas a seguir.

Concepção adotada

A modelagem tem sido conceitualizada como “um tipo de natureza do conhecimento científico” que engloba questionamentos de “como os modelos são usados, por que são usados e quais são seus pontos fortes e limitações para apreciar como a ciência funciona e a natureza dinâmica do conhecimento que a ciência produz” (SCHWARZ, REISER, *et al.*, 2009).

Assim, pensar numa competência de modelagem permitiria incluir a capacidade de obter conhecimento para julgar os modelos em relação à sua finalidade e refletir sobre o

processo de aquisição de conhecimento por meio deles (KRÜGER, KAUERTZ e UPMEIER ZU BELZEN, 2018). Além disso, a capacidade de usar efetivamente modelos para fins específicos em contextos específicos, juntamente com um entendimento sólido desse uso está começando a ser considerado um dos principais objetivos da educação científica (ADÚRIZ-BRAVO, 2019).

“[modelos são] parte integrante da compreensão da natureza da ciência [...], meios efetivos para o ensino de literatura científica ferramentas eficazes e eficazes para o ensino do conhecimento do conteúdo [científico]” (KRELL, UPMEIER ZU BELZEN e & KRÜGER, 2012, p. 2).

Segundo alguns autores, é necessário estabelecer requisitos teóricos que fundamentem a aplicação da modelagem. Na filosofia das ciências existem diversas conceituações para os modelos que podem ser aplicados na investigação, inovação, currículo, ensino, avaliação e formação de professores (GRANDY, 2003). Para Adúriz-Bravo (ADÚRIZ-BRAVO, 2019), a questão da modelagem científica adota uma visão semântica. Tal posicionamento segue a linha da chamada família semanticista, tendência filosófica iniciada a partir do final do século XX. Até então, o conceito de modelo não era tão representativo, o que denota que eles, diferente das teorias, não eram considerados até muito recentemente como um elemento-chave na compreensão dos filósofos sobre o funcionamento das ciências. Segundo Moulines (MOULINES, 2010), no início do século XX os modelos eram definidos como derivados de uma teoria, eles eram considerados estruturas construídas por meio de conceitos teóricos. Dessa forma, uma teoria já consolidada poderia ser interpretada em um âmbito experimental e posteriormente tornar-se um modelo daquela teoria.

Foi a partir da segunda metade do século XX que os modelos passaram a receber definições mais sofisticadas se voltando cada vez mais para os modelos científicos, se tornando a forma mais apropriada para representar sistemas naturais e artificiais (ADÚRIZ-BRAVO, 2019).

Nas décadas de 1950 e 1960, no contexto de uma nova filosofia emergente de ciência especialmente através dos trabalhos de Thomas S. Kuhn deu-se início à concepção analítica e formalista de modelos. Os modelos científicos começaram a ser retratados como “um epítome teórico digno de imitação para a solução de problemas” (ADÚRIZ-BRAVO, 2019, p. 24).

Essa ideia de modelo como analogia influenciou muito as pesquisas do final do século XX, até que se começou a mudar de forma para conteúdo, de significado para estrutura (SUPPE, 2000). Nessas circunstâncias, um modelo científico começou a ser identificado

como exemplo pretendido de uma teoria. Do ponto de vista das análises filosóficas, uma teoria científica, mesmo que seja uma entidade complexa com vários componentes, pode ser bem caracterizada como uma família de modelos (SUPPE, 2000). Alguns pilares sobre os quais se fundamentam todas as visões semânticas sobre modelos é que as teorias empíricas têm a intenção de relacionar os modelos ao mundo real, uma vez elas comportam os fenômenos que por elas são explicados.

Os modelos mostram em que contexto fenomenológico as entidades teóricas fazem sentido e como são utilizadas para intervir e explicar o que acontece. O conjunto de modelos teóricos pode ser descrito por meio de axiomas e entidades (isso é o que os livros didáticos geralmente fazem), mas nem o primeiro nem o último têm significado sem os fenômenos dos quais surgiram; assim, [teorias] são ação, não apenas representação mental ou linguagem (IZQUIERDO-AYMERICH, 2013, p. 1636).

A prática da modelagem é um importante componente da metodologia científica, sugerindo que por meio dela os alunos tomem conhecimento dos mais significativos modelos científicos (PSYCHARIS, 2008; DAVIS, SHROBE e SZOLOVITS, 1993; ÖRNEK, 2008). Além disso, eles poderão desenvolver a capacidade de avaliar a abrangência e limitação dos modelos e ainda se envolver em atividades e discussões sobre o uso daqueles produzidos por eles (GILBERT e BOULTER, 1994).

Diante da polissemia do termo “modelo”, Giere (GIERE, 1999), adepto da contemporânea corrente semanticista da filosofia da ciência, propõe uma definição coerente com a ideia de que a atividade científica é aquela que, por excelência, cria, manipula e modifica modelos. É nesse sentido, portanto, que se pode entender essa corrente como uma abordagem modelo-teórica do empreendimento científico.

Para mim, os modelos na ciência são entidades fundamentalmente representacionais. Sustento que os cientistas utilizam tipicamente os modelos para representar aspectos do mundo. A classe de modelos científicos inclui modelos físicos em escala e representações diagramáticas, mas os modelos que mais interessam são os teóricos. Estes são objetos abstratos, entidades imaginárias cuja estrutura pode ou não ser semelhante a aspectos dos objetos e processos no mundo real. Os próprios cientistas tendem mais a falar do ajuste entre seus modelos e o mundo, uma terminologia que adoto com agrado (GIERE, 1999, p. 5).

Para o autor, que concebe uma interpretação sobre os modelos tomando como exemplos casos clássicos da física, a *função* de um modelo não está na *identificação* entre ele e o objeto real modelado, mas sim, na *representação* desse objeto. A Figura 11 mostra o triângulo de Giere (GIERE, 1999), uma estrutura que busca clarificar essa perspectiva. Para ele, os modelos são aqueles que mais se centram nas ciências. Seriam eles não um meio de interpretar sistemas reais, mas sim ferramentas de representação do mundo.

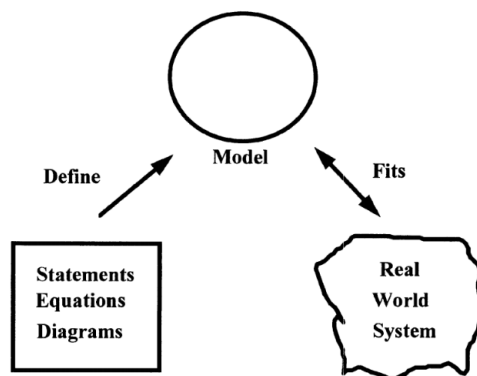


Figura 11: Modelo representacional de Giere (GIERE, 1999).

Segundo Giere (GIERE, 1999), um modelo é um objeto abstrato e mental, cuja definição ocorre a partir de convenções e enunciados teóricos – conceitos, leis e princípios – de uma teoria científica. A atitude científica busca avaliar a intensidade com a qual esse modelo se ajusta adequadamente ao sistema real de interesse. Essa avaliação acontece a partir da enunciação de uma hipótese teórica: um objeto linguístico sujeito a um julgamento de veracidade ou falsidade, que afirma algo acerca da proximidade entre o modelo teórico e o sistema real sendo modelado. Para fazer essa aferição dos pontos de vista qualitativo e quantitativo, a hipótese teórica leva em conta, respectivamente, os *aspectos* e os *graus* de similaridade entre ambos. Os *aspectos* dizem respeito aos elementos do sistema que o modelo tenta captar, indicando, indiretamente, aqueles outros que são desprezados pela iniciativa de modelização. Por sua vez, os *graus* apontam para as exigências de adequação do modelo ao sistema em termos de precisão e acurácia.

Para cada modelo teórico que se constrói, diferentes aspectos e graus podem ser levados em conta. Com mais aspectos de similaridade sendo cobertos pelo modelo, amplia-se a adequação dele ao sistema real sendo modelado. Porém, aumentando a exigência dos graus a partir, por exemplo, da modulação da tolerância a margens de erro, um modelo até então aceito pode passar a não mais ajustar-se adequadamente ao comportamento do sistema. Nesse sentido, a concepção de modelos sugerida pela corrente semanticista (GIERE, 1988) é uma descrição simultaneamente versátil e potente da atividade científica (ADÚRIZ-BRAVO e ARIZA, 2014).

A partir dessa compreensão acerca da utilidade dos modelos, é importante esclarecer que a atividade desenvolvida neste trabalho não tem o compromisso de fazer com que os alunos tenham um esclarecimento tal qual o aqui descrito, mas sim, a partir dessa compreensão conciliar o caráter representativo com o caráter semântico dos modelos

construídos pelos alunos. Espera-se verificar se o modelo construído pelos estudantes permita, de certa forma, uma representação coerente da realidade.

O conjunto de referenciais apresentados até aqui foram sendo acrescidos à elaboração da atividade a cada ano. Dessa forma, cada um deles requereu uma metodologia de avaliação diferente e fundamentos específicos para cada iteração.

1.3. Referenciais analíticos

A fim de avaliar a produção dos alunos de uma maneira que verificasse se a questão da contextualização havia sido bem explorada, optou-se por solicitar que os alunos elaborassem um relato que seguisse uma estrutura argumentativa. Para tanto, buscaram-se referenciais que embasassem a construção da proposta que estava em desenvolvimento. No entanto, com a reformulação da atividade e adotando uma abordagem investigativa, recorreu-se a uma maneira de avaliar as expressões linguísticas usadas nos argumentos dos alunos de maneira mais apurada. Nesse sentido, recorreu-se aos jogos de linguagem propostos por Wittgenstein, buscando-se estabelecer o “jogo” mais adequado para a situação física estudada. Em uma reformulação posterior, a combinação entre as atividades investigativas e o uso da modelagem demandou um processo avaliativo capaz de ponderar esses dois princípios estabelecidos nos princípios do *design* da atividade. Assim optou-se pelo uso das rubricas avaliativas que pudessem fornecer uma devolutiva acessível aos alunos.

Cada um dos referenciais usados que embasaram a elaboração das propostas avaliativas a cada ano será apresentado a seguir.

1.3.1. Argumentação

O processo do ensino deve ir além de substituir concepções espontâneas em conhecimentos científicos e leis físicas, ele deve fazer sentido para o aluno tornando-o apto a uma nova cultura, compreendendo e ensaiando o uso de novas práticas, valores e linguagens (SASSERON e CARVALHO, 2008). Esse método de ensino apresentado pelas autoras e desenvolvido por muitos pesquisadores, é o que elas chamam de ensino por investigação, uma maneira de desenvolver o pensamento reflexivo dos alunos por meio de um processo argumentativo.

Para Lawson (LAWSON, 2004), deve haver um padrão de pensamento para desenvolver o processo argumentativo e conseqüentemente as descobertas científicas

(pensamento hipotético dedutivo). Para ele, as atividades investigativas ajudam a desenvolver esse tipo de raciocínio nos alunos, de modo a compreender os conceitos. Não só propor esse tipo de investigação, mas também cabe ao professor “fechar” as atividades investigativas, reforçando as hipóteses levantadas, revendo os dados analisados e delineando-os com o raciocínio que foi construído.

Naquele trabalho, as autoras citam ainda Lemke (LEMKE, 1997), onde no livro “Aprender a falar Ciências”, ele destaca a importância de se usar as diversas linguagens da ciência no processo argumentativo.

Além do processo argumentativo na linguagem verbal, quer oral, quer escrita, existem outras características da linguagem científica cujo entendimento é importante para o processo de construção das ciências [...] Para fazer ciências, para falar ciências, para ler e escrever ciências, é necessário lidar e combinar em formas regradas discurso verbal, expressões matemáticas, representações gráfico-visuais e operações motoras no mundo natural (incluindo humano como natural) (LEMKE, 1997).

A linguagem, para Lemke, seria então um “híbrido semiótico, uma combinação de diferentes linguagens, todas elas necessárias ao saber científico”. Sendo assim, a argumentação científica também deve se valer dessas linguagens. As linguagens matemáticas, imagens, tabelas, gráficos e equações, precisam ser bem trabalhadas para se tornarem “transparentes” e serem naturais para os alunos.

da mesma forma que óculos auxiliam um míope a enxergar o mundo de forma diferente, levando-o até mesmo a esquecer-se de que está usando este artefato, os gráficos e outras ferramentas científicas possibilitam uma relação direta entre o investigador e seu objeto de estudo (ROTH, 1999).

A linguagem científica tem o potencial de permitir que um cientista enxergue o significado de um fenômeno apenas olhando para um gráfico, por exemplo. No entanto, para que se atinja esse nível de compreensão é necessário que os alunos sejam estimulados a combinarem os diferentes tipos de linguagem em seu processo argumentativo, desenvolvendo um linguajar científico compreensível dentro da sua comunidade.

No livro “Vida de laboratório” (LATOURE e WOOLGAR, 1997), nota-se que a construção das Ciências se dá por meio da linguagem argumentativa. É por meio dessa linguagem que os cientistas conseguem “se convencer” dos avanços e descobertas científicas.

[conseguem convencer os outros] porque estão seguindo uma orientação coerente de interpretação de dados [...] [os cientistas esquecem toda a aparelhagem do laboratório para] consagrar-se exclusivamente aos fatos postos em evidência (LATOURE e WOOLGAR, 1997).

O processo de persuasão ocorre com a argumentação, na discussão dos fenômenos. A atividade investigativa seria aquela na qual o aluno não tem um caminho de resposta, é necessário um período de discussão para se chegar a uma conclusão.

A argumentação, almejada ao concluir-se um estudo científico, requererá, portanto, uma linguagem apropriada. Sobre essa ideia, Latour usa-se de um termo bastante recorrente e que merece destaque.

Em contrapartida, os que transformam matéria em escrita serão chamados inscrites. Iremos mais precisamente designar com este vocábulo todo elemento de uma montagem ou toda combinação de aparelhos capazes de transformar uma substância material em uma figura ou em um diagrama diretamente utilizáveis por um daqueles que pertencem ao espaço do 'escritório' (LATOUR e WOOLGAR, 1997, p. 44).

Segundo ele, uma característica do perfil científico é a capacidade de transformar observações em dados, gráficos, tabelas, ferramentas que possibilitem a transmissão de determinado conhecimento para uma comunidade científica. Muitas vezes, em sala de aula, o professor faz o tratamento direto de inscrições, sem considerar suas origens e de onde foram obtidos, dificultando a compreensão por parte dos alunos. Quando o aluno tem a liberdade de construir suas conclusões ele pode vir a perceber equívocos em seus dados ou até situações em que sua conclusão pode não se encaixar. Para um cientista, um gráfico representa o próprio fenômeno, para os estudantes, pode tratar-se de uma linguagem de difícil compreensão, algo a ser decodificado se não for adequadamente explorado (CAPECCHI, 2004).

No mesmo livro, Latour relata o peso de significado que um cientista dá para um conjunto de dados e que consequências ele trará para a comunidade científica.

Que contraste entre o custo, o tamanho da aparelhagem e o produto - essa simples folha de papel onde se desenhou uma curva, um esquema ou um quadro de figuras! É sobre ela que se debruçam os pesquisadores em busca de um "significado". Ela torna-se "dado" em uma demonstração ou em um artigo".

“Os aparelhos que produzem resultados sob a forma escrita devem, portanto, ser objeto de nossa atenção. Fica evidente, na verdade, que se pode atribuir a eles um significado particular. (LATOUR e WOOLGAR, 1997, p. 44).

Entende-se aqui que a aparelhagem que fornece os dados, ou o processo usado para isso, não é necessariamente um *inscritor* porque os dados brutos que ele fornece não são diretamente usados na argumentação. Quando se produzem gráficos, tabelas, diagramas, todos esses artifícios, que servirão, para dar suporte à argumentação podem ser interpretados como *inscrites*.

Latour explicita que a ideia de um *inscritor* é essencial para estabelecer relações entre um dado e a realidade. As discussões a respeito de um fenômeno fluirão em torno de um produto construído, um gráfico por exemplo, no entanto há de se lembrar o processo necessário para que essa construção seja possível. No meio científico, a produção se torna um ponto de partida para o diálogo entre as diferentes áreas do saber, proporcionando um exercício mútuo da argumentação.

Tudo chega mesmo a indicar que as capacidades de inscrição dos aparelhos, a mania de marcar, de codificar e de fichar assemelham-se muito com as qualidades exigidas das pessoas que exercem uma profissão literária: saber escrever, persuadir e discutir. (...) O que parecia ser somente um caos de números adquire finalmente valor de argumento em uma discussão entre "doutores" (LATOUR e WOOLGAR, 1997)..

Tais pressupostos acerca da linguagem científica têm extrapolado o âmbito científico dos laboratórios acadêmicos passando a ser desenvolvido, com as adaptações necessárias, em nível escolar. A maneira como essa questão vem sendo abordada com os estudantes será o próximo tópico de discussão.

Um dos objetivos da escola seria promover a aprendizagem científica de seus alunos a partir da prática de um pensamento reflexivo, que para alguns autores se traduzirá em um discurso argumentativo (CARVALHO, 2014). O desafio inicia-se na maneira pela qual será possível desenvolver essa aprendizagem. O fator linguagem aqui é a chave para que a construção do conhecimento tenha sucesso. O bom andamento de um discurso em sala de aula pode servir para descobrir se o atual processo de ensino-aprendizagem foi bem-sucedido. O assunto é bastante discutido por Sasseron e Carvalho (SASSERON e CARVALHO, 2008) em um de seus trabalhos; elas retomam o posicionamento de alguns autores sobre o compromisso da escola em fornecer aos alunos os saberes científicos, dando ênfase nesse tipo de ensino nas séries iniciais do ensino fundamental, instigando desde cedo as crianças no processo de investigação científica.

Para poder então avaliar um método pelo qual seja possível diagnosticar se um aluno foi alfabetizado cientificamente é necessário compreender o que é esperado dessa aprendizagem. Em outro trabalho (SASSERON e CARVALHO, 2011) essas mesmas autoras fazem uma revisão bibliográfica de trabalhos que tratam do assunto. Por esse motivo, são comparados os significados do termo “Aprendizagem Científica” para diferentes países. Um consenso é percebido entre espanhóis, ingleses e franceses que é criar habilidades para decidir no cotidiano, de modo a ser um cidadão crítico. Durante essas análises perceberam-se algumas dificuldades na tradução literal do termo, no entanto, quanto ao significado, a

maioria dos países têm praticamente a mesma interpretação. Aqueles que usam a expressão *Letramento Científico* justificam que o colocar ações em prática só será possível após a formação da leitura e escrita. Já para as autoras, a escolha do termo aprendizagem científica fundamenta-se nas ideias de Paulo Freire, onde a alfabetização é mais do que a mera escrita, mas a interiorização do conhecimento de maneira consciente. Assim, daqui em diante será feita a mesma opção das autoras, ou seja, fazer uso da expressão *Aprendizagem Científica* (AC), cujo objetivo é proporcionar ao aluno uma nova cultura, outra forma de visão reflexiva a respeito do mundo.

Visto isso, a grande questão é: como promover essa aprendizagem na escola? Na tentativa de responder à questão, as autoras apresentam três “Eixos Estruturantes da Aprendizagem científica”, dentre os quais existe a preocupação com o entendimento de conceitos científicos básicos, a apreensão com a apresentação das questões éticas que estão por trás da prática de cada indivíduo e por fim o último eixo que relaciona a ciência com tecnologia, meio ambiente e sociedade (CTS). Eles surgiram da necessidade de, após definir o sentido de AC como necessária para a formação de um cidadão crítico, achar uma maneira de aplicar esse ensino. O primeiro eixo denominado “*compreensão básica de termos, conhecimentos e conceitos científicos fundamentais*” indica que o aluno deve enxergar a ciência vista em aula no seu cotidiano. No segundo eixo, “*compreensão da natureza das ciências e dos fatores éticos e políticos que circundam sua prática*” ressalta-se a importância sobre a tomada de consciência sobre as decisões ao usar a ciência seja para o bem ou para o mal. E por fim o último eixo, “*entendimento das relações existentes entre ciência, tecnologia, sociedade e meio-ambiente*” onde se subentende que a interdisciplinaridade facilita o desenvolvimento da formação científica (SASSERON e CARVALHO, 2008).

Compreendido o sentido que se busca para a aprendizagem científica é necessário ir ao encontro de um método que evidencie a aprendizagem do aluno. Existem várias maneiras de se avaliar a eficácia do ensino, dentre elas estão as avaliações escritas que são aplicadas aos alunos e servem de guia para o professor saber o quanto conseguiu atingir seus alunos com o conhecimento; as avaliações orais, que podem ser questões feitas aleatoriamente em sala de aula e conforme o professor obtém uma resposta, pode julgar o nível de aprendizado que está conseguindo naquele momento. No entanto, uma maneira mais completa de avaliar a aprendizagem seria a análise do discurso do aluno como um todo, ou seja, verificar como está sendo desenvolvido seu pensamento reflexivo. Mais do que apenas olhar a resposta dos alunos, ou ver se responderam corretamente a indagação do professor, está a necessidade de

ver a interação do aluno com o conhecimento, como ele foi motivado para dar a resposta que deu. Por esse motivo a análise do discurso em sala de aula seria um bom medidor de quanto a aprendizagem vem sendo significativa.

Alguns autores (JIMÉNEZ-ALEIXANDRE e DÍAZ DE BUSTAMANTE, 2003) discutem o processo de argumentação em salas de aula de ciências tomando como base algumas questões metodológicas acerca do assunto e ainda mostram como a avaliação do diálogo em sala se mostra um bom indicador de como se desenvolve o processo de aprendizagem científica. Dentro dessa linguagem dá-se destaque para duas: a do currículo e a de controle. A primeira avalia o que é ensinado e aprendido enquanto a segunda é de uso do professor, que tem o poder de decidir quem fala e o que se fala. Essa última questão pode trazer uma série de implicações dentre as quais está a falta de diálogo e troca de ideias entre os colegas que pode contribuir na formação do conhecimento. Acaba sendo delimitado assim um ensino por *produto*, no qual apenas interessa que ele adquira conhecimento, e um ensino por *processo*, em que existe a preocupação de como desenvolver determinado conceito de modo que a argumentação acerca daquilo que está sendo visto seja possível.

Na avaliação do discurso em sala de aula podem também ser dados dois enfoques: um na fala do professor e na do aluno. Na primeira situação, a análise se pautaria na maneira como o professor levanta suas questões, se os tipos de perguntas que faz, estimulam o aluno a responder, dando apoio e suporte para suas repostas, se suas questões são muito autoritárias, o que acaba inibindo ou coagindo o aluno de responder. Se considerarmos uma classificação usada por Evagorou e colaboradores (EVAGOROU, JIMENEZ-ALEIXANDRE e OSBORNE, 2012), há quatro tipos de questões que o professor pode fazer e que podem ser usadas para análise do discurso: *questões abertas, fechadas, retóricas e administrativas*. No primeiro caso o professor não espera obter uma resposta certa, mas sim perceber como vem se desenvolvendo o raciocínio dos alunos naquele momento; no segundo caso já se espera uma resposta certa e portanto é esperado um maior grau de compreensão acerca do assunto estudado; na questão retórica o professor acaba por fazer uma pergunta óbvia que não necessita de resposta, é apenas uma maneira de manter o ritmo da explicação e por fim nas questões administrativas o professor se encarrega de direcionar a atividade, confirmar se os alunos estão realizando a atividade nos moldes propostos, se todos os alunos estão portando o material necessário para realização de possíveis experimentos, tratam-se de questões necessárias para manter a ordem da sala de aula. Com essa análise da fala do

docente seria possível então verificar como está se dando a construção do conhecimento a partir da fala do professor.

Por outro lado, é possível desenvolver um processo de análise do diálogo dando um foco maior na fala dos alunos. No trabalho de Krajcik e McNeill (KRAJCIK e MCNEILL, 2009), um outro tipo de categoria é criada para fazer a análise do discurso. No entanto, para poder expor esse método é levado em conta o padrão de argumentação desenvolvido por Toulmin (TOULMIN, 2006), que será melhor descrito adiante. Esse padrão classifica todo o diálogo dos alunos de modo a identificar a maneira como é construído o conhecimento; para isso destacam-se, resumidamente, dados, apoio, garantias, conclusão e refutação, seções essas que tem cada um seu grau de importância. Para entender a construção do conhecimento por parte do discurso dos alunos é necessário verificar os tipos de justificativas tomadas por eles para embasar seu processo de argumentação. Entender o processo de convencimento usado pelos alunos no discurso entre eles e ainda os argumentos usados para fundamentar suas respostas é essencial para verificar então o processo de aprendizagem científica.

Sobre o desenvolvimento do raciocínio dos alunos, mostra-se necessário tratar da transformação de um conhecimento prático (saber fazer) em uma compreensão que vá além das suposições práticas (LOCATELLI e CARVALHO, 2007). Assim, uma verdadeira compreensão implica numa ação, de modo que o agir sem pensar impede a compreensão, seria a verificação de uma repetição de fenômenos que possibilitaria a criação de uma lei. Por outro lado, existe o questionamento acerca do porquê do fenômeno e como ele se adequa à realidade por meio de uma explicação coerente. Explicitando melhor os conceitos envolvidos nas discussões dos alunos, teríamos por um lado a *legalidade*, onde os estudantes fariam diversas relações empíricas entre as variáveis que determinariam resultados que são observados; e por outro lado estaria a *causalidade* que já traz uma relação direta de “causa e efeito” entre as variáveis, de modo que após a percepção do fenômeno é feita uma generalização do acontecido.

Uma maneira de verificar o nível de aprendizagem do conhecimento científico em sala de aula é analisando o discurso argumentativo travado entre alunos e professor. Avaliar o diálogo da classe é uma ferramenta que o professor pode usar para classificar e reconhecer os elementos dos discursos dos alunos. No entanto, o processo de análise da linguagem de modo a se fazer uma constatação não é um recurso novo, sendo já usado no âmbito de diversas áreas do conhecimento. Isso porque a maneira como uma ideia é exposta pode ser

mais ou menos eficiente, tornando a informação transmitida convencível dependendo da ênfase dada aos assuntos apresentados.

O pensador inglês Stephen E. Toulmin (TOULMIN, 2006) em um de seus trabalhos, tenta levantar questões sobre como aplicar argumentos lógicos na prática, pois acredita ser possível evitar uma lógica formal *absolutista* sem ter que apelar ao extremo oposto *relativista*, que serão explicados abaixo. É como se existisse uma lógica durante a exposição da fala que fundamenta a afirmação.

Toulmin assegura que seu modelo é mais baseado em um modelo legal, como os que ocorrem na corte de justiça, do que na argumentação lógico-formal, como ocorre na demonstração matemática. Desse modo, a apresentação arranjo dele se baseia numa abordagem retórica sobre como as pessoas se comportam ao se comunicarem seguindo essa lógica. Ele defende que o uso de argumentos é mais para justificar e legitimar teses e reivindicações do que as inferir a partir de evidências. A sugestão é a classificação sob vistas de três elementos: “premissa maior, premissa menor e conclusão”, no entanto questiona se premissa seria a melhor denominação, pensando do ponto de vista do Direito. Essa analogia necessita de um emprego maior de componentes que auxiliem na construção dessa arguição.

Para esquematizar o processo argumentativo, ele afirma que inicialmente deve ser feita uma proposta a qual julga-se ser verdadeira e que deverá ser provada. Tem-se aí um processo de legitimação onde são buscados fatos que deem suporte à afirmação feita, afastando possíveis objeções. Assim, fica evidente que existe uma conclusão (C) a ser alcançada e dados (D) que são propostos para se chegar a ela e os quais fundamentam a alegação inicial respondendo sempre à pergunta “*De onde devemos partir?*”. No caso dos dados, eles podem ser questionados, no entanto devem ser claros o suficiente para apontar para a conclusão (C) de modo que “*se D, então C*”.

As considerações feitas acerca dos dados são as chamadas garantias (W do inglês *warranty*). Trata-se de ideias pré-estabelecidas sobre o assunto que aprovam os dados e que respondem à pergunta “*Como posso justificar o movimento dos dados da realidade para a reivindicação?*”. Até o momento a “célula argumentativa” proposta por Toulmin tem três elementos: dados (D), garantia (W) e conclusão (C). Para exemplificar esse padrão básico ele propõe um exemplo que torna sua ideia bastante clara. A Figura 12 mostra como ficaria o esquema dele com apenas esses elementos iniciais.

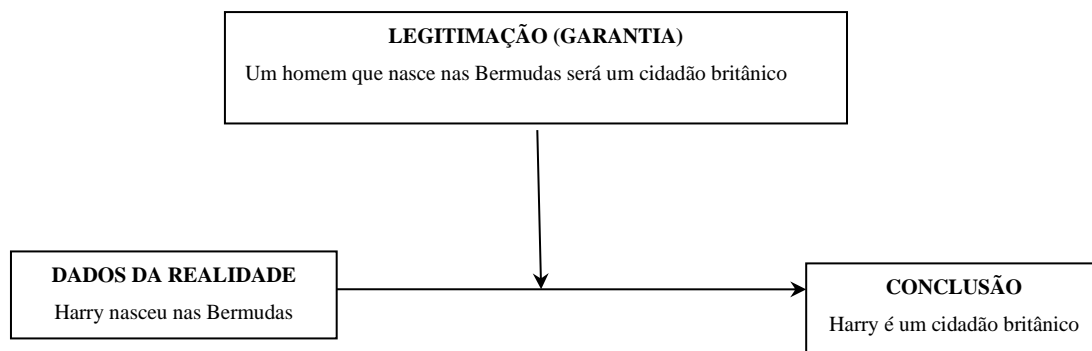


Figura 12: Layout básico do argumento de Toulmin (TOULMIN, 2006).

As garantias são como algo “*implícito*” que justifica com verdade seus argumentos, por se tratar de um conhecimento compartilhado e aceito com certeza dentro dos padrões éticos da sociedade; os dados por outro lado apresentam um comportamento oposto, sendo, portanto, algo “*explícito*”. No intuito de fortalecer os dados existentes é necessário qualificar (Q) a garantia de modo a reduzir as dúvidas acerca do argumento e por outro lado refutar (R) determinadas afirmações que possam surgir para desestabilizar os dados (D). Para que a conclusão seja proposta são necessários dados a serem apresentados, esses por sua vez devem ser garantidos sob certas condições e refutados por outras, em outras palavras, temos o dado sendo estabelecido por uma suposição que já teria sido refutada. Quando se defende uma alegação devem ser apresentados dados, os quais ao gerar dúvidas devem ser fundamentados por algumas qualificações. É nesse ponto que se deve tomar o cuidado de verificar as relações entre as garantias e os dados, para isso surge a necessidade do apoio (B) no qual a garantia (W) se baseará. Mas existem diferenças entre a garantia e o apoio; a primeira é hipotética enquanto a segunda pode ser considerada mais categórica. Assim, o argumento só existe se existirem dados que o apresentem, de modo que a priori não haja a necessidade de as garantias serem aceitas. Dessa forma, o modelo complexo do argumento de Toulmin (TOULMIN, 2006), acompanhado respectivamente pelo exemplo usado por ele para ilustrar seu layout é retratado na Figura 13.

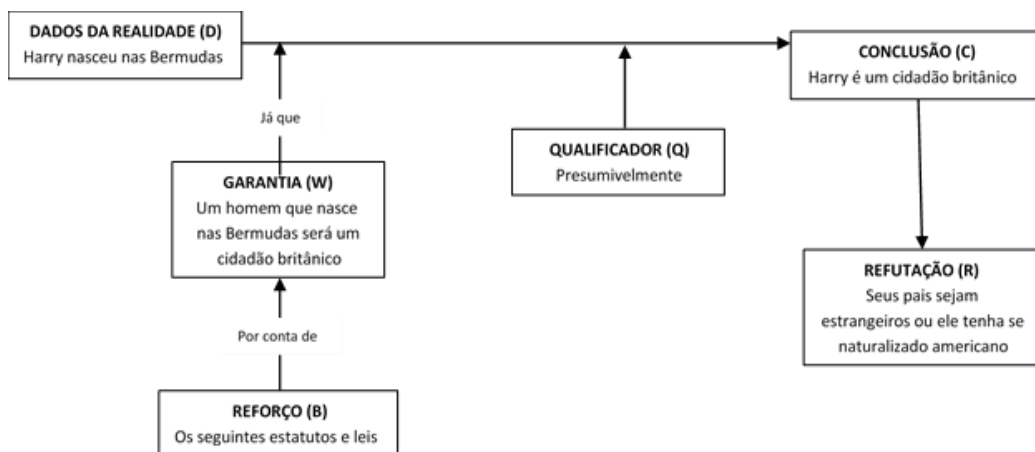


Figura 13: Layout completo do argumento de Toulmin (TOULMIN, 2006).

Percebe-se que com essa célula argumentativa é possível esquematizar de maneira lógica como se desenvolvem as etapas de um diálogo. Apesar desse modelo ter sido elaborado num âmbito legal, voltado à área do Direito, fazendo-se certas adaptações estabelece-se uma comparação com o contexto da sala de aula.

Além do uso desse padrão argumentativo para investigar o discurso ainda se toma como referência os trabalhos desenvolvidos por Lawson (LAWSON, 2004), que discute a estrutura do raciocínio hipotético-dedutivo. Nesse padrão o termo que inicia a discurso é “se...”, que tem ligação direta com a criação de hipóteses (suposições ou proposições); em seguida é acrescentado à fala o termo “e...”, que soma condições que apoiem a primeira afirmação (como se fosse um teste de hipóteses); por outro lado o termo “então...” já vem indicando as consequências, os resultados aos quais se chegarão com a suposição inicial. Para Lawson o termo “e...” pode ter mais um uso na metade do diálogo indicando juntamente com o “portanto” que os resultados chegados correspondem ao proposto inicialmente, enquanto, se ao invés dele for citado “mas...” há indícios que a proposta não conseguiu satisfazer a conclusão, de modo que o ciclo da argumentação tem início com novas hipóteses. A Figura 14 traz um esquema do modelo de Lawson apresentado por Locatelli e Carvalho (LOCATELLI e CARVALHO, 2007).

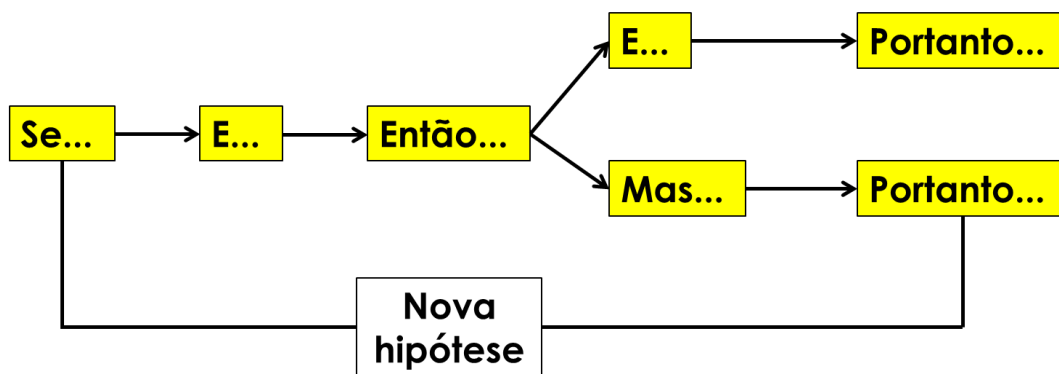


Figura 14: Padrão proposto por Lawson (LOCATELLI e CARVALHO, 2007).

Uma das razões para o desenvolvimento dessa estrutura é que o pensamento acerca das questões científicas e de suas descobertas segue, em seus primórdios, uma estrutura *hipotético-dedutiva*.

Associando essas ideias no âmbito da sala de aula, se mostra interessante um acoplamento entre os padrões propostos por Toulmin e Lawson para análise do processo argumentativo como mostra a Figura 15 (LOCATELLI e CARVALHO, 2007).

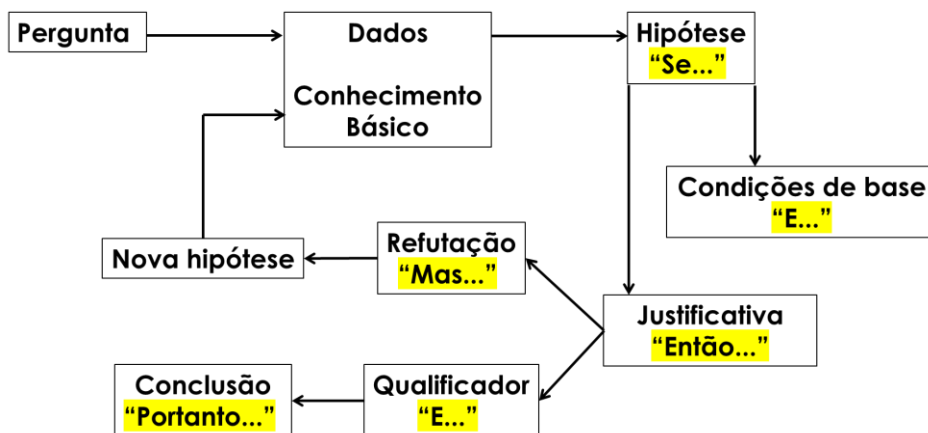


Figura 15: Comparação entre o padrão proposto por Lawson e Toulmin (LOCATELLI e CARVALHO, 2007).

A junção dos dois padrões dá margem à maior discussão de uma questão inicial, de modo que, ao ser proposta e munido-se dos dados necessários para o início da argumentação, é possível formular as primeiras hipóteses. Essa primeira condição é estabelecida em geral com base em conhecimentos prévios, os quais ao se juntarem a determinadas condições podem delimitar as chamadas “condições de base ‘e...’”, que darão início à construção de uma justificativa “*então...*”. Se os resultados confirmam a hipótese, então já é possível qualificar a afirmação com “e...” e dar encaminhamento à conclusão.

Caso contrário as hipóteses são refutadas com o termo “*mas...*” e inicia-se assim um novo processo com novas hipóteses.

Outro tipo de raciocínio, diferente do dedutivo, que também pode ser avaliado em um processo argumentativo é o *proporcional* (LOCATELLI e CARVALHO, 2007). Esse tipo de raciocínio foi estudado por Piaget em crianças de 7 a 10 anos. Piaget acredita ser durante esse raciocínio o momento em que elas conseguem perceber que o aumento de uma determinada grandeza só ocorre a partir da diminuição de outra. É nesse momento em que os alunos estabelecem os extremos “*mais alto, mais devagar, mais rápido*”, realizando sempre uma compensação entre eles o que futuramente pode vir a contribuir na análise de situações mais complexas.

Uma relação existente, quando é tratada a questão do raciocínio proporcional, é a já citada relação entre *legalidade* e *causalidade*, que fica mais explícita quando se trata de relações compensatórias. Para Piaget

[...] toda a explicação causal acaba por incorporar a noção de estrutura ao sentido lógico - matemático. [...] Em todos os campos da física atual se constituem o que são estruturas dedutivas que tendem a alcançar a necessidade sem limitar a simples constatação ou descrição de fenômenos. (PIAGET, 1977, p. 15).

No caso de uma justificativa dada pela causalidade não se deve pensar apenas na ação do sujeito sobre o objeto, mas também nas ações dos objetos sobre eles mesmos, o que acaba por favorecer uma generalização das situações corriqueiras. O importante é que se perceba a inter-relação entre *legalidade* e *causalidade*; o primeiro que remete à constatação das crianças de algo que tende a se comportar de determinada maneira sob certas atitudes; enquanto a causalidade ressalta o fato ocorrido buscando uma causa que o explique.

Com essa proposta tem-se uma nova percepção da linguagem; antes, pensamento e linguagem eram tidos como a mesma coisa, tinha-se apenas uma forma de pensar coerente, depois, com o desenvolvimento de uma nova forma de pensar (linguagem interna abordada por Piaget) passou a existir uma diferenciação entre linguagem e pensamento, por esse motivo, com o desenvolvimento do pensar individual se via necessário uma linguagem mais aprimorada para que as coisas pudessem ser descritas e compreendidas, por isso o aprimoramento da linguagem científica.

A análise do argumento aqui descrita apontou para a necessidade de pautar-se em um outro recurso avaliativo, onde não apenas a estrutura do argumento fosse considerada, mas também o conteúdo desse argumento. Para isso, recorreu-se ao pragmatismo linguístico

proposto por Wittgenstein. Seu estudo da construção da linguagem e de como diferentes expressões podem ser usadas para apontar uma compreensão a respeito de determinada situação serão descritos a seguir.

1.3.2. Os jogos de linguagem de Wittgenstein

O filósofo austríaco Ludwig Wittgenstein desenvolveu principalmente a sua reflexão discutindo o conceito da compreensão. Para ele, uma palavra só adquire significado quando é usada em diferentes situações, dessa forma é preciso um entendimento mais profundo de como avaliar essa compreensão linguística. Dessa forma, toda a sequência de reflexões que serão aqui apresentadas diz respeito àquelas desenvolvidas por ele em seus trabalhos.

Uma de suas tentativas ao explicar o processo de compreensão foi a partir da construção de uma imagem mental e verificar se a significação de determinada palavra se daria a partir daquela imagem. Apesar de existirem imagens que possam ser usadas na compreensão de determinadas palavras, o processo não pode ser generalizado (WITTGENSTEIN, 2005, p. 141). O uso sugestivo de determinada imagem não torna obrigatório o seu vínculo à palavra, sendo, portanto, inviável associá-la a sua compreensão linguística.

Para Moreno (MORENO, 2009, p. 275), o resultado desse entendimento deve permitir “[...] que se mude a maneira habitual de interpretar os nossos conceitos e se amplie assim a nossa disposição para pensar outras formas de sentido e, principalmente, para considerar outras maneiras como sendo legítimas possibilidades de organizar a experiência”. Em concordância a isso, Moreno analisa que na obra ‘Investigações Filosóficas’(1953), Wittgenstein analisa diferentes assuntos, reconduzindo os seus empregos corriqueiros a novas situações. Um desses temas é a ‘compreensão’, que surge a partir do seu interesse em esclarecer muitos desentendimentos originados de pensamentos dogmáticos. Roth (ROTH, 1999) sugere que o termo ‘compreensão’ é corriqueiramente usado para fazer referência a coisas imateriais (metafísicas), como, por exemplo, estruturas de pensamento, raciocínios mentais que pesquisadores, professores e estudantes não poderiam acessar. Ele conecta a compreensão de uma palavra a um certo estado mental, em suas palavras “a compreensão mesma é um estado do qual emerge o correto emprego” (WITTGENSTEIN, 2005, p. 146), ou seja, o uso adequado de uma palavra em determinada situação pontual só se dará a partir de um estado momentâneo de compreensão. No entanto, por conta de os estados mentais estarem associados à fenômenos psíquicos como aflição, nervosismo, ansiedade, não se

mostra adequado igualar tais estados aos possíveis níveis de compreensão (WITTGENSTEIN, 2005, p. 150). Roth (ROTH, 2015) acredita que estes discursos possam estar associados à concepção de “compreensão como um estado mental oculto ao sujeito que compreende situado em um mundo transcendental, em uma linguagem privada”. Dessa forma, a objetividade de Wittgenstein estaria no estudo da compreensão associado a práticas públicas de usos da linguagem.

Duas questões parecem ser o ponto de partida para colocar em movimento o pensamento sobre compreensão: O que é compreensão? Como saber se alguém compreendeu algo? Machado (MACHADO, 2007, p. 275), argumenta que existe uma confusão conceitual que separa a compreensão de sua manifestação, “[...] *separando questões epistemológicas (sobre a manifestação da compreensão, sobre o modo como ela ‘aparece’) de questões metafísicas (sobre a compreensão em si mesma, sobre o que ela é)*”. Quando se separa a compreensão de práticas públicas de linguagem (manifestação da compreensão), concebe-se a compreensão como um processo mental ou como um processo fisiológico. Esses entendimentos de compreensão é que Wittgenstein procura dissolver, fazendo uma análise gramatical do uso ordinário do termo ‘compreensão’ e mostrando diferenças gramaticais entre a compreensão e estados mentais. Para expor sua tese, ele utiliza-se de um exemplo no qual uma sequência matemática deve ser continuada a partir de um começo definido. A maneira como cada indivíduo desenvolverá essa tarefa caracterizará um processo mental distinto, no entanto nenhum dele fornece garantias de que uma compreensão realmente tenha ocorrido (WITTGENSTEIN, 2005, p. 152).

Diante desses apontamentos, conclui-se que nenhum desses processos, por imagem, mental ou por processo, são suficientes para apontar ou detectar uma compreensão por parte do indivíduo. Ele não nega essa possibilidade, no entanto ressalta que não se pode tomar qualquer processo psíquico como indicativo de compreensão de uma palavra. Dessa forma, é proposta uma nova maneira de enfrentar o problema da compreensão, de um ponto de vista prático, considerando aspectos próprios da linguagem. Nesse novo posicionamento o próprio significado da palavra “compreender” e as circunstâncias de seu uso é que contribuirão para a busca do entendimento se algo foi compreendido ou não por determinado indivíduo.

O uso correto das palavras em circunstâncias particulares seria o reflexo da compreensão. No que diz respeito à gramática, palavras como “saber” e “conhecer” trariam a mesma conotação no sentido de que compreender uma palavra seria saber e ser capaz de usá-la (MORENO, 2009). Assim, são os usos recorrentes das palavras que indicarão se de

fato ela foi compreendida. Para ele, a palavra adquire significado quando está sendo usada em um contexto adequado. O conjunto de regras de uso dessa palavra é o que Wittgenstein denomina de gramática, que segundo ele “[...] diz que espécie de objeto uma coisa é [...]” (WITTGENSTEIN, 2014, §373) estabelecendo os limites de sentido que essa palavra poderá ser aplicada.

Nesse sentido, Almeida e Seki (ALMEIDA e SEKI, 2021) sugerem um questionamento acerca da maneira como se poderia usar o termo compreensão considerando sempre que o seu significado estaria no uso que se faz de determinada expressão.

Assim, aquilo que nos dá o direito de dizermos que alguém compreendeu algo são, pois, as circunstâncias de baixo das quais esse alguém usa corretamente as palavras, e age de acordo com esses usos, ou seja, os critérios válidos para decidir quando, de fato, ocorrem casos de compreensão de uma palavra não são dados por quaisquer que sejam as ocorrências mentais, mas pelas circunstâncias de seus usos corretos. (JÚNIOR, 2015, p. 124).

Serão, portanto as situações nas quais o emprego das palavras é efetuado que balizarão o nível de compreensão. Com o intuito de esclarecer essa tese, Wittgenstein usa-se do exemplo da leitura, questionando como é possível verificar se uma pessoa está realmente lendo algo, como ela faz as associações de letras em palavras e como essas palavras, dentro de seu contexto adquirem um significado (WITTGENSTEIN, 2005, p. 160). Em um de seus trabalhos sobre esse tema, o pesquisador Arruda Junior (JÚNIOR, 2015) estabelece um paralelo entre a leitura e a compreensão, apontando para semelhanças que buscam elucidar o problema desse último.

«Ler» um texto, como «compreender» uma palavra, é dominar uma determinada técnica, é adquirir certas habilidades por meio de um treino especializado e, por isso, só se justifica no sucesso manifestável e repetido de comportamentos regulares. (JÚNIOR, 2015, p. 131).

Apesar disso, Junior (JÚNIOR, 2015) interpreta que apesar de existirem critérios para definir se um indivíduo é capaz de ler ou compreender algo, esses estão sempre relacionadas à sua maneira de agir e sob que circunstâncias.

Todas essas tentativas de explicar o processo de compreensão das palavras levou Wittgenstein a adotar uma analogia entre a linguagem e o jogo, em suas palavras “o entendimento da linguagem, como o de um jogo, assemelha-se a um pano de fundo contra o qual uma sentença adquire sentido” (WITTGENSTEIN, 2003, p. 35). É com essa compreensão que Wittgenstein introduz a ideia dos ‘jogos de linguagem’, reforçando as características dinâmicas da linguagem e opondo-se à ideia de significados fixos e únicos (ALMEIDA e SEKI, 2021).

Essa comparação com o jogo é posterior a uma outra comparação feita por ele e discutida em alguns parágrafos de suas Investigações Filosóficas (WITTGENSTEIN, 2005, p. 106). Freitas e colaboradores (FREITAS, IÊ e SOUZA, 2022) apontam que o que há em comum ao estabelecer esses paralelos da linguagem com jogos ou cálculos é que ambos são governados por regras.

O que chamamos “entender uma linguagem” muitas vezes é como o entendimento que obtemos de um cálculo quando aprendemos sua história ou sua aplicação prática. E, aí, também, encontramos um simbolismo facilmente examinável em vez de um que nos é estranho. – Imagine que alguém originalmente houvesse aprendido o xadrez como um jogo escrito e, mais tarde, conhecesse a “interpretação” do xadrez como jogo de tabuleiro. Nesse caso, “entender” significa algo como “tomar como um todo”. (WITTGENSTEIN, 2003, p. 28)

O pensamento estaria operando sob um regime de regras exatas, sendo que a linguagem seria esse sistema regido por regras específicas. Dessa forma, compreender uma linguagem ou falar algo, seriam ações guiadas e executadas via algumas operações, tal qual no cálculo (FREITAS, IÊ e SOUZA, 2022).

Ainda no sentido de propor a linguagem como um processo semelhante ao efetuar de cálculos, os autores sugerem que na comunicação, ao informar ou dar uma ordem, o conjunto de “signos” que traduzem a ideia como um todo seriam suficientes para que o interlocutor compreendesse, na maior parte das vezes, os termos ou expressões usadas na fala para expressar a ideia por trás do que se está sendo dito (FREITAS, IÊ e SOUZA, 2022). Para Wittgenstein essa “nomeação” das coisas por meio de palavras seria uma parte do jogo da linguagem (WITTGENSTEIN, 2003, p. 40) que deve ser cuidadosamente analisado para não se correr riscos de tomar o significado das palavras em sua essência.

Para Freitas e colaboradores (FREITAS, IÊ e SOUZA, 2022) uma mesma palavra pode estar carregada de diferentes significados e funções dependendo do contexto no qual ela estiver sendo usada e, apesar disso, deve ter sua importância reconhecida e posta em uso todas as vezes que seu significado for requisitado na sentença em questão. Assim, a substituição de uma palavra ideal por outra de significado similar, em uma frase qualquer, só seria equivalente desde que o significado gramatical prevalecesse.

Essa reflexão é bastante interessante e será fundamental para a análise que será proposta mais adiante neste trabalho. A compreensão que se tem de um determinado conhecimento é que influenciará o uso das palavras adequadas. O significado que cada uma delas carrega só será realmente expresso se a maneira com a qual for usada estiver em sintonia com situação de aplicação, ou seja, se estiverem “obedecendo as regras do jogo”.

Portanto, tem, de certa maneira, a mesma relação com a linguagem que a descrição de um jogo, as regras de um jogo, tem com o jogo. O significado, no nosso sentido, está incorporado na explicação do significado. Se, por outro lado, com a palavra “significado” queremos designar uma sensação característica ligada ao uso de uma palavra, então a relação entre a explicação de uma palavra e o seu significado é, antes, a de causa e efeito (WITTGENSTEIN, 2003, p. 43).

No caso da aplicação da atividade que será apresentada neste trabalho, uma possibilidade de verificação da compreensão será justamente analisar essa situação de causa e efeito. No caso, espera-se que o uso adequado das palavras relativas ao contexto seja satisfatório a ponto de favorecer um efeito de entendimento nos alunos.

Lourdes e Seki avaliam como se daria, segundo a proposta de Wittgenstein, a compreensão

“(…) podemos ponderar que a compreensão se dá no interior de um jogo de linguagem e se manifesta de acordo com as circunstâncias e do contexto linguístico, podendo ser: ‘[...] no modo como usamos a palavra, no modo como reagimos quando outros a utilizam, e no modo como a explicamos quando somos solicitados a fazê-lo’ (GLOCK, 1998, p. 92)” (ALMEIDA e SEKI, 2021) .

Essas reflexões serão úteis para se analisar o experimento proposto mais à frente neste trabalho. O uso de certos termos próprios associados aos fenômenos que serão estudados já dá um indício da compreensão, sua articulação em meio a uma sentença quer seja escrita ou representada por meio de um esquema poderá vir a refletir uma possibilidade de entendimento. Ainda em relação ao uso das palavras, buscará se verificar no decorrer deste trabalho se as sentenças construídas pelos estudantes estão baseadas no contexto conceitual e em definições físicas já acordadas.

Segundo Moreno (MORENO, 2009) a noção do uso de uma palavra não comporta regras fixas, na verdade seria um conceito bastante vago para indicar um conjunto de regras presentes em diferentes jogos possíveis, é como se a mesma palavra pudesse ser usada em diferentes contextos e trazendo a noção da compreensão do que está sendo dito. Assim, as regras serviriam apenas para orientar o melhor uso das palavras, de modo que as mesmas poderiam ser usadas de formas diversas em contextos diversos e ainda assim expressarem uma comunicação, por mais vaga que possa parecer a sua construção.

“Trata-se simplesmente de descrever sem explicar, levando a sério os detalhes, as nuances e as diferenças; trata-se, também, de descrever usos possíveis, de inventá-los e descrevê-los para melhor apreciar os casos inusitados em sua especificidade; para liberar, por assim dizer, nosso olhar do hábito que desenvolvemos com os usos familiares.” (MORENO, 2009).

Compreender as regras do jogo, no contexto que será visto neste trabalho estará intimamente ligado a compreensão de determinados conceitos físicos. Se apropriar de

determinados conhecimentos, entender sob quais condições eles são aplicáveis e então poder aplicá-los em novas situações é o objetivo final da atividade que aqui será apresentado. Aqueles que souberem jogar esse jogo, não apenas anotando as regras, ou seja, tendo os conhecimentos físicos teóricos, mas conseguir efetivamente colocá-los em prática são os que possivelmente terão uma maior compreensão da física trabalhada na atividade.

Os jogos de linguagem aplicados a uma situação física

Os jogos de linguagem propostos por Wittgenstein teriam uma aplicação possível em diferentes contextos, por conta do âmbito no qual este trabalho se encontra será apresentada algumas interpretações possíveis quando se trata do ensino das Ciências.

Para Almeida e Seki (ALMEIDA e SEKI, 2021), o ensino de Física seria um exemplo de jogo de linguagem que compartilharia tanto proposições gramaticais quanto empíricas, onde se pode conhecer uma realidade diretamente pela experiência, por meio de proposições já estabelecidas como por exemplo a mecânica ou eletromagnetismo ou até mesmo por proposições matemáticas que estão articuladas ao mesmo jogo.

Para eles, a compreensão nesse caso envolveria tanto o uso de proposições gramaticais para descrever a experiência em questão quanto uma vivência que seja fundamentada no método científico. O uso de um ou outro tipo de proposição dependeria da situação em jogo e das circunstâncias em que esse uso é feito .

Para Gottschalk (GOTTSCHALK, 2010, p. 79), a compreensão se conecta com as atividades linguísticas pressupondo a aplicação de regras em “[...] diferentes circunstâncias, no interior de determinados jogos de linguagem”. No entanto a compreensão da Matemática seria diferente das ciências empíricas como química, física e biologia, já que as proposições da primeira não dependeriam de uma descrição experimental, por exemplo. Para a autora, essas proposições têm “[...] função normativa. Elas próprias não têm sentido, são apenas condições de sentido” (GOTTSCHALK, 2010, p. 79). Seria na aplicação de regras em um determinado jogo de linguagem que a Matemática adquiriria sentido e poderia ser compreendida. Seguindo esse raciocínio, a autora entende que a compreensão em Matemática possui um modo de “ver” o mundo, que se revela no seguir regras da Matemática em pelo menos um jogo de linguagem.

Retomando alguns pontos abordados anteriormente, a tese central apresentada por Wittgenstein é a de que o significado de uma palavra está no uso que se faz dela em determinado contexto. Essa verificação se faz possível uma vez que se considere que este

uso pressupõe determinadas regras, novamente geridas pelas circunstâncias às quais a palavra foi aplicada (MORENO, 2009). Tais regras, segundo ele aponta, estariam relacionadas a convenções aceitas, ensinadas e aprendidas que, no contexto de aplicação desta atividade, seriam os conceitos primordiais que explicam e fundamentam a ocorrência do fenômeno físico lançamento oblíquo.

Uma vez que o uso da palavra se adequa ao contexto no qual foi aplicada e que os conceitos que fundamentam a experiência foram bem aplicados, devido ao uso das palavras ideais, pode-se tentar balizar se houve algum tipo de compreensão por parte do indivíduo acerca do fenômeno em estudo. Wittgenstein apresenta suas reflexões sempre se referindo a uma compreensão, que para ele indicaria uma capacidade de usar uma palavra ou conceito em uma situação inusitada e não prevista.

Freitas e colaboradores (FREITAS, IÊ e SOUZA, 2022) discutem que se as regras da linguagem forem bem definidas, uma vez empregadas em quaisquer circunstâncias, poderá se ter uma compreensão de que uma comunicação foi estabelecida. A questão seria como elencar as diversas formas de jogo de linguagem. Os autores apresentam uma proposta de Wittgenstein na qual ele afirma que haveria uma diversidade de jogos possíveis, com diferentes empregos de palavras e frases, que não seriam fixas, mas que poderiam entrar em desuso ou até mesmo outras que poderiam voltar a ser usadas.

Ponha diante de si a multiplicidade de jogos de linguagem por estes e outros exemplos:
Dar ordens e agir segundo ordens.
Descrever um objeto segundo a aparência ou por medição.
Produzir um objeto segundo uma descrição (desenho).
Informar um acontecimento.
Fazer conjecturas sobre um acontecimento.
Propor uma hipótese e prová-la.
Apresentar os resultados de um experimento mediante tabelas e diagramas de palavra e de sentença, com o que os lógicos dizem sobre a estrutura da linguagem.
(WITTGENSTEIN, 2005, p. 22).

Essa lista proposta por Wittgenstein traz diversas possibilidades e variações de jogos que podem ser construídos, cada um com a sua linguagem apropriada. Todos eles trariam variações, podendo ser executados em diferentes formas e contextos. Freitas e colaboradores (FREITAS, IÊ e SOUZA, 2022) reforçam que o não conhecimento de algumas variações de palavras ou uso das mesmas palavras em contextos diversos dificultaria a comunicação dos interlocutores, sendo, portanto, necessário levar-se em conta a variabilidade de cada jogo. Os autores destacam que dentro dos jogos propostos evidencia-se um cuidado com a

construção do discurso, concedendo valor aos termos e expressões usados na atividade linguística.

Dentro de cada um desses jogos é esperada uma coletânea específica de termos e expressões. Em um jogo que lida com “descrições”, por exemplo, existem certas regras aceitas no âmbito da física para, por exemplo, fazer uma representação esquemática de um problema, há certos conceitos iniciais inerentes ao estudo do movimento que devem ser representados de uma forma particular. No jogo de “proposição de hipóteses” também existirão regras. Dependendo-se da situação investigada existirão questionamentos pertinentes que permitirão um melhor encaminhamento para compreensão da solução. Outro jogo apresentado e que também foi tomado como possível ferramenta de análise foi o jogo dos “diagramas e sentenças”. Transpondo para a física, existem certas funções matemáticas e representações gráficas características de determinados fenômenos físicos. A interpretação adequada deles requer o uso de palavras e expressões particulares dessa realidade, o que direcionará em análises posteriores, a compreensão adquirida por parte dos alunos que realizarem a atividade proposta.

Almeida e Seki (ALMEIDA e SEKI, 2021) estabelecem um paralelo entre o papel do aluno e do professor no estabelecimento da compreensão. Partindo-se do pressuposto que ela está associada ao cumprimento adequado de certas regras, o desenvolvimento da capacidade de segui-las deveria estar ancorado em alguma fonte de informação, que no caso de uma sala de aula teria como referência a figura do professor. Da mesma forma, a compreensão também se evidenciaria na autonomia do aluno que se mostraria capaz de empregar os conceitos aprendidos em diferentes jogos de linguagem. Diversos autores defendem que a criação de atividades que promovam os usos de conceitos das diversas ciências em diferentes jogos de linguagem pode contribuir para compreensão dos mesmos (ALMEIDA, 2014; TORTOLA, 2016; SOUSA, 2017). Nesse sentido, a maneira que se entende a compreensão no ensino de ciências revela que os alunos veem as situações do mundo baseando-se em uma variedade de experiências e formas linguísticas características.

Para Wittgenstein, a compreensão teria como pressuposto “[...] uma familiaridade com inferências, com confirmações, com respostas”. No contexto da sala de aula, esses aspectos são relacionados por uma troca linguística entre o aluno, o professor, conceitos, procedimentos e técnicas da disciplina em estudo. Desta forma, as atividades realizadas em uma sala de aula poderiam ser interpretadas como um jogo de linguagem e jogar esse jogo envolveria um conjunto de ações, por meio dos mais variados instrumentos linguísticos.

Wittgenstein não construiu suas reflexões tomando como base o conhecimento científico, no entanto é possível transpor suas ideias para esse âmbito buscando ressaltar a possibilidade de um aprimoramento do falar científico por parte dos estudantes, abordagem esta que será mais bem explorada no decorrer deste trabalho.

Os dois recursos avaliativos apresentados até aqui, tanto a construção do argumento quanto a identificação de um jogo de linguagem compatível com a situação estudada, demandaram um volume de correção e uma devolutiva para os alunos pouco eficiente. Assim, buscou-se uma nova maneira de avaliar as atividades: as rubricas de correção. Essa metodologia ainda se pautava nos dois princípios anteriormente estabelecidos, fazendo uso deles para definir seus critérios. Na seção seguinte serão apresentadas possibilidades de uso desse recurso e qual linha adotada neste trabalho.

1.3.3. Rubricas

Recursos como a análise do uso da linguagem é uma tarefa que requer uma avaliação individual da produção dos estudantes. Sinalizar de maneira clara qual a coerência e rendimento do processo investigativo que estão desenvolvendo tem se mostrado um desafio para professores. Uma estratégia recorrente que tem sido usada para essa tarefa são as rubricas.

Para Languardia e colaboradores (LAGUARDIA, PORTELA e VASCONCELLOS, 2007), a avaliação deve levar em conta desde a estrutura e condições sob as quais é realizada, o processo pelo qual se dá a interação dos estudantes com a atividade, até os resultados que virão a qualificar se os objetivos e metas propostos inicialmente foram atingidos.

(...) aplicação sistemática de procedimentos metodológicos para determinar, a partir dos objetivos propostos e com base em critérios internos e/ou externos, a relevância, a efetividade e o impacto de determinadas atividades com a finalidade de tomada de decisão. Em comum, as definições de avaliação a veem como um julgamento de valor a respeito de uma intervenção ou sobre qualquer um de seus componentes, tomando como referência um padrão estipulado e cujo propósito é auxiliar processos decisórios (LAGUARDIA, PORTELA e VASCONCELLOS, 2007, p. 516).

Mais do que uma ferramenta avaliativa, as rubricas auxiliam na orientação dos estudantes, deixando claro o que se espera da proposta em questão, tanto em relação às competências e habilidades quanto ao conteúdo em si. O processo de elaboração da rubrica deve ser desenvolvido em conjunto com a construção da atividade, uma vez que ela ajudará a estabelecer os objetivos a serem atingidos (FERNANDES, 2021).

Marcheti (MARCHETI, 2020) aponta três características essenciais para a composição da rubrica. Os *critérios* são um conjunto de descrições que refletem o que será ponderado

pelo professor; as *definições* apresentam para o aluno as habilidades e proficiências que deverá demonstrar na execução da atividade, e os *indicadores* buscam aferir a proximidade entre o que foi realizado e o que era esperado.

Lobato e colaboradores (LOBATO, HARB, *et al.*, 2008) entendem a rubrica como um sistema para avaliar o estudante tanto em relação à aquisição de conteúdos quanto à sua motivação e envolvimento no processo de aprendizagem, em um processo de avaliação formativa dos estudantes. Os autores ainda defendem que o uso das rubricas permite um acompanhamento mais igualitário, independentemente da quantidade de alunos, visto que elas permitem uma devolutiva ágil e precisa, acerca do trabalho, para todos os estudantes.

Cooper e Gargan (COOPER e GARGAN, 2009) indicam que o uso de rubricas pelo professor tem as vantagens de: fazer com que ele pense cuidadosa e criticamente sobre o que está ensinando e o que quer que os alunos aprendam; deixe claro para os estudantes as expectativas e padrões de performance; crie oportunidades de reflexão e propicie a continuação da aprendizagem. Por outro lado, os autores apontam algumas armadilhas que as rubricas podem criar: subjetividade ao converter características qualitativas em pontuações para gerar uma nota; acréscimo de trabalho do professor para criar as rubricas; restrição à atuação do estudante, se as prescrições limitarem sua atuação, fazendo-o adaptar-se à rubrica, desencorajando novas ideias (COOPER e GARGAN, 2009). Apesar desses senões, os autores defendem o uso das rubricas como um avanço, podendo assumir critérios baseados em referenciais quantitativos e qualitativos, como ilustra o Quadro 2 (MARCHETTI, 2020).

[As rubricas] revelam muito mais sobre o que os alunos sabem e podem fazer. Nestes dias de padrões nacionais e responsabilidade, os professores precisam garantir que seus alunos atendam a certos critérios. A rubrica pode ser usada como a arquitetura básica para cursos, tarefas e avaliações para garantir que todos os alunos alcancem proficiência (COOPER e GARGAN, 2009, p. 55).

Quadro 2: Transcrição parcial da sugestão de rubricas apresentada por Marcheti (MARCHETI, 2020).

Elementos observáveis	Conteúdo: organização, estilo e foco
O que é percebido (objetivo)	Conhecimentos e compreensão
Pontos	3,0 – 2,5 (quando todos os elementos estão presentes)
Descrição da nota	<ol style="list-style-type: none"> 1. Enviado dentro do prazo previsto para a atividade. 2. Discussão é substancial e relacionada aos princípios e fundamentos teóricos abordados (conteúdo). 3. Uso de exemplos pessoais e profissionais que demonstram o entendimento dos assuntos e o conhecimento de relações com a prática (conteúdo, organização, compreensão). 4. Linguagem clara, concisa e fácil de entender. Terminologia apropriada, organização lógica demonstrando total compreensão do conteúdo (conteúdo, organização, estilo e foco). 5. Faz menção e interação com as opiniões dos colegas de forma relacionada, coerente e crítica.

No terceiro quesito do Quadro 2, por exemplo, uma atividade que receberia uma nota numérica, no caso das rubricas, terá esse valor total dividido em pesos correspondentes a determinados parâmetros.

Uma maneira alternativa é substituir os valores numéricos da pontuação por menções que validem as contribuições dos estudantes. Essa prática exige do docente uma análise mais particular que defina elementos específicos na resposta, de modo que a ponderação seja algo do tipo *exemplar*, *bom*, *satisfatório*, *insatisfatório* e *inaceitável*, dependendo dos objetivos da proposta, como exemplificado pelo Quadro 3.

Quadro 3: Transcrição parcial de exemplos de critérios de avaliação por menção apresentados por Marcheti (MARCHETI, 2020).

Critérios	Exemplar	Bom	Satisfatório	Insatisfatório	Inaceitável
Descrição: atinge os critérios e objetivos	Definidos com uma proficiência e abstração acima do esperado	Definidos com a proficiência esperada.	Definidos de forma elementar e simples.	Definidos	Não atinge nenhum deles.
Conhecimento do conteúdo: a resposta ou material produzido (...)	Apresenta novas ideias que refletem o alto grau de abstração e entendimento do conteúdo e demonstra o reconhecimento da aplicação prática do mesmo.	Apresenta novas ou amplia as ideias iniciais da discussão e faz uma correlação com a prática.	Ilustra o entendimento básico do conteúdo sem grandes aplicações ou ampliação das ideias iniciais.	Evidencia as ideias originais do conteúdo e da discussão, mas não as amplia.	Não apresenta, de forma alguma, entendimento do que foi solicitado.

Adotou-se, neste trabalho, um processo avaliativo semelhante ao de Marcheti (MARCHETI, 2020), estabelecendo-se critérios, definições e indicadores, os quais serão mais bem descritos após a apresentação da atividade.

Capítulo 2

A evolução do MEXI e o experimento online do Trem

Desde 2006 os experimentos do site Mecânica Experimental com Imagens (MEXI) vêm sendo aplicado a alunos que cursam os cursos de Licenciatura em Física na Universidade de São Paulo. Ao longo dos anos, muitas mudanças foram feitas tanto na página quanto nos roteiros que serviam de guia para os alunos realizarem as análises. Tais mudanças foram necessárias à medida em que se obtinha uma resposta por partes dos estudantes; os relatórios entregues eram sempre analisados e verificados se os objetivos propostos no roteiro de análise estavam sendo cumpridos. Em muitos casos, ajustes eram feitos de modo a tornar a experiência mais objetiva. A primeira grande mudança a ser apresentada, que apesar de ter sido uma das últimas realizadas convém ser primeiro citada, é o próprio nome do site onde estão alocadas as experiências.

No início de sua concepção todo o site era chamado de Laboratório Virtual e as imagens que eram analisadas pelos alunos eram corriqueiramente chamadas de fotos e os conjuntos “situações” para análise. Por serem experimentos de Física e estarem relacionadas com as até então entendidas fotos, a primeira página *online* foi chamada de “fisfoto”. Com o tempo, começou-se a entender que o processo de criação dos experimentos e a fragmentação dos vídeos em quadros independentes para análise não se tratava de fotografias tiradas em instantes sucessivos, mas sim quadros da filmagem. Essa nova compreensão começou a gerar um certo incômodo com a palavra fisfoto e uma necessidade iminente de busca por um novo nome para as experiências. A partir desse momento começou-se a eliminar o termo foto em quaisquer publicações relacionadas aos experimentos e usar-se termos mais adequados como quadros, *frames* ou até mesmo imagens. Posteriormente também se passou a agrupá-las em conjuntos de imagens e não apenas situações de análise. Com o passar dos anos, não só a palavra foto começou a gerar desconforto, mas também o nome Laboratório Virtual. A palavra “virtual” começou a se tornar carregada de significados à medida que os anos passavam e a tecnologia avançava. Desde o entendimento de que o termo poderia tratar de algo não real, que estaria sendo simulado, ou até mesmo uma

experiência de “realidade virtual” onde o fenômeno ocorreria numa projeção tridimensional por meio de uso de equipamentos adequados, sentiu-se novamente a necessidade de mudança no nome desse ambiente. Iniciou-se então uma busca por um nome que representasse os experimentos em sua totalidade. Nesse processo, optou-se por suprimir a palavra Laboratório uma vez que ela fazia alusão à manipulação de equipamentos de maneira física, fato que não ocorreria no processo de análise. Em todo caso, por ser composto de experimentos online, a página do MEXI conta com uma seção descritiva onde todo o procedimento e aparatos experimentais são descritos, buscando ambientar o estudante que realizará as atividades. Em relação à Mecânica, esta continua sendo a área na qual os experimentos se concentram, até mesmo porque a partir de dados de posição e tempo de quaisquer movimentos, as condições de análise se mostram possíveis (FONSECA, 2015). Assim, o antigo Laboratório Virtual de Mecânica foi substituído pelo Mecânica Experimental com Imagens (MEXI). O termo “Mecânica Experimental” carregaria consigo a ideia de que se trata de experimentos relacionados à mecânica e que, de alguma forma, fazem referência à uma experiência real. Futuramente pretende-se remodelar o site e alterar o endereço da página com o novo nome. Como essa mudança ainda não ocorreu, toda a evolução do MEXI será apresentada a seguir fazendo uso do novo nome, no entanto, referenciando publicações realizadas com o nome antigo.

O primeiro trabalho que se dispôs a analisar os resultados obtidos com os experimentos do MEXI foi a dissertação de mestrado de Zaki (ZAKI, 2006). Neste trabalho foram abordadas as aplicações de alguns deles, no entanto foi dado destaque ao experimento do Trilho de Ar, onde os alunos estudaram a aplicação das leis de Newton. Nesse experimento era analisada a posição de um carrinho que se deslocava sobre um trilho de ar. A partir de uma fita métrica posicionada no trilho por onde o carrinho se deslocava, era possível determinar posições ao longo do tempo como mostra a Figura 16.

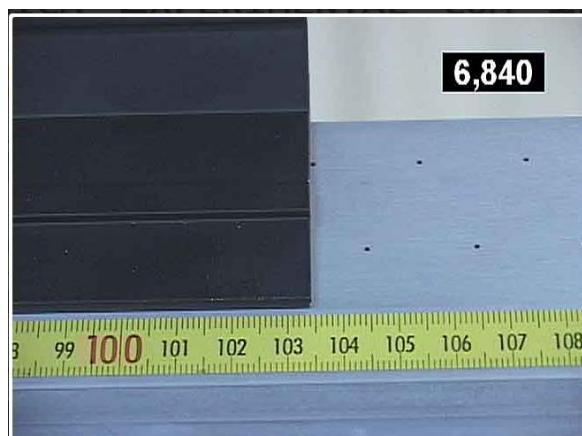


Figura 16: Quadro disponível para leitura de posição e tempo da experiência do Trilho de ar (ZAKI, 2006).

Esse experimento foi realizado também na modalidade presencial, na qual parte da turma fez a coleta de dados usando diretamente os equipamentos de laboratório, sem fazer uso do site. Foram realizadas entrevistas, passado algum tempo da aplicação, com os alunos que fizeram a atividade visando compreender o que o aluno havia executado e assimilado. Para isso, tentou-se avaliar se do ponto de vista do aluno:

- teria sido possível “visualizar a experiência”,
- a filmagem e as imagens eram reais para eles,
- seria possível substituir o laboratório presencial pelas experiências do site ou qual seria a preferência dos alunos,
- houve problemas na tomada de dados, uso de planilhas computacionais ou se a qualidade dos dados seria a mesma em um experimento real ou usando o experimento do site.

A compreensão do experimento, pareceu unânime o entendimento tanto do vídeo do movimento quanto do que se objetivava calcular, no entanto, ao observarem um quadro do movimento não se lembraram de imediato o significado dela e o que indicava o código de tempo na imagem, mas uma vez situados no experimento eles afirmaram que aquela imagem só faria sentido no contexto em que se encontra. Sobre o sentido do uso da experimentação no ensino percebeu-se que os alunos não têm preferências, contanto que o experimento contextualize a aula teórica e ilustre os conceitos, sendo indiferente a opção por algo realizado presencialmente ou online. Vale destacar que essa dissertação foi escrita baseando-se nas primeiras aplicações do MEXI, assim, os resultados obtidos que cumprissem minimamente o roteiro proposto já apontavam um sucesso iminente da proposta. Avaliando a página usada para os experimentos (Figura 17), percebem-se algumas dificuldades práticas de acessá-las ou até mesmo entender como navegar na atividade.



Figura 17: Página online que hospedava o experimento do trilho de ar (http://plato.if.usp.br/1-2005/fap0151d/material/relatorios/relatorio1_PROMAT.html).

Apenas o aluno envolvido na disciplina e que tivesse informações a respeito da experiência saberia a dinâmica do experimento. O roteiro usado pelos alunos (Figura 18) também era pouco objetivo e da mesma maneira, só poderia ser compreendido por aqueles que estariam envolvidos na disciplina.

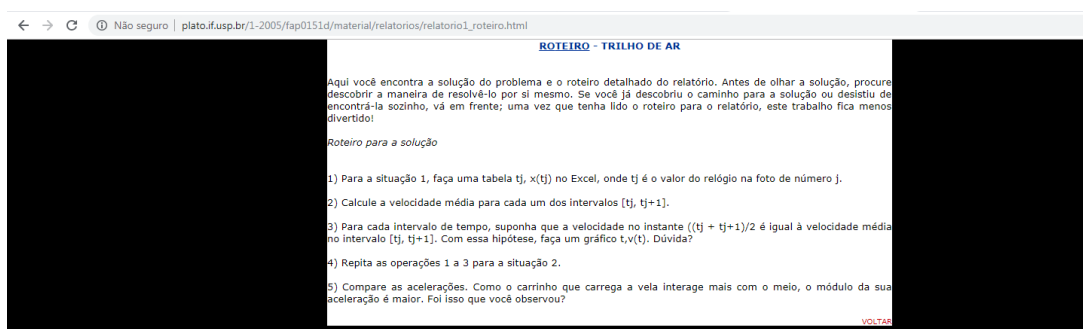


Figura 18: Primeiro roteiro usado nos experimentos (http://plato.if.usp.br/1-2005/fap0151d/material/relatorios/relatorio1_roteiro.html).

Dessa forma, apesar de não estar explícita na dissertação a necessidade de reformulação de roteiros e adequação da página, muitas mudanças começaram a ocorrer a partir de 2007.

A página dos experimentos virtuais, idealizada pelos professores Vito Vanin e Nora Maidana é, desde a sua criação, desenvolvida e mantida por alunos bolsistas da graduação e pós-graduação do Instituto de Física. Por se tratar de uma página que vinha servindo como material didático nas disciplinas de mecânica, sentiu-se a necessidade de melhorar o visual gráfico das experiências e sua disponibilização de maneira intuitiva para os estudantes. A criação da página, apresentada na Figura 19, foi a primeira grande mudança. Nela estavam separadas, por abas, as experiências de translação, rotação, fluidos, guias instrutivos etc.



Figura 19: Primeira página oficial dos experimentos (<http://www.fep.if.usp.br/~fisfoto/paginaAntiga/>).

Em 2013, Fonseca e colaboradores (FONSECA, MAIDANA, *et al.*, 2013) publicaram um artigo sobre o processo de criação dos experimentos do MEXI, oficializando a metodologia de implementação dos experimentos. Neste trabalho destacam que cada fenômeno em questão era inicialmente estudado para verificar o potencial de análise proporcionado por ele. Uma vez definido o aparato, sistemas reais foram filmados com o objetivo de observar todo o movimento do corpo em estudo junto com um instrumento que possibilitasse a medida de sua posição. Depois disso incorporava-se ao vídeo um código de tempo, de modo que quando o vídeo fosse fragmentado em quadros independentes, as imagens extraídas permitissem medir a posição ocupada pelo corpo em instantes sucessivos e conhecidos. Com a tabela de posição por tempo, toda a evolução dinâmica do sistema podia ser obtida.

Até o ano de 2010, muitos experimentos foram criados e colocados na página dos experimentos virtuais. Dos diversos experimentos aplicados na graduação, o Rolamento (Figura 20) foi o escolhido por Barros para realização de sua monografia de final de curso (BARROS, 2011). Preocupada com a relevância que os experimentos vinham tendo nas disciplinas de graduação, ela se dispôs a avaliar de que maneira o laboratório estaria sendo usado pelos alunos como uma ferramenta de aprendizagem, mais que isso, ela esperava fazer um levantamento das dificuldades apresentadas pelos alunos quando realizavam este experimento. Outro objetivo que Barros buscou foi tentar identificar em que momentos a falta de compreensão da teoria poderia afetar a realização da atividade. Dessa forma, a

análise visava melhorias nas propostas dos experimentos virtuais buscando solucionar possíveis problemas de compreensão dos estudantes e tentando torná-lo o mais significativo possível para eles.

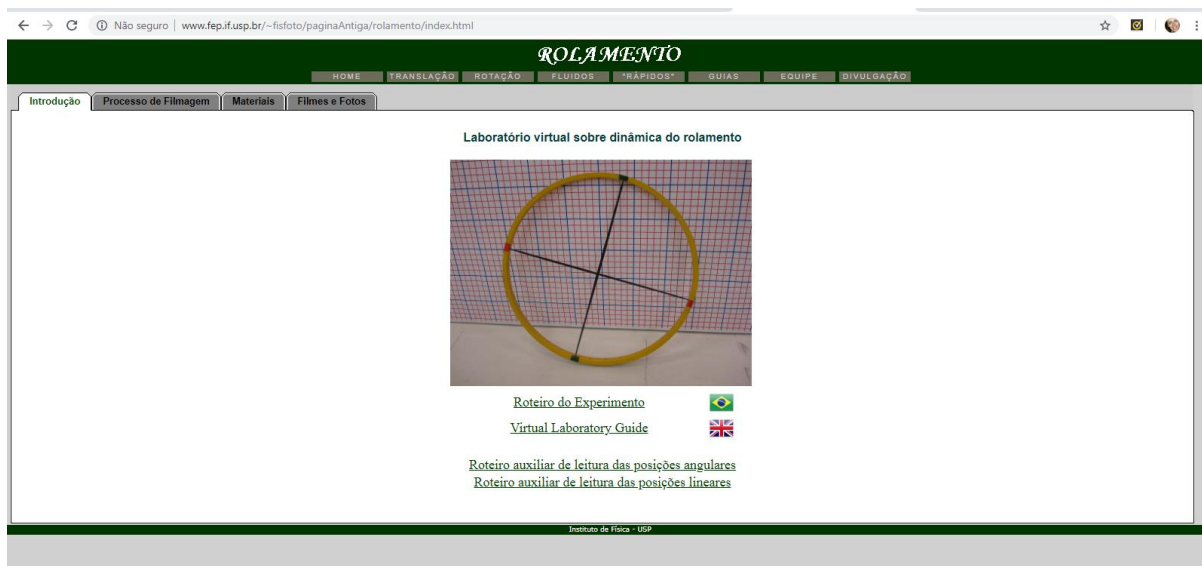


Figura 20: Página do experimento do Rolamento (http://www.fep.if.usp.br/~fisfoto/roteiros/rolamento/roteiro_rolamento.pdf).

O experimento de Rolamento, escolhido para análise, tinha por objetivo estudar o movimento de rolamento de um aro que girava inicialmente em sentido contrário ao movimento de translação, de modo que ele se afastava do lançador, parava e retornava para quem o lançara. Dessa forma, era possível estudar o movimento de rotação de um corpo considerado rígido identificando, em uma mesma experiência, movimentos de rolamento com e sem escorregamento.

A aplicação para os estudantes ocorreu em 2010 e foi alvo de muitas reclamações dada a complexidade do processo de análise, que consistia na leitura de posições lineares e angulares do aro; no caso do movimento de translação o processo era imediato, bastava efetuar a leitura do centro do aro (demarcado pelo cruzamento de dois raios), já no caso das posições angulares o procedimento demandava alguns cuidados, visto que era necessário ler posições em duas direções e depois, a partir de relações trigonométricas, determinar a posição angular em radianos.

Em seu trabalho, Barros destacou alguns critérios utilizados para analisar os relatórios entregues pelos estudantes para, a partir deles, tirar conclusões acerca do aproveitamento da experiência. Foram eles: a compreensão do objetivo do experimento, a qualidade dos dados extraídos da análise e a relação entre a teoria e o fenômeno estudado. No processo de análise

ela usou, como eixo norteador, a teoria de Vygotsky sobre a aprendizagem, em particular a existência de um parceiro mais capaz no processo de ensino-aprendizagem, alguém que pudesse direcionar o seu olhar para a questão de estudo, fornecendo a ele um contato com uma nova linguagem a ser aprendida. Segundo Vygotsky o aprendizado de algo novo ocorreria a partir da interação entre o indivíduo e objeto de estudo, sendo que o parceiro mais capaz assumiria um papel de mediador neste contexto, colocando-o em contato com o novo. Barros também fez uso das ideias de Hanson acerca do papel da teoria durante a realização de uma atividade experimental, e de como ela é necessária ao olhar e interpretar um dado fenômeno.

Os resultados apresentados por ela apontaram para uma melhora na compreensão do objetivo do experimento. Em 2010 cerca de 70% dos alunos não conseguiram compreendê-lo a ponto de enunciá-lo de forma clara no relatório entregue, em 2011 esse número se reduziu a cerca de 50% dos alunos. A falta de compreensão ainda é preocupante e inspira análises. Suelen destacou que os relatórios dos alunos apresentaram muitas confusões nas redações, indicando que muitos nem ao menos notaram que o experimento tratava da existência de dois movimentos distintos (rolamento com e sem escorregamento). Dessa forma, a não compreensão do objetivo comprometeu o processo de análise, uma vez que não se tendo conhecimento da teoria envolvida no experimento dificilmente seria possível tirar conclusões. Suelen destaca que em alguns casos a coleta de dados foi feita de forma correta, uma vez que o roteiro foi seguido corretamente, no entanto esse processo mecânico não permitiu a interpretação e uma relação entre as grandezas experimentais e a teoria física.

No geral, Barros acredita que muitos alunos se mostraram imaturos na realização do experimento, alguns se basearam em literaturas sobre o assunto para apresentar o objetivo do experimento, no entanto o faziam apenas como uma cópia, não se apropriando daquele conteúdo a ponto de desenvolver habilidades para interpretar os resultados experimentais sob aquele ponto de vista. O parceiro mais capaz, para a autora poderia ser pensado como o próprio professor, no entanto, por se tratar de um experimento online e por entender que em um curso superior os alunos já possuiriam uma independência maior, a presença desse parceiro não se configuraria tão fortemente. Tendo em vista a complexidade da mecânica envolvida nesse experimento e a riqueza da análise possibilitada pelas imagens extraídas da filmagem, Barros juntamente com o grupo envolvido na criação dos experimentos do MEXI publicaram em 2016 o trabalho “*The rolling with slipping experiment in the virtual physics laboratory—context-based teaching*” (MAIDANA, FONSECA, *et al.*, 2016), com toda a

descrição do experimento e sua potencialidade de investigação. Atualmente o experimento é feito até a construção dos gráficos sem que os alunos tenham visto a teoria em classe. Assim, no primeiro dia de aula deste conteúdo são apresentados aqueles gráficos construídos por eles e é realizada uma discussão acerca da velocidade no movimento: no caso da rotação ela apenas diminui em intensidade e no caso da translação há uma inversão no sentido do movimento, denotado pelos valores negativos da velocidade. A partir disso é possível discutir em quais momentos há escorregamento, comparando-se os coeficientes angulares das retas de cada parte do experimento. A aula teórica é finalizada mostrando que tanto na translação quanto na rotação o início do movimento sem deslizamento acontece no mesmo instante de tempo e que pela inclinação (nula ou muito próxima de ser nula) dessa segunda parte do movimento, pode ser deduzido que ao não haver aceleração, não existe força de atrito.

Percebe-se, que as mudanças significativas que ocorreram desde a criação do MEXI, em 2006 e constantes atualizações até 2010, foram a reformulação tanto da página online quanto dos roteiros que guiam os alunos na coleta de dados. O trabalho de Barros alerta para uma questão que, apesar de estar presente no experimento do Trilho de ar, vinha sendo deixada em segundo plano. Trata-se da necessidade de uma questão motivadora que instigasse o aluno no seu percurso de análise. O experimento do Rolamento trabalha com uma constatação real de uma teoria física que descreve movimentos de rolamento com e sem escorregamento; a princípio não há nenhuma questão mais instigante que coloque o aluno a refletir além da constatação experimental. Essa preocupação recebe destaque na dissertação de Fonseca (FONSECA, 2015), onde é analisada a assimilação e acomodação dos conteúdos pelos alunos sob uma perspectiva proposta por Jean Piaget. O experimento escolhido para essa análise foi o Giroscópio, no qual pode-se estudar o movimento de precessão e spin, buscando estabelecer uma relação entre eles. O mote desse experimento foi a questão inicial à qual os alunos foram submetidos: o que acontece com a velocidade de precessão do giroscópio ao longo do tempo? A concepção espontânea dos alunos tendia a achar que ela deveria diminuir, o que é totalmente plausível quando se pensa em continuidade do movimento sob algum tipo de resistência, no entanto, nesse caso o oposto acontece. Ao longo da análise os alunos investigaram a questão por meio de análises qualitativas do movimento. Em entrevista realizada com alguns estudantes, Fonseca fez uma análise qualitativa das entrevistas classificando as respostas sob alguns tópicos: interesse, estranhamento, explicação com conhecimentos prévios e explicação com apreensão de novos conteúdos. O

trabalho concluiu que a aplicação das experiências aparenta ser mais significativa em conjunto com as aulas teóricas, o que justifica o laboratório como um material didático complementar às aulas teóricas, além disso todos os alunos entrevistados concordaram com a proposta da experiência e a consideraram viável e uma boa estratégia de assimilação dos conteúdos teóricos. O sucesso do experimento do Giroscópio, em relação à aplicação de sua proposta, confirmou a necessidade da existência de uma pergunta motivadora em todos os experimentos do site.

Já em 2016 a página do Laboratório passou por novas modificações como mostra a Figura 21. Os experimentos foram realocados e sua página inicial remodelada tornando-se mais convidativa para usuários que não fossem necessariamente alunos que cursavam as disciplinas de Mecânica e que usavam os experimentos rotineiramente.



Figura 21: Página dos experimentos a partir do ano de 2016.

Além das melhorias visuais do site, passou-se à elaboração de experimentos que pudessem ser usados em disciplinas avançadas de mecânica. Um dos experimentos foi o de Modos Normais, onde estuda-se o movimento de dois carrinhos que oscilam sobre um trilho de ar, interligados por molas. A extremidade de uma das molas é conectada a um motor, que tem o papel de manter os carrinhos em um movimento oscilatório de tal forma que é possível alterar sua frequência e, com isso, forçar o sistema a entrar em seus dois modos normais de vibração. A partir dos resultados experimentais pode-se fazer uma comparação com a previsão teórica que é obtida usando-se relações típicas do movimento oscilatório.

Outra experiência desenvolvida para níveis superiores foi o experimento do Atrito Variável. O vídeo do experimento foi realizado com uma moeda lançada obliquamente sobre um plano inclinado. O registro de seu movimento é estudado bem como as grandezas que

influenciam sua trajetória, de forma a permitir a elaboração de um modelo teórico para prevê-la e a verificação das leis empíricas do atrito. Levando em conta as constantes mudanças pelas quais o MEXI têm passado, esse experimento possui uma questão inicial que tem por finalidade desestabilizar o aluno sobre o formato da trajetória descrita pela moeda e como inovação propõe a construção dessa mesma trajetória valendo-se da construção de um modelo matemático (LEITE, MAIDANA, *et al.*, 2018). O roteiro usado na experiência se mantinha nos moldes iniciais, bastante descritivo e indicando cada passo a ser seguido pelos estudantes. Os autores destacam que foram detectadas algumas dificuldades no tratamento dos dados, salientando que as correções dos relatórios entregues prezaram por aspectos esperados num experimento científico, como resultados coerentes com o fenômeno além da capacidade de análise crítica e argumentativa ao apresentar e discutir os resultados. Após a realização do experimento os alunos foram submetidos à um questionário avaliativo, no qual a maioria respondeu corretamente a respeito da grandeza que variava ao longo do tempo, no entanto a questão acerca do comportamento das grandezas, como era essa variação, não foi respondida. Muitos dos alunos apontaram queixas a respeito do trabalho de análise, no entanto acreditavam que o experimento era coerente e acabava complementando os assuntos das disciplinas teóricas. Em relação à construção do modelo teórico por meio de equações diferenciais, o experimento abriu margem para uma nova linha de investigação, onde seria possível prever a trajetória da moeda sob quaisquer circunstâncias (LEITE, MAIDANA, *et al.*, 2018). O processo de construção do MEXI e suas constantes reformulações tanto em relação à página online, quanto a criação dos experimentos e elaboração dos roteiros instrutivos foi parte da dissertação de mestrado de Marcos de Lima Leite (LEITE, 2023), que também faz uso da metodologia DBR para analisar a evolução do MEXI e já teve parte publicada (LEITE, MAIDANA, *et al.*, 2021).

Uma experiência recente conta com o estudo da trajetória de um ponto localizado na borda de um cilindro que roda sem escorregar sobre uma superfície horizontal (<http://www.fep.if.usp.br/~fisfoto/rotacao/cicloide/index.php>). Com ele é possível analisar a velocidade desse ponto em diferentes posições. Por se tratar de um movimento de rolamento sem escorregamento a trajetória em questão é uma curva denominada cicloide. Os quadros usados na análise são imagens superpostas do movimento do cilindro a uma imagem de quadriculado. A ideia original do experimento derivou na obtenção da velocidade de diferentes pontos da borda do cilindro analisados desde o centro de massa e desde o eixo instantâneo de rotação.

Outro experimento analisa o movimento de dois carrinhos sobre um trilho de ar, que estão parados e encostados um no outro, mas não ligados entre si (<http://www.fep.if.usp.br/~fisfoto/translacao/cinRefIn/index.php>). Os carrinhos são lançados juntos por meio de um elástico fixado a um trilho de ar. Um fio, que está preso a um dos carrinhos, passa por uma polia e tem um peso amarrado em sua outra extremidade, acelerando este carrinho no sentido contrário ao do movimento inicial. Após o lançamento, apenas o carrinho da frente prossegue em movimento uniforme. Este experimento tem por objetivo determinar a aceleração de um corpo em diferentes sistemas de referência, tanto o do laboratório quanto o do carrinho que se move com velocidade constante e verificar que a medida da aceleração independe do referencial, sempre que seja inercial (MAIDANA, VANIN e ADURIZ-BRAVO, 2023).

Em 2019 desenvolveu-se um experimento que permitia o estudo da composição de velocidades, explorando um modelo clássico de situações de travessia. Para isso filmou-se o movimento de um cilindro que atravessava uma esteira em movimento, sendo possível assim realizar um estudo vetorial da velocidade do cilindro, da esteira e do cilindro em relação à esteira. A análise quantitativa do experimento permitiu constatar a composição explorada teoricamente e seus resultados são mais bem abordados no trabalho de Santos e colaboradores (SANTOS, LEITE, *et al.*, 2019). No mesmo ano, outro experimento desenvolvido buscou estudar o movimento descrito por um corpo quando realiza um loop. A proposta do experimento era verificar se nas condições teóricas propostas a força normal exercida sobre o corpo era nula quando ele se encontrava no ponto mais alto. As tentativas de se obter esses resultados e as análises quantitativas obtidas a partir do estudo das filmagens são mais bem apresentadas no trabalho de Borges e colaboradores (BORGES, LEITE e MAIDANA, 2019).

Ao longo dos anos o ambiente do MEXI tem mantido seu método de elaboração do experimento, no entanto a maneira como cada um deles é proposto pode variar de acordo com os objetivos estabelecidos. Assim, a liberdade de uso das experiências tem possibilitado sua adequação para os diferentes níveis de ensino, ajustando-se a abordagem, estratégias e habilidades desenvolvidas a critério do professor.

2.1. O experimento online do Trem

Em 2016, o MEXI foi complementado com o experimento Velocidade Relativa – Trem (<http://www.fep.if.usp.br/~fisfoto/translacao/velocidadeRelativaTrem/index.php>). Nele, estuda-se o movimento de uma locomotiva que se desloca horizontalmente sobre um trilho depois de ser acelerada em um trecho com uma leve inclinação. Durante esse trajeto, em um determinado instante, uma bola é lançada verticalmente para cima desde a chaminé, caracterizando um lançamento oblíquo visto desde o sistema de referência do laboratório. A proposição do experimento inicia-se com um questionamento acerca do porquê a bola retorna para a chaminé (Figura 22). Além dos estudos acerca da composição de movimentos horizontal e vertical, o experimento também possibilita a verificação do comportamento das velocidades e do ângulo de lançamento quando sujeitas à mudança de referencial. A aplicação dessa experiência para alunos da licenciatura foi apresentada por Maidana e colaboradores (MAIDANA, FONSECA, *et al.*, 2016).



Figura 22: Imagens do movimento de uma bola lançada desde a chaminé de um trem em movimento.

A fim de estudar o movimento em detalhe se recorreu a metodologia tradicional usada na criação dos experimentos do MEXI (FONSECA, MAIDANA, *et al.*, 2013) onde fenômenos reais são filmados junto a um objeto que permite a medida de sua posição e aos quadros independentes desses vídeos se agrega um código de tempo.

A filmagem da situação experimental foi feita sem o túnel e com plano de fundo quadriculado, composto de linhas equidistantes a cada 2 cm e posicionado atrás do trilho por onde o trem se deslocava, o que permitia a leitura das medidas de posição da esfera e do trem. Em relação ao tempo, a taxa de filmagem foi de 480 fps, o que significava que a cada 1 segundo de filmagem foram extraídos 480 quadros, dessa forma o número que aparece na extremidade do quadro indica os instantes de tempo sucessivos, correspondentes a cada um deles. A partir dessas imagens é possível realizar leituras de posição em instantes de tempo específicos.

Uma imagem dessas é apresentada na Figura 23. Sobre ela foi desenhado um sistema xOy de eixos coordenados para ressaltar uma possível escolha de referencial. Uma vez escolhida a origem do sistema de referência, adota-se uma região específica da bola para a leitura das suas coordenadas Ox e Oy em função do tempo. O número no canto superior direito da imagem representa o instante de tempo em que a imagem foi captada. Esse instante, em segundos, foi calculado em relação à taxa de filmagem descrita anteriormente e a partir de uma origem arbitrária de tempos.

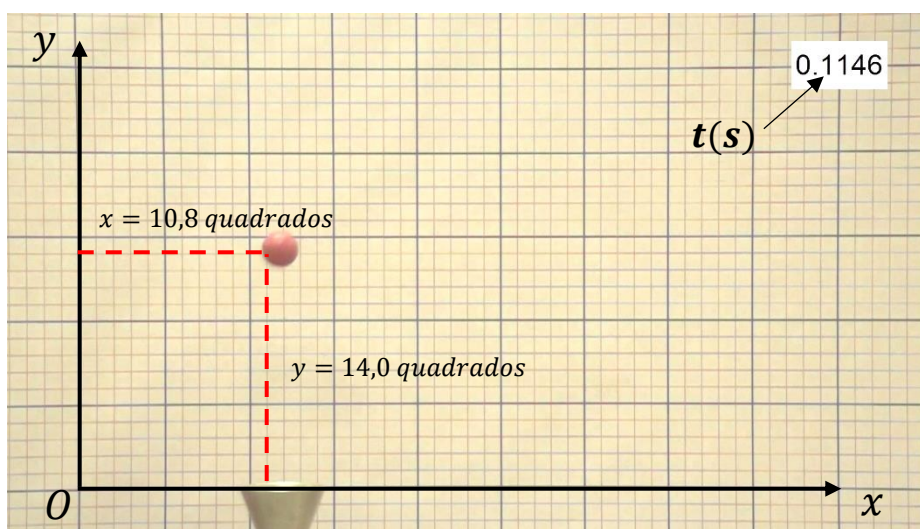


Figura 23: Exemplo de leitura de posições da esfera para o sistema de referência adotado. O número do retângulo branco superior à direita indica o tempo em segundos.

Segundo o sistema de referência adotado (Figura 23), a bola se encontra na posição 10,8 quadrados na direção horizontal e na posição 14,0 quadrados na direção vertical no instante de tempo 0,1146 s. A unidade “quadrados” é posteriormente convertida para metros.

Os valores medidos de posição e tempo permitem a obtenção das grandezas físicas derivadas de velocidade e aceleração que podem ser calculadas usando planilhas de cálculo. A atividade envolve a análise da variação das projeções da velocidade em ambas as direções (as acelerações) e o estudo do movimento da bola no referencial do trem. Explora-se, portanto, desde a cinemática de um lançamento oblíquo até o conceito de velocidade relativa.

Toda a descrição que será feita a seguir refere-se às possibilidades de análise do experimento online do trem disponível no site do MEXI. Como todas as propostas contidas nele, cada uma acompanha um roteiro instrutivo, o qual foi posteriormente adaptado de maneira a ser aplicado no ensino médio. Essas modificações ocorreram posteriormente a

algumas tentativas de readequação propostas iniciais nos cursos de graduação, onde eles eram originalmente aplicados.

A Física por trás do experimento

Dentro da área da Mecânica se faz possível o estudo em diferentes instâncias: o movimento, a partir da análise das posições de um corpo ao longo do tempo; a noção de referencial, trajetória, ponto material, posição (S), deslocamento (ΔS_x e ΔS_y), velocidade escalar média (v_m) e aceleração; derivados destes já citados como energia cinética e potencial, coeficiente de atrito entre superfícies etc.

Como o tempo é a variável sobre a qual não se tem domínio, é no seu transcorrer que se enxerga o comportamento das grandezas da mecânica clássica como posição, de modo que quando analisamos a posição de um objeto em função do tempo pode-se dispor de gráficos e tabelas ou até mesmo funções matemáticas para estudo do movimento. Nos cursos de Ensino Médio opta-se por estudar casos nos quais a evolução do movimento ao longo do tempo é previsível, no entanto, para que o estudo seja possível, alguns conceitos inicialmente citados serão apresentados.

O experimento em questão trata de um caso típico de lançamento de projétil, onde o estudante tem a oportunidade de compreender por meio da análise dos gráficos resultantes o movimento nas direções vertical e horizontal. As forças de atrito do ar sobre a bola causam nos resultados incertezas menores que aquelas devidas às medidas de posição e podem ser ignoradas, principalmente porque a questão não faz parte do escopo do ensino médio, podendo-se então tratar o movimento como sendo uniforme. Por outro lado, na direção vertical, a bola sofre a ação da gravidade (orientada para baixo), diminuindo a velocidade inicial gradativamente, até o momento em que atinge a altura máxima (velocidade vertical nula) para se tornar, na sequência, cada vez mais negativa. Enquanto a bola realiza uma trajetória parabólica, e, portanto, simétrica (de acordo com o modelo adotado), a locomotiva continua com seu movimento horizontal de modo que a bola retorna para a chaminé com o mesmo módulo de velocidade com a qual foi lançada.

A atividade estuda quantitativamente a velocidade da bola em ambas as direções. Inclusive, permite que se verifique o modelo adotado para que a aproximação para desprezar a interferência do ar seja válida durante o intervalo de tempo total do movimento e a trajetória descrita pela bola possa ser considerada simétrica. Também é possível calcular a velocidade

horizontal da locomotiva que se mostra compatível com a componente horizontal da velocidade da bola.

Por outro lado, excluindo o fato que o laboratório pertence a um sistema não inercial de referência, e dado o tempo total da experiência, pode ser adotada uma análise em que ambos os sistemas de referência, laboratório e locomotiva, são inerciais. O experimento permite também a análise do movimento da esfera desde o sistema de referência do laboratório e desde o sistema de referência da locomotiva, que ao estar em movimento horizontal uniforme em relação ao laboratório também se considera um sistema de referência inercial, o que implica que as conclusões inerentes ao movimento da esfera, quando forem deduzidas de análises independentes de cada referencial, devem ser coerentes.

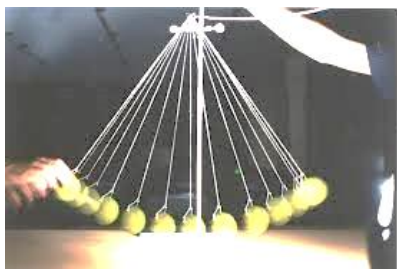
O estudo do movimento da bola desde o sistema de referência da locomotiva oferece a possibilidade de explicar por qual razão a bola retorna para a chaminé após seu lançamento. A partir da resposta a esse questionamento, novas hipóteses e questionamentos podem ser realizados, como, por exemplo: a) Existe diferença entre os ângulos de lançamento da bola ao ser realizado desde o referencial do laboratório ou desde o sistema de referência em movimento? b) É possível calcular esses ângulos em cada sistema de referência?

Para que todas essas análises sejam possíveis e a resposta ao questionamento inicial obtida, se faz necessária uma compreensão dos conceitos envolvidos nesse estudo. Assim, será apresentado a seguir todo o conteúdo físico necessário para realização do experimento.

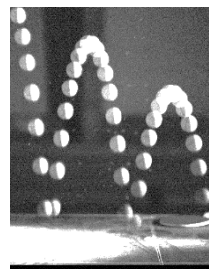
Conceitos Iniciais

Em relação aos referenciais o que se preza é a compreensão de que alguns conceitos relativos ao movimento e repouso dependem diretamente do referencial adotado. Durante um estudo, a posição do objeto poderá variar de maneira progressiva ou não dependendo do referencial analisado.

Outro conceito tratado na cinemática é a trajetória, que apresenta o registro das posições sucessivas do corpo em estudo ao longo do tempo. Para que ela seja obtida se faz necessária a escolha de uma origem para o início do movimento e um sentido de orientação, de modo que a trajetória descrita pelo corpo em estudo ao longo do seu movimento dependerá desse referencial escolhido. Pode-se fazer o registro da trajetória de corpos ao longo de um tempo maior como mostram os exemplos da Figura 24.



<https://encrypted-tbn0.gstatic.com>



<http://atomoemeio.blogspot.com/2008/10/movimentos-variados.html>

Figura 24: Exemplos de registros de trajetórias ao longo do tempo.

A posição (S) de um corpo retrata o lugar exato onde o corpo está em determinado instante. No entanto, para que essa grandeza possa ser mais bem definida, se faz necessária a opção por definir o corpo em estudo como um ponto material. Nessa escolha, o objeto em estudo passa a ser tratado como uma partícula cujas dimensões ou movimentos como o de rotação sobre seu próprio eixo, não estariam interferindo no problema.

Uma vez descritas as posições do corpo ao longo do seu movimento, pode-se definir a grandeza deslocamento escalar (ΔS). Trata-se de um conceito físico que indica a variação da posição (S), compreendida como a diferença entre a posição final e a posição inicial no estudo do movimento. Como esse trabalho foi aplicado com estudantes de ensino médio, optou-se por usar a nomenclatura ΔS ao invés de Δx ou Δy , sendo que as direções serão diferenciadas fazendo-se uso do subíndice: ΔS_x e ΔS_y .

A variação do deslocamento escalar de um corpo ao longo do tempo é definida como a sua velocidade escalar média (V_m).

$$V_m = \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad (1)$$

O intervalo de tempo em questão é exatamente a diferença entre os instantes correspondentes às posições iniciais e finais associadas ao deslocamento escalar. Ainda do conceito de velocidade escalar média podem ser extraídas informações acerca do sentido de movimento descrito pelo corpo. Se o valor da velocidade escalar média é positivo, isso indica que o corpo se move a favor do sistema de referência escolhido, descrevendo um movimento progressivo; se é negativa o corpo estaria se deslocando para trás, no sentido contrário ao da referência escolhida, em um movimento retrógrado; e se o valor for nulo, significa que o corpo se manteve em repouso.

A partir dessas definições, o estudo da cinemática pode ser detalhado passando a caracterizar os tipos de movimento.

O movimento retilíneo uniforme (MRU)

Em situações em que a resultante de forças que atuam sobre um corpo é nula, ele permanecerá em MRU ou em repouso (equilíbrio dinâmico ou estático). A expressão MRU, apesar de recorrente, merece um esclarecimento melhor do seu significado. “Movimento” significa que há velocidade, “Retilíneo” se refere a uma trajetória em linha reta e “Uniforme” indica que a velocidade tem sempre mesma intensidade. Uma vez que a velocidade é constante, pode-se fazer a seguinte suposição imaginando um corpo tal que:

$$V(t) = V_0 \quad (2)$$

Na situação em que V_0 é maior que zero, o corpo estaria descrevendo um movimento progressivo, movendo-se a favor do sentido escolhido para o sistema de referência adotado. Assim, o gráfico de velocidade em função do tempo é dado pela Figura 25.

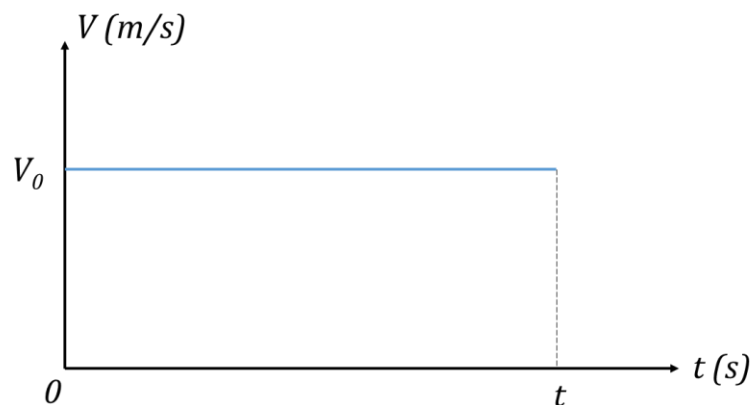


Figura 25: Gráfico da velocidade em função do tempo de um movimento MRU.

A *velocidade instantânea*, por ser uma grandeza constante, tem sempre o mesmo valor, como mostra o gráfico de função constante, denotado pela reta em azul. Por outro lado, a *velocidade média* avalia a rapidez ao longo de trechos. Porém, como todos estes são equivalentes em um MRU, a velocidade instantânea e a velocidade média são sempre iguais.

Ao estudar os gráficos do MRU, é bastante recorrente questionar a incoerência de pensar que em um tempo inicial o corpo já possui a velocidade com a qual se manterá ao longo do movimento, no entanto, nessa análise feita a partir do gráfico, o instante inicial indica quando o corpo começou a ser estudado, e, nessa condição, ele já estava na condição

de MRU. Para o trecho de $t_0 = 0$ a t e partindo-se da equação (1) é possível obter-se algumas informações relevantes acerca do movimento:

$$V_0 = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{S_{final} - S_{inicial}}{t - t_0}$$

$$V_0 \cdot t = \Delta s \quad (3)$$

A partir da expressão (3), nota-se, observando o gráfico, que V_0 e t correspondem à altura e à base do retângulo compreendido entre o gráfico da função $V(t)$, em azul na Figura 25, e o eixo dos tempos. Portanto, o deslocamento é numericamente igual à área do retângulo sob o gráfico de velocidade. Assim, é possível associar a uma característica geométrica do gráfico de velocidade (a área sob ele) a uma grandeza física do corpo em movimento (o deslocamento desde o início da análise ou desde a origem do sistema de referência adotado):

$$V_0 \cdot t = S - S_0$$

$$S = S_0 + V_0 \cdot t$$

Como t é um instante subsequente qualquer e s_0 e v_0 são valores constantes e bem definidos, temos que essa expressão torna a posição S uma grandeza que depende apenas do tempo t . Logo, a função horária de posição pode ser escrita como:

$$S(t) = S_0 + V_0 \cdot t \quad (4)$$

Por se tratar de uma função de primeiro grau, $S(t)$, pode-se associar a ela as mesmas propriedades matemáticas intrínsecas a esse tipo de função. Algumas correspondências possíveis serão apresentadas a seguir.

Correspondências possíveis

Uma equação de reta usada de maneira recorrente pela matemática é

$$y = ax + b \quad (5)$$

A estrutura dessa equação pode sofrer variações, no entanto ela será adotada por ser reconhecida pelos estudantes que participarão das atividades relatadas neste trabalho.

A equação (5) pode ser comparada com a função (4) de modo que a representação no sistema de eixos xy será feita associando-se o eixo horizontal, x , aos tempos e o vertical, y , às posições. Em (5), o termo a é o coeficiente angular, que na expressão aparece multiplicado pela variável x , portanto, o seu correspondente é a velocidade inicial V_0 . Já o termo b é o coeficiente linear, o termo independente, cujo correspondente é a posição inicial S_0 .

O sinal de a corresponde com o sentido da velocidade. Se o termo linear a for positivo, a reta é crescente, e se for negativo, ela é decrescente. Logo, se a velocidade inicial v_0 for positiva, o movimento é progressivo, e se for negativa, o movimento é retrógrado. O módulo do coeficiente angular a está relacionado com a inclinação da reta. Quanto maior o seu módulo, mais inclinada será a reta e quanto menor ele for menos inclinada ela será. Logo, o módulo da velocidade inicial v_0 relaciona-se com a inclinação do gráfico de posição.

O termo independente b de (5) corresponde à coordenada vertical y do ponto do gráfico de coordenada $x = 0$. Assim, b é o valor em que a reta corta o eixo y . Portanto, a posição inicial S_0 é o valor de S em que o gráfico da função horária de posição corta o eixo das posições.

Dessa forma, a associação entre (4) e (5) é apresentada aos alunos conforme a Figura 26, onde as setas apontam diretamente para os termos correspondentes na equação matemática e na expressão da física, que, para esse caso, pode ser reescrita de modo a deixar explícita a correspondência entre as variáveis.

$$\begin{array}{ccccccc}
 \mathbf{y} & = & \mathbf{ax} & + & \mathbf{b} & & \\
 \uparrow & & \uparrow & \uparrow & \uparrow & & \\
 \mathbf{S} & = & \mathbf{v \cdot t} & + & \mathbf{S_0} & &
 \end{array}$$

Figura 26: Associação entre as variáveis da equação matemática e da expressão física no movimento uniforme. As setas e cores são usadas para evidenciar a correspondência.

Por outro lado, no caso de a velocidade variar de maneira uniforme, na mesma condição de direção retilínea, define-se um movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV).

O movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV)

Explorando novamente sua nomenclatura: “Movimento” significa que há velocidade, “Retilíneo” se refere a uma trajetória em linha reta, “Variado” indica que a velocidade muda

de intensidade e “Uniformemente” sugere que essa mudança é regular. Enquanto no MRU a posição varia uniformemente, no MRUV é a velocidade que varia uniformemente. Essa variação da velocidade a taxas constantes é definida como aceleração (a):

$$a = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (6)$$

Uma vez sendo constante, pode-se fazer a seguinte suposição imaginando um corpo tal que:

$$a(t) = a_0 \quad (7)$$

Nesse caso, se a aceleração inicial for positiva, isso indica que ela aponta no sentido positivo do sistema de referências adotado. Logo, se o corpo tem velocidade inicial positiva, ele será acelerado, e se tem velocidade inicial negativa, ele será freado. Em outras palavras, quando a aceleração está a favor da velocidade, o movimento é acelerado, e quando ela está contra a velocidade, ele é retardado. O gráfico de aceleração em função do tempo, $a(t)$, entre $t_0 = 0$ e um instante t subsequente qualquer é semelhante ao da velocidade constante, na Figura 25, apenas com a mudança correspondente da grandeza aceleração no eixo y .

Neste caso, a *aceleração instantânea* é constante, e da mesma forma que na velocidade instantânea, tem em qualquer instante o mesmo valor. Por outro lado, a *aceleração média* avalia o quanto a velocidade aumenta ou diminui ao longo de trechos. Porém, como todos estes são equivalentes em um MRUV, a *aceleração instantânea* e a *aceleração média* são sempre iguais.

Para o trecho de $t_0 = 0$ a t e partindo-se da equação (6) é possível obtermos algumas informações relevantes acerca do movimento:

$$a_0 = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{\Delta V}{t - t_0}$$

$$a_0 \cdot t = \Delta v \quad (8)$$

As equações 8 e 3 se mostram equivalentes, de modo que a variação da velocidade também é numericamente igual à área do retângulo sob o gráfico de aceleração em função do tempo.

Retomando a expressão anterior é possível obter

$$\begin{aligned}a_0 \cdot t &= \Delta V \\a_0 \cdot t &= V - V_0 \\V &= V_0 + a_0 \cdot t\end{aligned}$$

Como t é um instante subsequente qualquer e V_0 e a_0 são valores constantes e bem definidos, temos que essa expressão torna a velocidade v uma grandeza que depende apenas do tempo t . Logo, a função horária de velocidade pode ser escrita como:

$$V(t) = V_0 + a \cdot t \quad (9)$$

Todas as correspondências a respeito de uma reta para a função horária de posição do MRU, são válidas, feitos os devidos ajustes, para a função horária de velocidade no MRUV. A mudança mais significativa será a interpretação dada para o movimento que agora não será mais uniforme; ele pode ser acelerado ou também retardado, além de apenas progressivo ou retrógrado.

Foi visto que no MRU o deslocamento pode ser calculado a partir do gráfico de velocidade desde que se determine a área entre ele e o eixo dos tempos. É possível transpor o mesmo raciocínio para o MRUV, considerando um caso simples onde $V_0 > 0$ e aceleração $a_0 > 0$. O gráfico da função horária de velocidade, entre um instante inicial $t_0 = 0$ e um instante subsequente t qualquer, pode ser representado pela Figura 27.

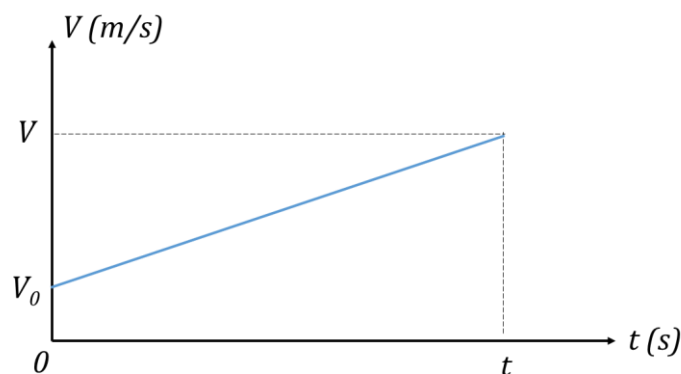


Figura 27: Gráfico da velocidade em função do tempo.

Para se calcular o deslocamento é necessário determinar a área entre o gráfico de velocidade e o eixo dos tempos, que agora será um trapézio. Essa área será calculada dividindo-a em um triângulo e um retângulo e depois somando-as (Figura 28).

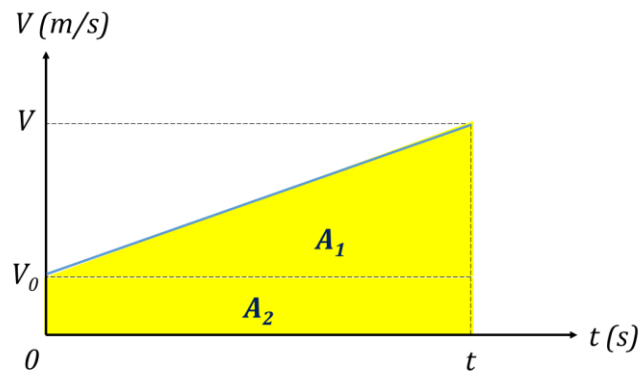


Figura 28: Divisão entre duas áreas no gráfico de velocidade para determinação do deslocamento.

Pela Figura 28 temos que uma área A_1 que é a área de um triângulo, enquanto A_2 , de um retângulo. Logo, o deslocamento ΔS será o seguinte:

$$\Delta S = A_1 + A_2 \quad \Rightarrow \quad \Delta S = \frac{t \cdot (V - V_0)}{2} + t \cdot V_0$$

O deslocamento ΔS é a subtração entre uma posição final S e uma posição inicial S_0 ($\Delta S = S - S_0$), além disso, a variação de velocidade $\Delta V = V - V_0$, entre parênteses na expressão acima, já é conhecida: $\Delta V = a_0 \cdot t$. Assim, fazendo as devidas substituições, obtemos:

$$S - S_0 = \frac{t \cdot (a_0 \cdot t)}{2} + t \cdot V_0$$

Isolando a posição S e rearranjando os termos, tem-se que:

$$S = \frac{t \cdot (a_0 \cdot t)}{2} + t \cdot V_0 + S_0$$

Como a posição S está em função apenas do tempo t , uma vez que a posição, a velocidade e a aceleração são condições iniciais geralmente conhecidas, obtém-se a *função horária de posição do MRUV*:

$$S(t) = S_0 + V_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a_0 \cdot t^2 \quad (10)$$

Esta é uma função de segundo grau, cujas equivalências em matemática também podem ser realizadas. O gráfico referente a essa função é o de uma parábola e sua equação é dada por:

$$y = ax^2 + bx + c \quad (11)$$

Pode se estabelecer a mesma correspondência das variáveis entre (10) e (11), sendo S referente a y e t correspondente a x . No caso do MRUV, o termo a é a aceleração dividido por 2, o termo b , a velocidade inicial V_0 , e o termo c coincide com S_0 . Da mesma forma que no MRU, pode-se fazer as devidas equivalências em relação aos sinais e módulos dos coeficientes na função.

Assim, a associação é apresentada aos alunos conforme a **Figura 29**.

$$\begin{array}{ccccccc}
 y & = & ax^2 & + & bx & + & c \\
 \uparrow & & \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow \\
 S & = & \frac{g}{2}t^2 & + & v \cdot t & + & S_0
 \end{array}$$

Figura 29: Associação entre a equação matemática e a expressão física no movimento uniformemente variável. As cores e setas destacam a correspondência das variáveis.

Um dos casos do MRUV, uma situação recorrente é o lançamento vertical no qual acontece uma inversão de sentido. Nesse caso particular, a aceleração que rege o movimento é a própria aceleração da gravidade e o movimento do corpo em estudo se comporta ora de maneira acelerada, ora de maneira retardada, passando por um instante de velocidade nula, que é justamente onde ocorre a inversão de sentido. As funções horárias para esse tipo de lançamento serão as mesmas já apresentadas no MRUV.

Para que o movimento se dê em linha reta, esta aceleração precisa ocorrer na mesma direção da velocidade inicial do corpo, isto é, com a imposição de uma aceleração que simplesmente aumente ou diminua a velocidade do movimento. Caso isso não ocorra, os corpos passam a andar em trajetórias curvas.

Todas as definições apresentadas até aqui foram aplicadas em situações de movimento retilíneo, onde o corpo se desloca em uma única direção, no entanto os mesmos conceitos podem ser usados em situações de movimentos bidimensionais.

Composição de movimentos

Muitos tipos de lançamento que ocorrem no cotidiano como saltos, arremessos, disparo de projéteis etc., podem ter um estudo mais apurado a partir da análise das variáveis tempo e posição, como no experimento do Trem.

No curso do Ensino Médio é recorrente iniciar esses estudos após a conceituação de grandezas escalares e vetoriais.

Um vetor é uma ferramenta matemática usada para se trabalhar com grandezas que podem ter seu comportamento descrito em diferentes direções. Essa descrição caracteriza o módulo da grandeza, sua direção e sentido. Especificamente na mecânica, em especial na parte da cinemática, as grandezas vetoriais que recebem destaque são o deslocamento (ΔS), a velocidade (v) e a aceleração (a). A representação de um vetor é feita por meio de uma flecha (Figura 30) na qual são subentendidas três características: direção, módulo e sentido.

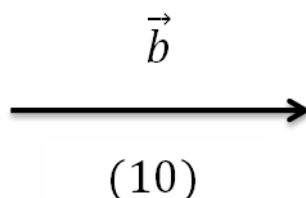


Figura 30: Representação de um vetor com direção, módulo e sentido.

A direção de um vetor pode se dar na horizontal, na vertical ou formando um ângulo em relação a uma direção preestabelecida. É comum também indicar a direção fazendo uso dos pontos cardeais (norte, sul, leste, oeste etc.) ou expressando um ângulo desde o eixo positivo dos x . O módulo do vetor será sempre um valor positivo e que indicará a intensidade da grandeza em questão, de modo que se trata de um número com uma grandeza associada, no caso da física. O sentido do vetor é dado pela ponta da flecha, dependendo da sua orientação, podendo ser esquerda/direita, cima/baixo e sempre está acompanhado do seu nome, uma letra com uma seta horizontal posicionada sobre ela.

Essa ferramenta será essencial para compreender a maneira como se estudam movimentos em duas direções no experimento do Trem. Nele, a bola é lançada desde a chaminé do trem e descreve uma trajetória parabólica até retornar novamente a ela. Como no modelo adotado, a única força que atua nela é seu peso, conclui-se que o movimento é acelerado, em uma das direções, e sua aceleração é a própria gravidade \vec{g} . Nota-se que no movimento da bola a aceleração da gravidade e a velocidade de lançamento, de acordo às orientações dos sistemas de referência adotados, não possuem sempre a mesma direção. A observação do movimento da bola será feita desde um referencial parado, o chamado referencial do laboratório, de modo que quando ela é lançada possui uma velocidade vertical para cima \vec{V}_{oy} e como está sobre o trem em movimento, adquirirá a sua velocidade horizontal \vec{V}_x , como mostram as setas vermelha e azul desenhadas sobre a bola da Figura 31.

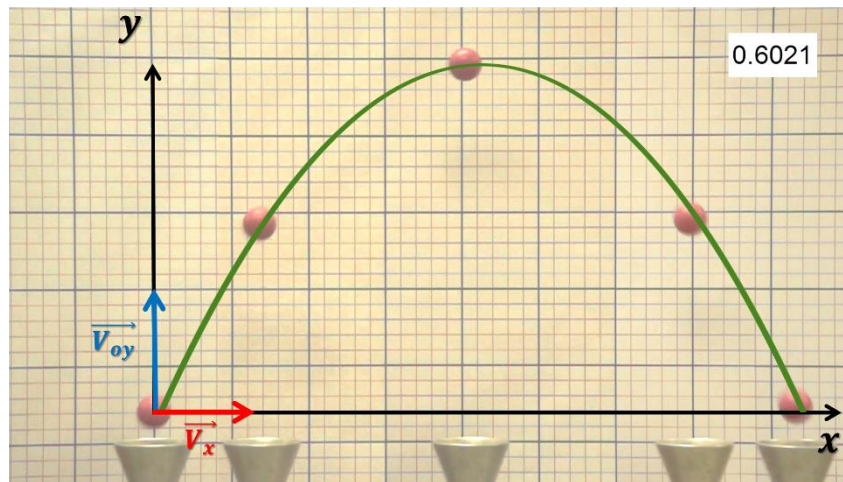


Figura 31: Sobreposição de imagens que representam, na linha verde, a trajetória descrita pela bola ao sair da chaminé.

Na Figura 31 a origem do sistema de referência foi posicionada no momento do lançamento da bola, com o sentido positivo para x e y , para a direita e cima, respectivamente. A figura é uma sobreposição de 5 imagens, sendo que na primeira a bolinha está saindo da chaminé, na segunda ela está aproximadamente na metade de seu movimento de subida, na terceira se encontra no ponto mais alto de sua trajetória, na quarta a bola se encontra na metade de seu movimento de descida e na última está prestes a entrar novamente na chaminé. Sobre essa sequência de imagens foi representada uma trajetória esperada para a bola em todo esse percurso.

Quando a bola descreve sua trajetória, é possível considerar que sua velocidade é sempre uma composição de \vec{V}_x e \vec{V}_y , cujas representações estão associadas aos vetores em vermelho e azul, respectivamente, da Figura 32.

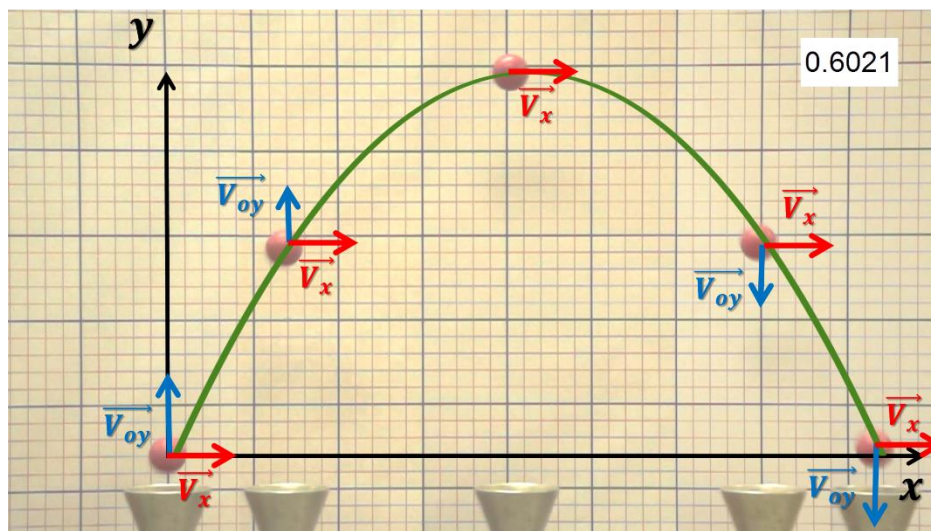


Figura 32: Representação das componentes do vetor velocidade (fora de escala) ao longo da trajetória idealizada pela linha tracejada, onde o vetor (\vec{V}_x) mantém sua intensidade e o vetor (\vec{V}_y) varia de intensidade ao longo do movimento de subida e descida.

Assim, é possível associar que a bola tem um movimento horizontal ao longo do eixo Ox (com uma velocidade constante \vec{V}_x) e um movimento vertical ao longo do eixo Oy (com uma velocidade variável \vec{V}_y). Apesar disso, trata-se apenas de um artifício para facilitar o estudo do movimento, visto que desde um referencial parado (fixo), a bolinha se desloca sobre uma trajetória parabólica, sob as considerações adotadas.

A aceleração sob a qual a bolinha está sujeita na direção vertical é a própria gravidade, que é representada por um vetor que aponta em sentido contrário ao sistema de referência escolhido. Isso significa que o movimento descrito por ela nessa direção é uniformemente variado (\vec{g} é constante) e sua aceleração está orientada para baixo. Dessa forma, as equações já vistas anteriormente para o caso de movimentos uniformes e variados, poderão ser usadas nesse contexto.

Quando se faz essa decomposição para o estudo da velocidade em duas direções, é comum identificar algumas grandezas que, apesar de já conhecidas, acabam recebendo uma nomenclatura particular para o caso de lançamentos oblíquos. No caso, o deslocamento Δs da bolinha na direção horizontal é chamado de alcance (para o ponto de máximo afastamento nessa direção com relação ao ponto de lançamento), enquanto na direção vertical é chamado

de altura máxima (para o ponto mais alto da trajetória). Neste trabalho, o termo alcance é usado para a distância entre a posição inicial e final do movimento, não requerendo necessariamente que o objeto em estudo retorne para a mesma posição de origem de onde partiu. Por exemplo, no movimento da bola que é lançada, ela atinge uma posição no eixo horizontal que coincide com a mesma altura na vertical, no entanto, em um arremesso de basquete, a bola é lançada desde uma certa altura e conclui seu alcance em uma posição vertical diferente, a não ser que o jogador lance a bola durante o salto e que o ponto de lançamento coincida com a posição vertical do aro. Em ambos os casos é coerente falar-se em alcance quando se refere ao deslocamento descrito pelo objeto em estudo, desde o início até o fim de seu movimento, na direção horizontal.

Outro estudo possível de ser feito no lançamento oblíquo diz respeito ao ângulo de lançamento. Para isso, é necessário considerar a velocidade resultante \vec{V} decorrente da composição dos dois vetores em questão (Figura 33). Cada componente dessa velocidade pode ser calculada a partir das relações matemáticas válidas para triângulos retângulos.

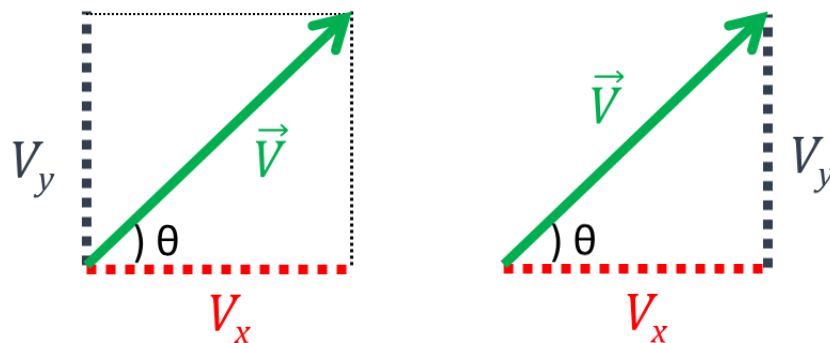


Figura 33: Decomposição do vetor velocidade em suas componentes escalares.

A partir da figura pode-se escrever as seguintes relações:

$$\text{sen } \theta = \frac{V_y}{V} \rightarrow V_y = V \text{ sen } \theta$$

$$\text{cos } \theta = \frac{V_x}{V} \rightarrow V_x = V \text{ cos } \theta$$

Com essas relações pode-se obter o valor do ângulo de lançamento, uma vez que o módulo velocidade resultante V é calculado a partir do teorema de Pitágoras:

$$V^2 = V_x^2 + V_y^2$$

Na atividade realizada pelos alunos, e que será melhor descrita posteriormente, as grandezas que eles obtêm diretamente são as componentes da velocidade, de modo que o ângulo de lançamento poderá ser calculado diretamente aplicando-se a relação da tangente, uma vez que:

$$\tan \theta = \frac{V_y}{V_x} \rightarrow \theta = \text{atan} \left(\frac{V_y}{V_x} \right)$$

Todos os conceitos apresentados até aqui são possíveis de serem abordados com a realização do experimento. Dependendo do contexto a ser aplicado o enfoque escolhido poderá variar, tanto em relação a uma aplicação em cursos superiores ou de ensino médio. A seguir serão apresentadas abordagens realizadas nesses dois níveis.

2.1.1. Adaptações do experimento para o curso de graduação

A aplicação do experimento segundo o roteiro proposto no próprio site e a análise dos resultados obtidos, demonstraram que os alunos conseguem notar a compatibilidade entre as velocidades horizontais da bolinha e do trem para responder à questão inicial. Sobre o ângulo de lançamento nos dois referenciais a maioria dos alunos respondeu de maneira satisfatória, no entanto foram poucos os alunos que se valeram dessa justificativa para responder ao questionamento. Esse experimento possui uma particularidade, que foi proposta como um item adicional no roteiro. Trata-se da questão da paralaxe que altera o valor da gravidade obtida. Um valor coerente só seria possível uma vez que a correção proposta é realizada, o que torna o experimento uma alternativa para trabalhar esse fenômeno tão recorrente e que, se bem abordado em disciplinas de laboratório, neste caso, seria possível corrigir.

Em 2018 começou-se uma preocupação maior com a estrutura que os experimentos do MEXI vinham adotando. Dessa forma, foi realizada uma primeira modificação no experimento de Velocidade Relativa – Trem. Na aplicação da licenciatura a atividade foi

proposta apenas com uma instrução disponibilizada no sistema eDisciplinas, como mostra a Figura 34. Além disso, nesse mesmo ano, algumas experiências passaram a ser realizadas durante as aulas teóricas para que aqueles alunos que tinham mais dificuldade com a construção das planilhas pudessem sanar suas dúvidas.

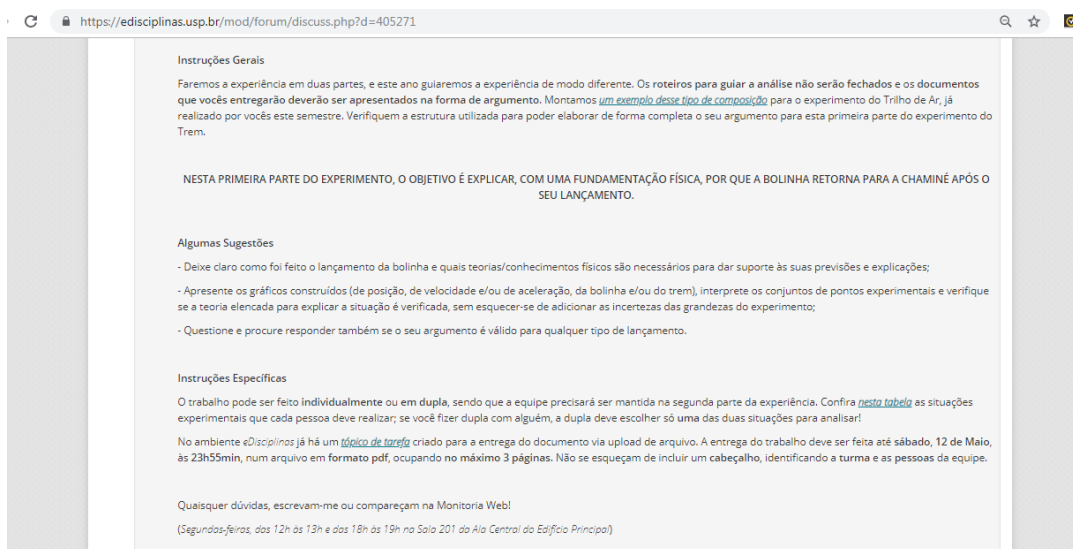


Figura 34: Instruções para realização da atividade disponíveis no sistema eDisciplinas (<https://edisciplinas.usp.br/mod/forum/discuss.php?d=405271>).

Como os alunos do curso já haviam realizado outras experiências contidas no site, não se mostrou necessário explicar como tomar os dados a partir dos quadros disponíveis. A conclusão do trabalho deveria ser expressa na forma do que se chamou “argumento”, cujos princípios foram apresentados no [Capítulo 1](#), sendo que foi dado um modelo com uma explicação sobre as partes imprescindíveis que ele deveria conter: evidência, raciocínio e conclusão. No entanto os roteiros antigos continuaram na página, o que fez com que muitos alunos que acessaram o experimento, ao invés de seguir a nova instrução dada para a tarefa, seguiram-no e realizaram o experimento nos moldes antigos. No entanto, esse roteiro levava numa direção que não era aquela dada no início da proposição da tarefa, fazendo com que os alunos entregassem um relatório que não era o argumento requisitado e que nem mesmo continha as três partes requerentes. A evidência muitas vezes apareceu no meio da conclusão ou o raciocínio misturado com a evidência. O insucesso da aplicação gerou uma reflexão por parte dos idealizadores da proposta, detectando o equívoco de ter mantido os antigos roteiros na página. Por outro lado, percebeu-se que os alunos estavam perdendo sua capacidade de

interpretação e compreensão para agir livremente e desenvolver sua autonomia para estabelecer um plano de trabalho que o levasse a tirar conclusões acerca de um problema.

Essas constatações obtidas a partir dos resultados da graduação indicaram que, para que o mesmo experimento fosse realizado no ensino médio, novas mudanças deveriam ocorrer na maneira como a atividade era proposta e principalmente no roteiro de orientação.

2.1.2. Adaptação para o ensino médio

Para a proposta do ensino médio manteve-se o uso do site, ressaltando-se que o experimento online do trem é dividido no site MEXI em diferentes conjuntos, cada um deles com aproximadamente 35 quadros. Juntamente a eles é disponibilizado tanto o vídeo original do experimento, que foi usado para gerar os quadros, quanto um vídeo mais abrangente que mostra todo o aparato e a movimentação do trem lançando a bola.

O estudo no entorno do experimento foi proposto a partir de uma pergunta instigadora: *por que a bola retorna para a chaminé?* No referencial do laboratório, a bola possui velocidade inicial em duas direções. Sugeriu-se inicialmente a coleta de dados dos instantes de tempo (t) e das coordenadas de posição da bola (x , y) e do estudo cinemático do movimento, que envolvia a observação da trajetória e a classificação dos movimentos. Toda a orientação para realização da análise era feita por meio de um roteiro instrutivo ([Anexo 1](#) – os espaços destinados às respostas foram suprimidos) que contava com os itens disponíveis no Quadro 4.

Quadro 4: Etapas para análise do experimento do trem.

Instrução da atividade	Expectativa de resposta
1. Assistir ao vídeo do movimento	Uma bola é lançada desde a chaminé de uma locomotiva em movimento.
2. Classificar o tipo de movimento	Lançamento oblíquo com um MU na horizontal e um MUV na vertical.
3. Realizar a leitura das imagens no site	Leitura do tempo e das posições horizontais e verticais.
4. Calcular a velocidade da bolinha em função do tempo	A partir das posições e instantes de tempo lidos, calcular as velocidades.
5. Construir os gráficos	Construção dos gráficos das posições e das componentes da velocidade em função do tempo.
6. Analisar as funções horárias	Usar a ferramenta de ajuste da planilha para obter as funções horárias de posição e velocidade.
7. Representar as grandezas vetorialmente	Desenhar os vetores \vec{V}_x e \vec{V}_y da bola ao longo da trajetória.
8. Responder: Por que a bolinha volta para a chaminé?	Constatar que as velocidades horizontais da bolinha e da locomotiva são as mesmas.

Como primeira instrução devia-se assistir ao vídeo do movimento da locomotiva (item 1 do roteiro). A pergunta inicial fazia referência ao tipo de movimento descrito pela bolinha (item 2 do roteiro), permitindo que se retomasse conhecimentos já sabidos e aplicando-os à uma situação real.

Antes de prosseguir para a leitura das posições, os alunos foram convidados a apenas observar a sequência de quadros e, comparando a posição da bolinha em relação à chaminé, inferir algo sobre a velocidade do trem (item 4 do roteiro), buscando de antemão verificar alguma relação entre esses movimentos.

Ao acessar o site com os quadros disponíveis para a análise foi preciso sugerir que os alunos utilizassem uma planilha computacional para arquivar os dados (itens 5 e 6 do roteiro). Essa coleta poderia ser feita de forma manual, anotando-se no papel os dados de cada quadro para depois seguir para os cálculos necessários, no entanto, o uso da planilha computacional agilizava o processo fazendo com que os alunos investissem mais tempo na análise dos resultados.

Para a leitura das posições da bola foi sugerido que se adotasse um sistema de referência com origem no primeiro quadro do movimento e alguma extremidade da bola, como descrito anteriormente na Figura 23.

A Tabela 1 retrata um exemplo do procedimento de coleta dos dados realizado com o Conjunto 1.A disponível no site do MEXI. A primeira coluna refere-se à leitura dos instantes de tempo no canto superior direito das imagens. Para realizar a leitura das posições, os alunos contaram quantos quadrados, e frações de quadrados, tinham desde a origem até a posição de referência na bola (Figura 23). Esses valores eram registrados nas colunas x (quad) e y (quad) na unidade “quadrados”. As colunas seguintes, x (m) e y (m), seriam as posições convertidas para metros, adotando 0,0185 m como o valor (da aresta) de um quadrado. Apesar da menor divisão do quadriculado possuir de fato 0,02 m, a correção do valor foi necessária para compensar a paralaxe existente na filmagem realizada, uma vez que a distância da filmadora ao quadriculado é maior que aquela entre ela e o trem. Como apresentado por Maidana et al. (MAIDANA, FONSECA, *et al.*, 2016), sem essa correção de paralaxe o valor medido para a aceleração da gravidade fica consideravelmente discrepante do valor real, o que chamaria a atenção dos estudantes.

Tabela 1: Primeiros dados de tempo e posições lidos das imagens do Conjunto 1.A e exemplo de velocidade calculada.

n° do quadro	t (s)	Sx (quad)	Sy (quad)	Sx (m)	Sy (m)	Vy (m)
1	0,021	5,2	2,5	0,096	0,046	
2	0,040	6,5	5,2	0,120	0,096	2,70
3	0,058	7,8	7,9	0,144	0,146	

Coletados os dados de posição e tempo é possível construir um gráfico para cada uma das direções. A planilha eletrônica permite que seja ajustada uma linha de tendência aos pontos plotados, fornecendo assim uma função horária que representa adequadamente o movimento em cada direção.

A Figura 35 mostra os gráficos de posição construídos a partir dos dados extraídos dos quadros. A linha indica o ajuste feito pelo programa de planilhas computacionais, bem como as respectivas funções horárias geradas.

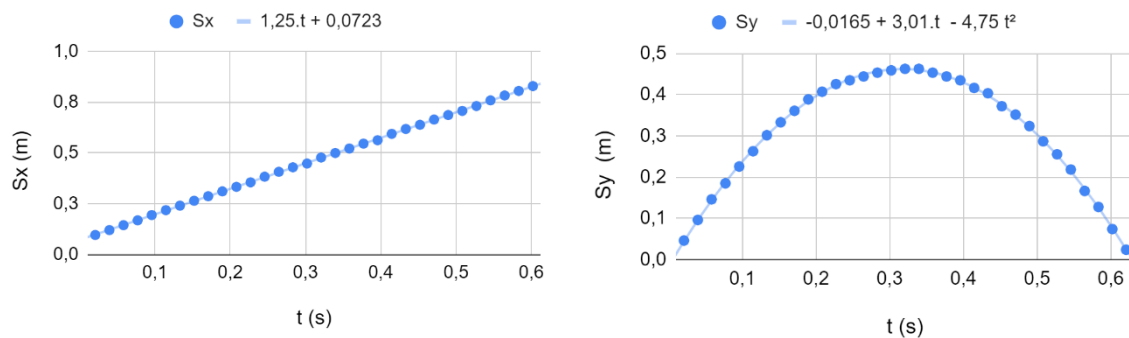


Figura 35: Gráficos das posições horizontais e verticais em função do tempo. A equação acima do gráfico corresponde à função que melhor se ajusta aos pontos plotados.

Além disso, é possível calcular a velocidade vertical V_y da bola a cada instante a partir dos dados de posição S_y e usando a equação:

$$V_{y,2t_{\text{médio}}} = \frac{(S_{y3} - S_{y1})}{(t_3 - t_1)} \quad (11)$$

Onde o sub índice 1 e 3 indica o número do quadro em estudo e $V_{y,t_{\text{médio}}}$ a velocidade V_y em um instante médio e assim para as demais posições e tempos medidos.

A velocidade média nesse intervalo de tempo é, com boa aproximação, igual à velocidade instantânea no tempo médio t . Por isso, o instante médio correspondente a essa velocidade pode ser calculado usando a equação

$$t_{\text{médio}} = \frac{(t_2 + t_1)}{2} \quad (12)$$

É possível construir o gráfico para a velocidade V_y e ajustar sua função correspondente como mostra a Figura 36.

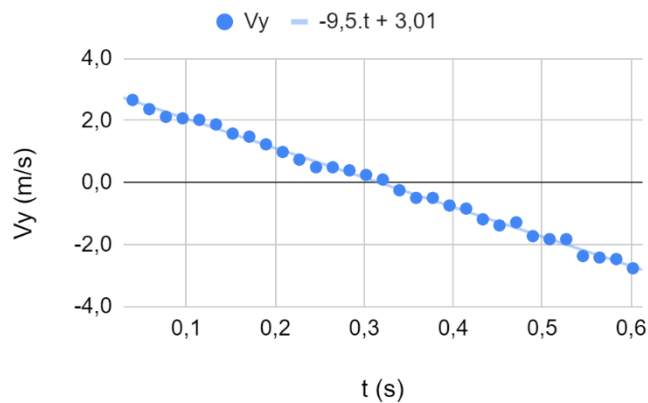


Figura 36: Gráfico da velocidade vertical da bola em função do tempo.

As funções apresentadas em todos os gráficos correspondem a ajustes dos parâmetros de uma parábola que descreve as posições, realizado pelo algoritmo da planilha eletrônica segundo o método dos mínimos quadrados. As funções horárias ajustadas para as posições horizontal e vertical em função do tempo e para a velocidade vertical em função do tempo são dadas por:

$$S_x(t) = 1,25t + 0,0723 \quad (9)$$

$$S_y(t) = -0,0165 + 3,01t - 4,75t^2 \quad (10)$$

$$V_y(t) = -9,5t + 3,01 \quad (11)$$

Uma vez que já haviam sido trabalhadas tais funções, é possível estabelecer um paralelo e posterior aplicação da teoria já conhecida àquela situação real, sendo possível, com o ajuste das funções horárias das coordenadas, estimar as velocidades iniciais vertical (V_{oy}) e horizontal (V_{ox}) da bola: $V_{ox} = 1,25$ m/s e $V_{oy} = 3,01$ m/s. Outra análise possível é a

identificação do valor da aceleração da gravidade a partir da função horária da velocidade na direção vertical ou da função horária referente à posição vertical. Comparando as equações (10) e (7) nota-se que o valor $-4,75$ corresponde à metade do valor da aceleração da gravidade, de modo que, no caso desse conjunto de quadros analisados, ela seria aproximadamente $9,5 \text{ m/s}^2$.

No roteiro é orientado também que se represente em uma figura o vetor velocidade da bola no instante de lançamento, no ponto mais alto da trajetória e quando retorna à chaminé (Figura 37).



Figura 37: Representação do vetor velocidade \vec{v} da bola em 3 instantes diferentes.

No gráfico da velocidade vertical a bola possui velocidade nula no momento de inversão do movimento, portanto, na representação da figura só deve existir o desenho de um vetor velocidade horizontal.

A finalização da análise do experimento requer uma síntese que justifique, a partir da análise dos dados, gráficos e dos conceitos físicos envolvidos na decomposição do movimento no lançamento oblíquo, porque a bola retorna para a chaminé do trem após seu lançamento. Era esperada a elaboração de um relato consistente que contivesse uma reflexão do estudo realizado (item 14 do roteiro). Foram propostos também mais dois itens complementares opcionais, que solicitavam o cálculo do ângulo de lançamento da bolinha com a horizontal quando visto desde um referencial em repouso e outro que propunha uma reflexão acerca do que aconteceria se a bolinha fosse lançada em uma direção não perpendicular ao movimento do trem (itens 15 e 16 do roteiro).

As atividades que serão posteriormente apresentadas tiveram-no como ponto de partida o desenvolvimento de diferentes habilidades principalmente no que diz respeito à investigação. Nessa abordagem, o aluno se envolve na exploração de uma situação real que o leva a fazer perguntas, descobertas, realizar testes e buscar novas compreensões permite que ele desenvolva certas habilidades em relação ao seu conhecimento teórico e experimental (PSYCHARIS, 2008). Dessa forma, o MEXI estaria em condições de

proporcionar o estudo de uma situação real onde questionamentos poderiam ser levantados e metodologias de análise pudessem ser desenvolvidos. No entanto, era necessária uma readequação em seus roteiros instrutivos de modo a permitir que os estudantes pudessem inserir suas reflexões. Mais que isso, os experimentos do MEXI pautam-se, no seu processo de análise, em modelos da mecânica amplamente reconhecidos, de modo que esse fato deveria ser reconhecido por parte dos estudantes quando eles passarem a propor seu próprio encaminhamento investigativo.

Capítulo 3

Iterações

Um dos conteúdos centrais no currículo do ensino médio, em especial no primeiro ano, é o estudo do lançamento oblíquo. Trata-se de um assunto abrangente que possibilita o estudo de movimentos bidimensionais, permitindo uma retomada de movimentos sem aceleração e com aceleração constante. O lançamento oblíquo ideal de um ponto material através do ar com aceleração vertical constante, ignorando a resistência ao movimento, é um modelo teórico da mecânica clássica muito usado para representar corpos que se deslocam nas proximidades da Terra. Esses lançamentos, que proporcionam experiências visuais e sensoriais do fenômeno físico, são fáceis de reproduzir em diferentes condições (o que favorece a abordagem tanto experimental quanto teórica da cinemática e a dinâmica envolvida no movimento), permitindo o desenvolvimento de habilidades características do fazer científico. Por esse motivo, a apresentação desses tópicos nas aulas são sempre um desafio para os professores que buscam de forma recorrente novas estratégias de ensino.

A partir da demanda dos professores acerca desse conteúdo e associando-se o recurso do laboratório online, iniciou-se o desenvolvimento de uma proposta que pudesse servir de apoio para os professores. Para tanto, o grupo de pesquisa responsável por elaborar os experimentos do MEXI em parceria com professores do ensino médio do Colégio Santa Cruz, selecionou o experimento Velocidade Relativa – Trem, do site do MEXI (descrito no [item 1 do Capítulo 2](#)), como primeira tentativa de identificar as reais dificuldades que o estudo dos lançamentos oblíquos apresentava. Juntamente a isso buscava-se oferecer o MEXI como um ambiente de aprendizagem que pudesse desenvolver outras habilidades relacionadas às ciências da natureza.

Como movimento inicial, os roteiros do experimento online, que até então eram usados em cursos de graduação, foram adaptados para o Ensino Médio. Toda a concepção das atividades seguintes passaria por um processo de reformulação, sofrendo adaptações constantes a cada nova aplicação.

A continuidade de ajustes que foram sendo feitos foi influenciada por alguns preceitos da metodologia iterativa DBR, descritas no [Capítulo 1](#). A cada movimento de ajuste foram

necessários apoios de diferentes referenciais (princípios do *design*), que fossem adequados à estratégia adotada. Mais que isso, todas essas iterações ao longo dos anos permitiram se obter e defender uma proposta promissora para aplicação de sequências investigativas no ensino médio.

3.1. A física do lançamento oblíquo (2018)

A primeira aplicação aconteceu no ano de 2018 a partir de reflexões a respeito dos experimentos que vinham sendo propostos no laboratório online MEXI. Ela se deu no período de uma aula de Física, com duração de 75 minutos, e no ambiente do laboratório computacional daquele colégio. A disciplina de Física possuía duas aulas semanais e o conteúdo apresentado para os alunos durante esse ano letivo era basicamente a mecânica newtoniana. Os alunos realizaram as atividades em duplas seguindo um roteiro instrutivo fornecido no início da aula ([Anexo 1](#)).

A atividade iniciou-se com a análise do experimento do Trem, acessado pelo site do MEXI. A proposta ocorreu após os alunos iniciarem seus estudos acerca do movimento oblíquo, de modo que já teriam conhecimento acerca da composição de movimentos e da necessidade de se dividir essa situação em duas direções para se fazer um estudo mais apurado.

3.1.1. O experimento do trem

Inicialmente foi feita uma explicação sobre o método de criação de uma experiência com imagens e como era possível se obter posição e tempo a partir de um conjunto delas. Além disso, foi necessário que os alunos compreendessem o potencial do quadro e como uma única imagem poderia ter aquela carga de informações, principalmente em relação ao quadriculado existente por trás dos objetos. Saber que aquela referência seria a orientação essencial para se extrair dados de posição era um primeiro indicativo de como poderia se dar o início da coleta de dados. Sobre o tempo estampado nos quadros, também foi feita uma explicação sobre a maneira como o movimento foi filmado e quais as características do tipo de filmagem. Dessa forma, esclareceu-se como os alunos poderiam obter uma posição específica para a locomotiva e a bola em cada instante de tempo.

O trabalho dos alunos se deu seguindo a proposta geral descrita [no item 1 do Capítulo 2](#), de modo que os objetivos a serem atingidos com cada uma das etapas do experimento resumiu-se no Quadro 5:

Quadro 5: Objetivos gerais e específicos do experimento do Trem.

Objetivo geral: reconhecer o potencial de análise de movimentos reais a partir do uso de recursos computacionais.		
Etapas da atividade	Objetivos específicos	Duração da atividade
1. Assistir ao vídeo do movimento	Identificar a partir do vídeo real que se trata de um lançamento oblíquo com movimentos distintos na direção horizontal e vertical.	1 aula (75 minutos)
2. Classificar o tipo de movimento		
3. Realizar a leitura das imagens no site	Usar instrumentos de medida e fazer estimativas na leitura de posições lineares.	
4. Calcular a velocidade da bola em função do tempo	Tratar os dados coletados e efetuar cálculos de velocidade.	
5. Construir os gráficos	Facilitar a identificação dos valores calculados de velocidade em função do tempo por meio de gráficos.	
6. Analisar as funções horárias	Extraír grandezas das funções ajustadas aos gráficos construídos.	
7. Representar vetorialmente	Reconhecer e representar o tipo de movimento em cada direção por meio de vetores.	

Para a tomada e arquivamento inicial dos dados, foi feita uma breve capacitação para que os alunos pudessem executar seus cálculos na planilha. Essa instrução era necessária para garantir que todos os alunos iniciariam a análise do experimento igualmente capacitados acerca da ferramenta de cálculos. Realizado esse nivelamento os alunos passaram a seguir, por conta própria e sem interrupções por parte dos professores, o roteiro com questões que deveriam ser respondidas, tomando como base o resultado de suas análises.

Nesse ano, a tarefa foi entregue pelos alunos em papel, com as respostas no roteiro ([Anexo 1](#)). A resposta sobre o porquê de a bola retornar para a chaminé do trem deveria ser percebida pelos alunos retomando as análises realizadas ao longo de toda atividade. Mais que isso, esperava-se que responder a esse questionamento seria uma maneira de ver o experimento com um propósito maior, que o contextualizasse em meio aos exercícios teóricos que eles já vinham resolvendo nas aulas.

O método de análise dos relatórios dos alunos será apresentado no [Capítulo 4](#), no entanto as constatações feitas levaram a algumas adaptações da atividade para o próximo ano.

O contexto educacional de 2019 apontava para uma crescente necessidade de reformulação da estrutura curricular, em especial no que diz respeito ao Ensino Médio, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) abria novas perspectivas para a formação dos estudantes, procurando meios de torná-los mais atuantes no seu processo formativo. A reflexão sobre essa nova estrutura indicava que as atividades poderiam adquirir um caráter mais investigativo, dando margem para que os alunos tivessem um espaço maior de atuação sobre os novos conteúdos de aprendizagem.

3.2. O trem como um problema investigativo (2019)

Os referenciais investigativos abordados no [Capítulo 1](#), em especial a proposta defendida por Pedastea e colaboradores (PEDASTEIA, MÄEOTSA, *et al.*, 2015), na qual os alunos se envolvem na exploração de uma situação real que o levam a fazer perguntas, descobertas, realizar testes e buscar novas compreensões permitindo que desenvolvam certas habilidades em relação ao seu conhecimento teórico e experimental (PSYCHARIS, 2008), valorizando as etapas do processo investigativo (TRAN, NGUYEN, *et al.*, 2014) e valendo-se de orientações que direcionem o trabalho dos estudantes (LAZONDER e HARMSEN, 2016), foram tomados como base para que a iteração de 2019 passasse por algumas adaptações e complementações, trazendo uma abordagem investigativa para a aplicação de 2018.

3.2.1. O simulador de lançamentos

A aplicação desse ano foi dividida em três partes, sendo que na primeira os alunos realizaram a mesma atividade de 2018, com o estudo do movimento da bola lançada desde a chaminé do trem; na segunda parte o experimento online foi ampliado com uma atividade complementar e, na terceira parte foi proposta uma situação similar onde as habilidades desenvolvidas poderiam ser aplicadas. A primeira parte foi mantida como no ano anterior, com o intuito de instruir os alunos quanto ao uso do computador e aplicar os conceitos físicos envolvidos no estudo do movimento.

O fato de a atividade ser realizada em um ambiente externo às aulas de Física, no curso do laboratório de Ciências, trouxe um dificultador a mais, isso porque muitas vezes os alunos são resistentes ou não se sentem confiantes a usarem conceitos vistos no curso de Física em outras disciplinas. Apesar dessa dificuldade esse fato tornou-se um desafio ainda mais

interessante por oferecer um ambiente para, além de colocar em prática os conhecimentos aprendidos, explorar novas ferramentas investigativas. Outra diferença em relação ao contexto é que no primeiro ano a atividade foi realizada apenas no período de uma aula de 75 minutos, enquanto no segundo ano se desenvolveu ao longo de 3 (também de 75 minutos).

Dadas as novas condições, dessa vez a proposta focou-se em algumas particularidades que não haviam sido atentadas anteriormente. O Quadro 6 resume os objetivos de cada uma das duas novas partes acrescentadas em 2019 e que serão mais bem descritas na sequência. A etapa inicial se manteve como consta no Quadro 5.

Quadro 6: Objetivos gerais e específicos da segunda parte da sequência.

Objetivo geral: reconhecer o potencial de análise de movimentos reais a partir do uso de recursos computacionais e aplicar esse conhecimento na construção de um simulador de movimento.	
8. Construir o Simulador	Usar as funções ajustadas para construção de um gráfico de posição vertical em função da posição horizontal que represente a trajetória da bola.
9. Testar o Simulador	Constatar a variação do alcance e da altura máxima da bolinha quando as velocidades são alteradas.
10. Responder: Qual o ângulo de lançamento da bolinha em cada referencial?	Verificar que no referencial da locomotiva o ângulo de lançamento da bolinha é de 90° e que para um observador no referencial fixo ela descreve uma trajetória parabólica com um ângulo de lançamento agudo.
11. Responder: Por que a bolinha volta para a chaminé?	Constatar que as velocidades horizontais da bolinha e da locomotiva são as mesmas.

2ª aula (75 minutos)

A partir dos ajustes das funções obtidas na primeira parte da atividade (itens de 1 a 7 no Quadro 6), foi solicitado que obtivessem as grandezas envolvidas no movimento como posição inicial, velocidade em ambas as direções e aceleração. Assim, foram necessárias reflexão e percepção que se tratava das mesmas equações já estudadas nos movimentos uniformes e variados, no entanto agora em termos típicos da matemática. Essa transposição entre matemática e física, apesar de parecer trivial foi motivo de bastantes dúvidas por parte dos alunos. A mudança de letras na equação (detalhado na [seção sobre MRU e MRUV](#)) ou o simples inverter a ordem das funções gerou um desconforto considerável neles e uma dificuldade de compreensão de um conceito que aparentemente já era conhecido. Novamente aqui retoma-se o fato de atividade ter sido realizada em um contexto que não era uma aula de Física propriamente dita, o que fazia com que os alunos tivessem uma resistência maior

a buscar os conhecimentos que já tinham adquirido nessas aulas para reconhecer nas funções ajustadas as mesmas já vistas.

Na segunda aula da sequência, após uma retomada sobre como a atividade anterior havia sido finalizada, foi sugerida a construção de um simulador de movimento a partir das funções horárias de posição das direções vertical e horizontal obtidas na primeira parte. O gráfico dessas duas posições (vertical em função da horizontal) representa a trajetória descrita pela bola e é o que será chamado de simulador, posteriormente ele será usado como uma potente ferramenta investigativa em um problema a ser proposto.

Era importante apresentar para os alunos que era possível construir um gráfico da trajetória da bolinha a partir das posições lidas nos quadros, no entanto, o objetivo do simulador era obter a trajetória da bolinha sob quaisquer condições, ou seja, simular o movimento caso o trem tivesse uma velocidade diferente ou ainda se a bola saísse da chaminé com outra velocidade vertical. A partir das funções nos itens 5 e 6 do Quadro 5, era possível reescrever as mesmas posições da bola lidas nos quadros.

Foi sugerida uma planilha como a da Figura 38 para que os dados medidos fossem organizados para as posições horizontal e vertical S_x e S_y , respectivamente, com t medido nos quadros.

S_{ox} (m)			t (s)	S_x (m)	S_y (m)	S_{xteste} (m)	S_{yteste} (m)
S_{oy} (m)							
V_x (m/s)							
V_{oy} (m/s)							
V_{xteste} (m/s)							
$V_{oyteste}$ (m/s)							
g (m/s ²)							

Figura 38: Modelo de planilha oferecido aos alunos.

A planilha foi disponibilizada de forma online de modo que os alunos podiam baixá-la e fazer seu preenchimento com os dados coletados por eles. As grandezas S_{ox} , S_{oy} , V_x , V_y e g que constam na planilha deveriam ser preenchidos com os valores extraídos das funções ajustadas na primeira aula. As grandezas “teste” representariam os valores a serem testados, ou seja, valores arbitrários que seriam usados ao se propor novas condições para o lançamento. Os instantes de tempo eram definidos a partir do tempo total de voo, que era possível de ser obtido assistindo ao vídeo do experimento. Foi requisitado que a trajetória tivesse no mínimo 15 instantes de tempo, dessa forma, a partir do tempo disponível no último

quadro do experimento e fazendo a divisão adequada, a primeira coluna era preenchida. As duas colunas seguintes, S_x e S_y , eram completadas a partir das correspondências estabelecidas em (4) e (9) e usando as grandezas obtidas nos ajustes dos gráficos e reescritas no espaço da planilha. Da mesma forma, as colunas S_{xteste} e S_{yteste} , no entanto ao escrever as funções horárias usavam-se as grandezas V_{xteste} e V_{yteste} .

Ao completar a tabela, os alunos construíam um gráfico da trajetória da bolinha, com as posições verticais S_y em função das posições horizontais S_x . No mesmo sistema de eixos era feito também o gráfico da trajetória teste. Com o simulador construído os alunos deveriam explorar as possíveis variações de velocidade e como elas interferiram na trajetória da bolinha e perceber que o simulador tinha um grande potencial investigativo que auxiliava na descrição de movimentos.

A Figura 39 ilustra uma possibilidade de teste de trajetória que o simulador possibilitava e que se esperava que os alunos realizassem. O conjunto de pontos azul retrata a trajetória real da bola vista no vídeo, a trajetória laranja refere-se àquela na qual o trem teve sua velocidade vertical alterada.

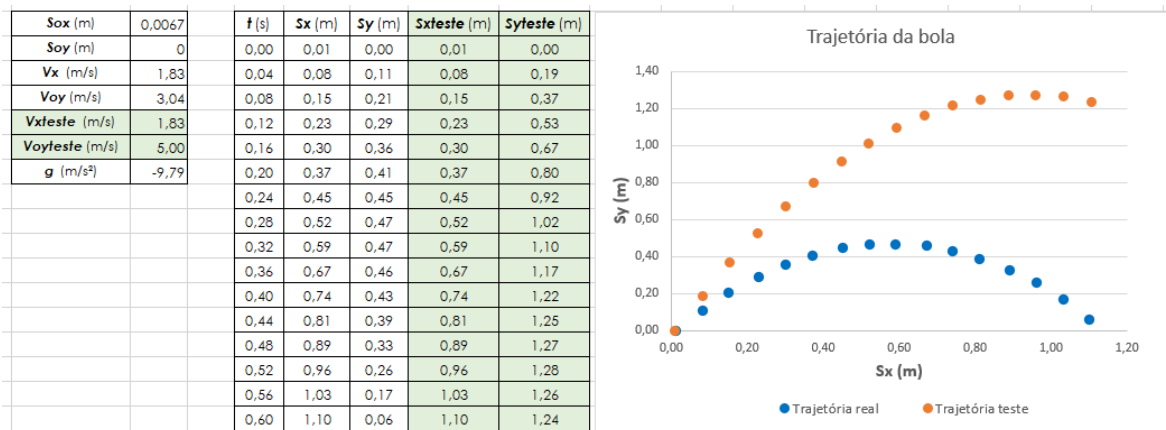


Figura 39: Exemplo de teste de trajetória usando o simulador e mantendo a velocidade horizontal

Nessa situação, a velocidade horizontal do teste coincidia com a velocidade real do trem, no entanto o valor da velocidade vertical era maior que a real. Dessa forma, a trajetória descrita pela bolinha era diferente e por isso a discussão sobre o que ela estaria representando, requereria uma atenção maior. Os alunos deveriam perceber que nesse caso, não observar a trajetória completa da bolinha indicaria que seria necessário mais tempo para o movimento acontecer, ou seja, se eles quisessem verificar a trajetória completa seria necessário inserir mais instantes de tempo no simulador.

No caso de manter a intensidade da velocidade vertical original, a discussão seria outra: a altura máxima atingida pela bolinha se manteria, mas seu alcance seria diferente, como mostra a Figura 40.

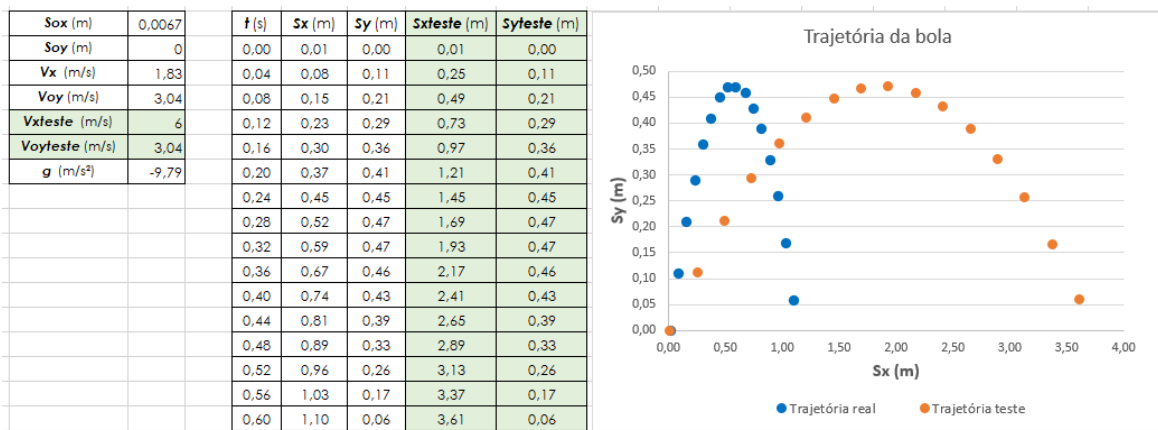


Figura 40: Exemplo de teste de trajetória mantendo a velocidade vertical. O conjunto de pontos azul retrata a trajetória real da bola vista no vídeo, a trajetória laranja refere-se àquela na qual o trem teve sua velocidade horizontal alterada.

No passo seguinte, eles deveriam questionar se a trajetória da bola, vista a partir do trem, era a mesma vista desde um observador em um referencial fixo. De maneira similar à primeira aplicação, eles deveriam também elaborar uma explicação para o porquê de a bolinha retornar para a chaminé. Esse questionamento teve uma pergunta complementar, que solicitava qual deveria ser o ângulo de lançamento no referencial do trem para que a bolinha descrevesse a mesma trajetória do vídeo. Todas essas reflexões foram propostas a título de introdução, visando capacitar os alunos a resolverem sozinhos um problema novo.

Uma vez que eles já estavam capacitados tanto em relação aos conceitos físicos quanto às ferramentas que poderiam auxiliar na investigação, como foi o caso do simulador propôs-se um problema envolvendo os mesmos conceitos e cuja resolução envolveria as habilidades já desenvolvidas.

3.2.2. Um problema fictício: O lançamento do Zezé.

Na terceira aula da sequência (item 12 do Quadro 6) foi proposto um problema com tom lúdico ([Anexo 3](#)) que recorria aos personagens do desenho Os Incríveis. O problema criado retrata uma situação na qual a Mulher Elástica viajava com seu bebê Zezé em um trem. Em dado momento o trem é atacado pelo vilão Síndrome. Na tentativa de salvar os passageiros do trem e ainda com Zezé em seu colo, ela leva a luta com seu adversário para fora do trem, em cima de um dos vagões com o trem ainda em movimento. Num ato imprevisível, e antes que o trem entre em um túnel, a Mulher Elástica lança Zezé para o alto,

nocautear seu oponente, que cai do trem, e ainda consegue recuperar seu bebê após a saída do túnel, sem usar seus poderes. A partir dessa cena, esquematizada na Figura 41, os alunos deveriam desenvolver estratégias para descrever qual foi a velocidade de lançamento de Zezé bem como a trajetória descrita por ele ao longo de seu movimento. O ideal era que essa descrição pudesse ser feita para qualquer velocidade de lançamento do Zezé, por isso foram fornecidas algumas condições iniciais:

Condições para resolução do problema:

Considere as dimensões do trem e do túnel, bem como suas distâncias, conforme o esquema abaixo.

Atenção! Você deverá definir a posição da Mulher Elástica sobre o Trem.

Defina um valor constante para a velocidade do trem entre 90 km/h e 270 km/h.

O trem está prestes a entrar numa sequência de túneis. Zezé deve ser lançado antes do primeiro túnel e recolhido antes do próximo túnel.

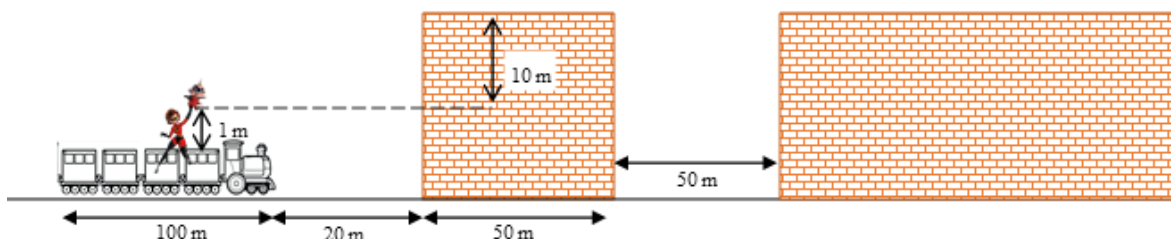


Figura 41: Esquema para o problema aberto onde aparece a Mulher elástica com o bebê e as dimensões impostas no problema.

A fim de obter algum material que pudesse servir de verificação da compreensão dos alunos, foram feitas algumas solicitações que organizassem as estratégias de investigação desenvolvida. Nesse tipo de problema é importante que levantem questionamentos antes de iniciar o processo de resolução. Perguntas importantes que poderiam auxiliar seriam: *de qual posição do trem a mulher lançará o Zezé? Em qual posição, entre os dois túneis, ele deve cair? Qual o melhor sistema de referências? Quanto tempo o Zezé demora para descrever sua trajetória?*

Ao final da resolução do problema os alunos recebiam uma solicitação em forma de tópicos. Essas orientações, listadas abaixo, serviam para direcionar a discussão a ser realizada e não deveriam ser respondidas individualmente, mas juntas auxiliar a composição do relato:

– Apresente os questionamentos levantados antes de iniciar a resolução do problema;
– Construa o simulador do movimento descrito pelo Zezé. Lembre-se que o simulador deve possibilitar que os professores testem suas respostas (será entregue como uma tarefa no ambiente online da disciplina).

– Elabore uma discussão baseada nos resultados simulados na planilha computacional.

Importante: Sua discussão deve conter necessariamente a função horária da posição do Zezé em cada direção (vertical e horizontal), bem como o seu ângulo de lançamento para uma pessoa que vê o movimento de Zezé desde o chão. Faça um esquema da situação com as posições, velocidade do trem e a velocidade de lançamento.

Dentre as diversas maneiras de resolução do lançamento do Zezé, procurou-se deixar claro para os alunos que o objetivo da atividade não era resolver o problema de maneira algébrica, escrevendo-o com números definidos, mas sim retomar as habilidades desenvolvidas na construção do simulador de trajetória da bolinha e criar algo semelhante para o movimento do bebê. Para os alunos que compreenderam a questão, bastaria recorrer a planilha já construída e ajustar os valores de S_{ox} , S_{oy} e V_x .

No caso do lançamento do Zezé a primeira grande mudança em relação ao experimento do Trem é que agora as dimensões são outras. Enquanto o Trem do experimento com imagens se movimentava a uma velocidade inferior a 2 m/s, no novo problema o trem possui velocidade da ordem de km/h, o que indica que o tempo de duração do movimento precisaria ser ajustado.

O caminho natural seria inicialmente definir uma referência para o movimento, sua origem e a posição da mulher. Feito isso, o ideal seria escolher a velocidade do trem e a partir dela estimar quanto tempo Zezé levaria para chegar até uma posição segura entre os túneis. Esse cálculo só seria possível uma vez que os alunos já deveriam saber quais são as condições para que ele volte exatamente para a mesma posição vertical após o lançamento, visto que elaboraram a explicação sobre a bolinha retornar para a chaminé.

Definido o tempo de voo, a velocidade do trem (V_x) e as posições iniciais do movimento (S_{ox} e S_{oy}), o passo seguinte é estabelecer em quais intervalos de tempo seriam calculadas as posições S_x e S_y para que a trajetória pudesse ser construída. Os alunos deveriam então dividir o tempo total de voo em instantes sucessivos. Quanto maior o número de intervalos, mais pontos constariam no gráfico que representaria a trajetória. A partir desses valores era possível calcular as posições em ambas as direções, fazendo uso das

funções horárias do movimento uniforme e do movimento variado. No entanto, ainda existia uma incógnita que era o valor da velocidade vertical de lançamento do Zezé. A ideia era que essa velocidade fosse obtida através de testes no simulador, por tentativas, e não realizando cálculos.

Durante a investigação dos alunos e, a partir do momento em que conseguiam construir o simulador, era sugerido que eles acrescentassem ao mesmo uma função que representasse o túnel, facilitando a visualização da trajetória. A Figura 42 abaixo apresenta uma sequência de simulações possíveis, onde, no eixo das abcissas, estão representadas as posições horizontais e no eixo das ordenadas, as verticais.

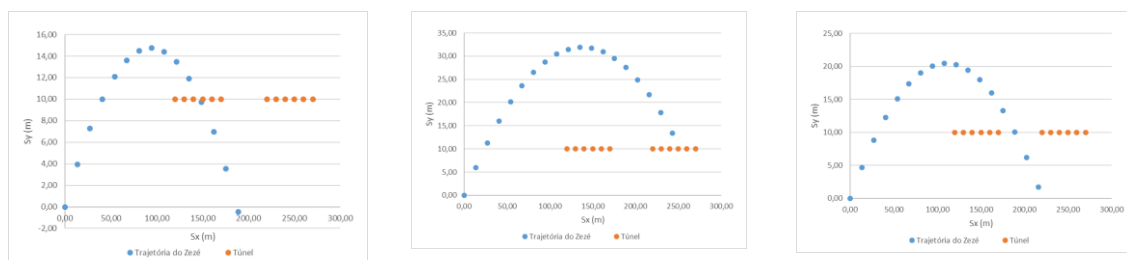


Figura 42: Testes possíveis para o movimento do Zezé. Os pontos azuis representam as possíveis trajetórias do Zezé e os pontos laranjas representam o túnel.

No teste inicial, o bebê não chegaria ao vão que há entre ambos os túneis, no segundo teste cairia sobre o segundo túnel no terceiro teste cairia numa região entre os dois túneis, dado que existe uma altura limite sob a qual ele deve passar. Os alunos foram alertados sobre esse fato e, portanto, deveriam levar em conta que a altura expressa no desenho é o mínimo para que não se bata na estrutura externa do túnel, dessa forma, pelo simulador é bem mais fácil identificar esse fato. Se a altura da estrutura externa do túnel é definida no valor 10 m, então a última posição horizontal deve ser, no limite de não bater, igual a posição do início do segundo túnel, pelo simulador bastaria verificar se o último ponto da trajetória coincide com o primeiro ponto do segundo túnel.

Uma vez dadas essas orientações, os alunos seguiram o seu processo investigativo elaborando uma discussão acerca do uso do simulador e como conseguiram, a partir dele, resolver o problema do Zezé. A sugestão para elaborar o trabalho era que iniciassem a resolução levantando alguns questionamentos que os direcionassem nesse processo. Apesar de terem sido solicitados alguns itens mínimos que a solução do problema deveria conter, a maioria dos alunos se deteve a isso não desenvolvendo uma discussão maior sobre o assunto. A partir da leitura das produções feitas foram definidos alguns tópicos que indicariam

possibilidades de êxito e compreensão da solução do problema. A metodologia avaliativa e os critérios que permitam verificar o nível de desempenho dos alunos em cada parte da atividade e as habilidades desenvolvidas ao longo dela serão apresentadas no [Capítulo 4](#), no entanto as constatações feitas levaram a algumas adaptações da atividade para o próximo ano.

De maneira geral, a análise das aplicações levou a reflexão sobre a necessidade de exploração de uma situação real que se mostrasse mais significativa para os alunos. A construção do simulador de lançamento do Zezé trouxe bons questionamentos acerca do movimento em estudo, no entanto era limitado no sentido de não necessariamente corresponder a um movimento que poderia ser validado na realidade. Essas questões foram um alerta para pensar se o modelo de lançamento oblíquo utilizado na resolução da proposta se mostrava válido, desenvolvendo-se então uma adaptação da proposta vigente, mantendo a coerência com a abordagem investigativa adotada.

3.3. Uma iniciativa de modelagem (2020)

Uma informação importante sobre a iteração de 2020 é que toda a sequência de atividades aplicadas nesse ano ocorreu de maneira totalmente remota por conta da pandemia do coronavírus. Mesmo dessa forma, as atividades continuaram sendo apresentadas no contexto do curso do laboratório de ciências. As aulas eram dadas de maneira online, pela plataforma zoom de videoconferência. Por conta de o tempo de 75 min ser muito extenso, a organização da escola optou por dividir as aulas online em duas modalidades: aulas ao vivo (videoconferência) e aulas gravadas (disponíveis nos links dos [Anexos](#)). No caso das aulas de laboratório essas modalidades de aulas eram revezadas a cada semana, de modo que quando a aula era gravada os professores deixavam uma orientação em vídeo para que os alunos assistissem e pudessem realizar a tarefa ao longo da semana. Nos dias com aulas ao vivo esse tempo era usado para discussão dos resultados obtidos com os alunos.

No caso do experimento online, todas as instruções acerca do uso de planilhas computacionais, que eram dadas nas aulas presenciais, tiveram que ser gravadas na forma de vídeos tutoriais para que os alunos conseguissem realizar as análises mais facilmente. O roteiro que nos anos anteriores era distribuído em papel foi entregue em uma planilha digital, de modo que tanto as instruções quanto as planilhas de cálculo se encontravam no mesmo

arquivo. Todo esse material era disponibilizado na plataforma online *Google Classroom*, que será melhor abordada na sequência.

3.3.1. *Google Classroom*

Com a pandemia do coronavírus em 2020 disseminou-se o uso da plataforma disponibilizada pelo Google chamada *Classroom*. Esse ambiente conta com um sistema que permite gerenciar conteúdos escolares, simplificando o processo de criação, distribuição e avaliação de trabalhos dos estudantes (GOOGLE, 2014). Ele permite a criação de salas de aula online, de modo que os alunos podem ser inscritos nela e assim receber todas as notificações que forem postadas pelo professor. A Figura 43 mostra a interface de um curso criado no *Google Classroom*.

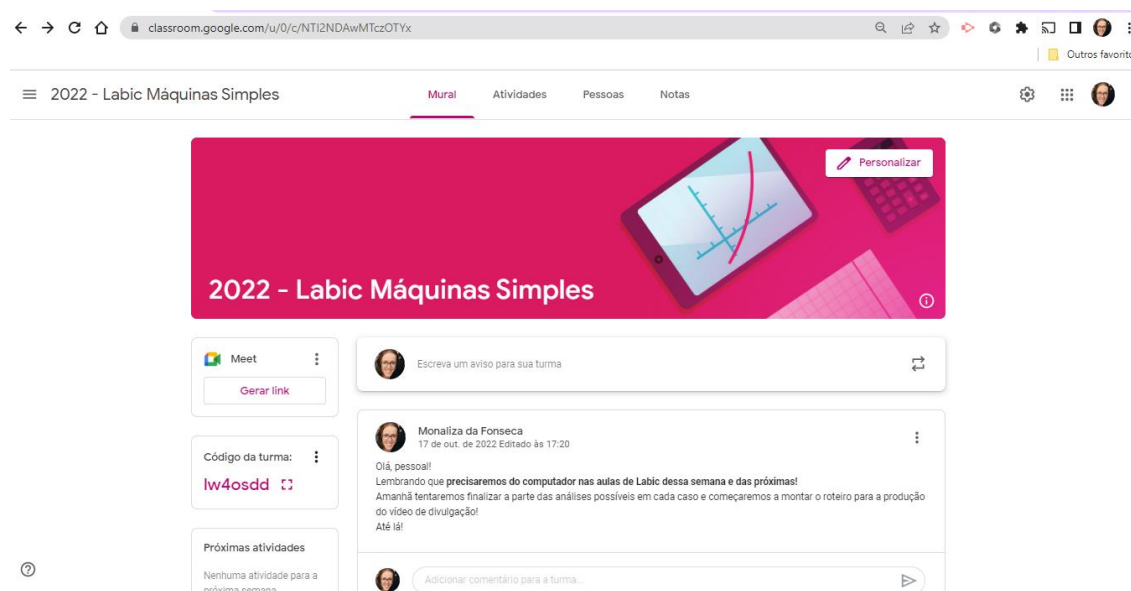


Figura 43: Interface principal de um curso criado no Google Classroom (GOOGLE, 2014).

O ambiente conta com um espaço chamado *Mural*, onde podem ser emitidos avisos que são recebidos instantaneamente via e-mail pelos alunos; outro para postagem de *Atividades*, que podem ser publicadas em diferentes formatos comportados pelo Google: arquivos doc, planilhas, formulários, pdfs etc; outro espaço denominado *Pessoas*, onde se encontra a lista de alunos e professores do curso e um espaço para *Notas*, onde a ponderação de todas as atividades é arquivada.

As atividades criadas pelos professores podem ser distribuídas individualmente para os alunos que estão inscritos no seu ambiente, de modo que cada um recebe uma cópia da orientação para realização da tarefa (Figura 44). A interface do programa permite que o

professor acesse o trabalho individual de cada aluno, acompanhando sua produção escrita simultaneamente.

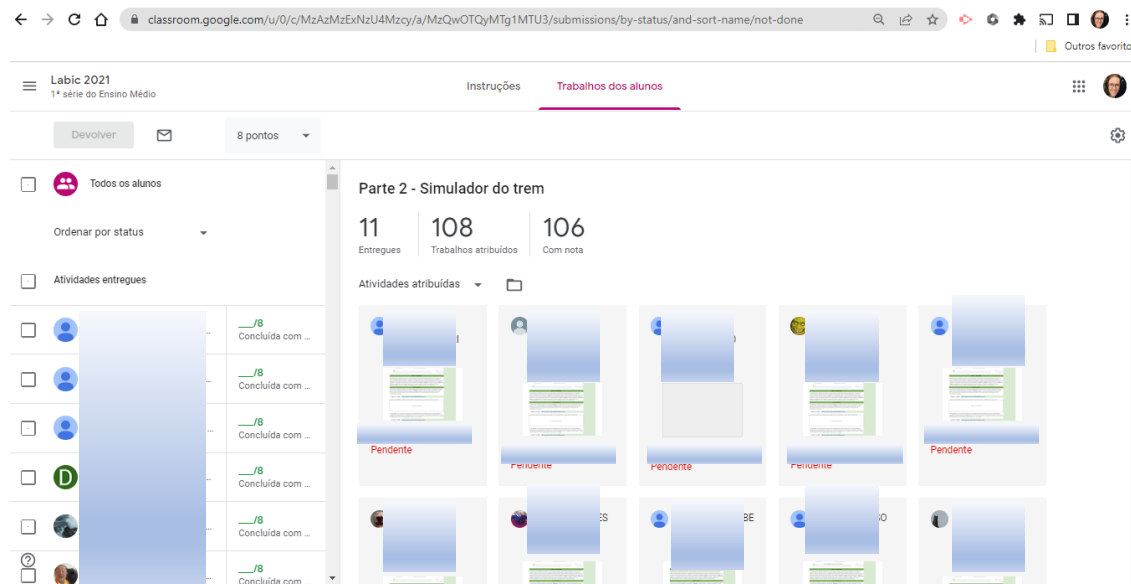


Figura 44: Distribuição individual de uma proposta de atividade.

A entrega dos arquivos para avaliação é realizada no mesmo espaço. O aluno posta seu arquivo resposta e seleciona a opção “*Entregar*”. Dessa forma o professor recebe uma notificação de que uma atividade foi entregue e está disponível para avaliação.

Uma ferramenta que vem a contribuir para esse processo avaliativo são as rubricas. Trata-se de uma seção onde o estudante pode acessar quais são os critérios que o professor levará em conta na correção. O *Google Classroom* permite o estabelecimento de critérios, definições e indicadores (MARCHETTI, 2020), como mostra a Figura 45. Nesse exemplo, o aluno teria clareza de quais seriam os critérios avaliados pelo professor e quais seriam os indicadores de exigência em cada um deles.

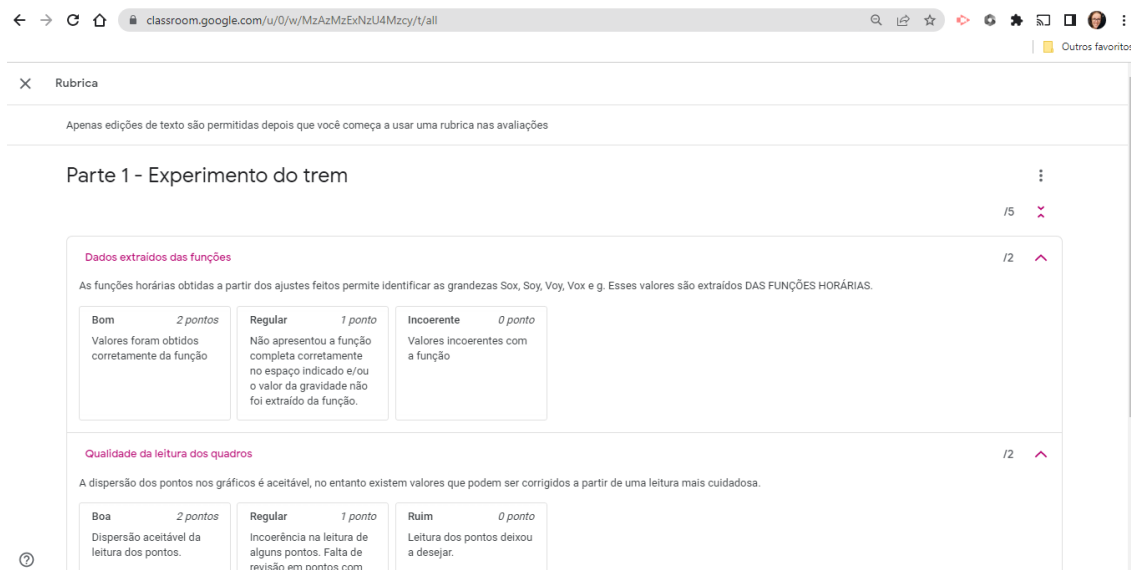


Figura 45: Exemplo de um critério com sua definição e três indicadores.

A interface de avaliação do professor apresenta as rubricas na lateral do trabalho entregue, como mostra a Figura 46:

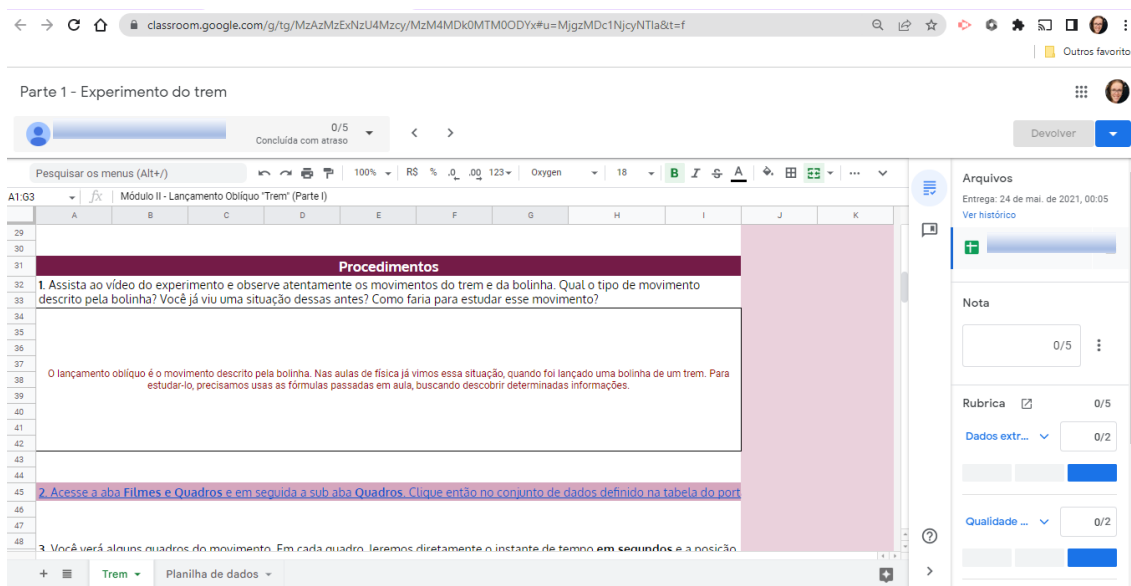


Figura 46: Interface para avaliação usando rubricas.

Essa disposição permite que a leitura da produção do estudante seja feita ao mesmo tempo em que uma rubrica pode ser selecionada. O *Google Classroom* permite que se associe um valor numérico a cada indicador, de modo que ao final o sistema computa uma nota, no entanto também é possível avaliar a atividade apenas com a definição das rubricas em texto.

O uso dessa ferramenta tem facilitado o processo de correção de muitos professores, uma vez que a indicação do que estaria satisfatório ou não na resposta do aluno pode ser sinalizado facilmente. Quanto mais detalhada for a rubrica elaborada, mais clareza o aluno terá daquilo que o professor espera na realização da atividade. É possível fazer observações por escrito no arquivo do aluno, selecionando partes do texto e criando comentários para indicar situações que devem ser revistas.

3.3.1. O lançamento nos esportes

A iteração de 2020 retomou as duas atividades realizadas em 2019: o estudo do movimento do trem a partir da leitura dos quadros e a construção de um simulador que permitisse verificar trajetórias diferentes para a bola quando o lançamento se dava em outras condições de velocidades de lançamento. A atividade de construção de um simulador para o lançamento do Zezé foi substituída por uma nova situação: o lançamento nos esportes, que buscava trazer uma contextualização diferente para o experimento do trem, aproximando os alunos de uma situação mais realista. O Quadro 7 resume os objetivos dessa terceira parte da sequência que será melhor abordada a seguir:

Quadro 7: Novos objetivos gerais e específicos da terceira parte da sequência.

Objetivo geral: reconhecer o potencial de análise de movimentos reais a partir do uso de recursos computacionais e aplicar esse conhecimento na construção de um simulador de movimento.		
12. Simulador de lançamentos	Aplicar o modelo usado para construção de um simulador de movimentos do trem em uma situação real de lançamento de dardo e no basquete	
13. Parâmetros do vídeo do lançamento	Extrair de um vídeo real de lançamento parâmetros como tempo de voo, posição inicial e final nas duas direções.	3ª aula (75 minutos)
14. Limitações do simulador	Reconhecer as limitações do modelo adotado na construção do simulador de lançamentos.	

Na terceira aula da sequência, cada aluno recebeu um vídeo de um trecho de uma competição de lançamentos de dardos no atletismo ou encestamentos de longa distância no basquete. A proposta se tornava mais desafiadora na medida em que deveriam levar em conta não só o lançamento do dardo ou da bola, mas também o fato de que, durante o lançamento, o atleta ou jogador, em geral, também está se movendo em relação ao solo. Os alunos

retomaram a lógica de construção do simulador do trem para construir um simulador para o lançamento do esporte atribuído. A investigação ia além, não usando apenas o simulador para reproduzir a jogada do vídeo, mas também para encontrar valores de velocidade que favorecessem o que seria um “lançamento de sucesso” em cada modalidade estudada.

O vídeo provocativo da atividade trouxe um movimento real em um cenário não controlado, tal como é o de um laboratório, o que tornou o processo de investigação ainda mais reflexivo. Foi sugerido que os estudantes fizessem um exercício de imaginação colocando-se como integrantes de uma equipe técnica do esporte e que gostariam de testar cenários para entender em que ocasiões são possíveis os melhores lançamentos, lembrando sempre que os objetivos de cada esporte são bem específicos.

Foi importante que inicialmente fizessem uma reflexão sobre as particularidades dessas novas situações físicas, de modo que o simulador construído fosse suficiente para prever possíveis trajetórias a partir de certas grandezas inerentes ao movimento do atleta. No caso do lançamento de basquete era possível ver no vídeo toda a jogada de preparação que possibilitou a cesta feita. No caso do dardo, o vídeo apresentava todo o trecho de corrida do atleta, o momento de seu lançamento e finalização atingindo o solo.

A partir da devolutiva da atividade de construção do simulador do trem e das observações feitas pelos professores acerca da potencialidade dos testes de velocidade para prever trajetórias, os alunos primeiro identificaram se a maneira com a qual o jogador do vídeo lançava a bola era a mesma maneira com a qual a bolinha saía da chaminé, por exemplo, conferindo se o atleta lançava a bola verticalmente para cima. A partir dessa análise era possível notar que, de fato, a bola era lançada obliquamente nos lançamentos de longa distância.

Outro fato interessante e possível de ser observado nos vídeos, quando assistidos em câmera lenta, era que os jogadores de basquete, após pularem, arremessavam a bola em algum instante próximo daquele em que atingiam a altura máxima de seu próprio pulo. Portanto, se um jogador, uma vez parado, pulava (lançando-se verticalmente para cima) e lançava a bola quando estava em sua altura máxima, a velocidade inicial da bola correspondia àquela conferida por seu próprio impulso. Por outro lado, se o jogador, uma vez correndo, pulava (lançando-se obliquamente para cima) e lançava a bola quando estava em sua altura máxima, a velocidade inicial da bola correspondia àquela conferida por seu próprio impulso somada com sua velocidade horizontal. Portanto, no encestamento de longa distância, e nos lançamentos de dardo, em geral precedido por uma corrida, era necessário

considerar no raciocínio a composição de velocidades, de modo que para a projeção horizontal do vetor velocidade inicial da bola de basquete era válido:

$$Vx_{B,S} = Vx_{B,A} + Vx_{A,S}$$

onde, $Vx_{B,S}$ é a velocidade horizontal da bola/dardo em relação ao solo, $Vx_{B,A}$ é a velocidade horizontal da bola/dardo em relação ao atleta e $Vx_{A,S}$ era a velocidade horizontal do atleta em relação ao solo. Ou seja, para essa análise os alunos deveriam fazer um paralelo entre o experimento do trem e o lançamento da bola de basquete ou dardo e também expandir sua análise identificando elementos não presentes no experimento da primeira etapa.

Um passo relevante na reflexão da proposta foi calcular ou estimar algumas grandezas a partir dos vídeos disponibilizados, de modo que elas compusessem os parâmetros do primeiro cenário de teste do novo simulador. Os estudantes deveriam notar que algumas grandezas possuíam valores oficiais e poderiam ser pesquisadas em fontes confiáveis, por exemplo, a altura média de um jogador de basquete ou dardo, o comprimento da quadra, a altura da cesta, o trecho de corrida antes do lançamento do dardo etc.

Nessa nova construção, os alunos definiram os instantes de tempo para o estudo, diferentemente do simulador do trem, no qual os instantes eram baseados nos tempos disponíveis nas imagens do experimento filmado. A ideia foi verificar, a partir do vídeo do encastamento real ou do lançamento do dardo, qual era a duração (tempo total de voo) do movimento da bola/dardo e, com esse valor, definir pequenos intervalos de tempos iguais para estudar a trajetória ponto a ponto. A quantidade de intervalos não foi previamente definida pelos professores, ficando a critério dos estudantes escolher o número de pontos que lhe parecesse mais adequado para a construção da trajetória.

Ainda no simulador existiam outros parâmetros para se definir, como S_{0x} e S_{0y} , que eram as posições iniciais da bola de basquete ou do dardo, considerando a origem dos tempos no momento do lançamento (instante em que a bola/dardo abandona as mãos do jogador). Esses valores foram escolhidos pelos alunos a partir da definição de um sistema de coordenadas arbitrário, parado em relação à quadra de basquete ou à pista de lançamento. Algumas possibilidades de escolha de referencial estão representadas na Figura 47.

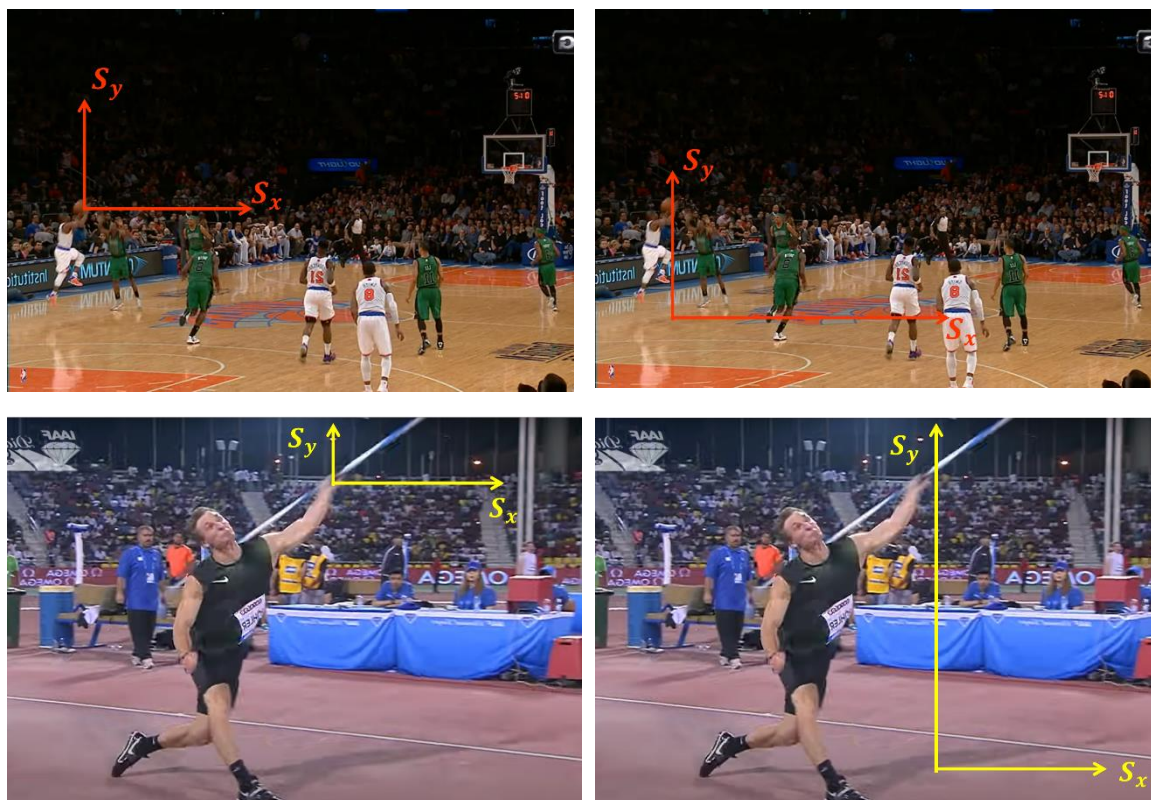


Figura 47: Sistemas de referência possíveis para estudo do movimento, onde estão representados sobre cada imagem os eixos da posição vertical em função da posição horizontal.

Nas imagens da esquerda os sistemas de referência escolhidos tinham origem na mão do atleta, no instante em que bola/dardo são lançados. Já nas figuras da direita o sistema de referência foi colocado no solo, de modo que a posição inicial horizontal (S_{ox}) continuava sendo nula, mas a posição inicial na direção vertical (S_{oy}) precisava ser estimada. Essa avaliação ficava a critério dos alunos que deveriam justificar a escolha feita para tal valor. Muitos definiram uma altura média para o atleta, pesquisando um valor mais realista. No caso do jogador de basquete, eles acrescentavam a esse valor alguns centímetros compatíveis com um salto médio dado pelo atleta.

Uma observação importante a ser feita sobre a escolha da referência diz respeito a como a trajetória era vista no simulador. Uma vez que a origem do sistema de referência era a origem da trajetória representada, foi necessário verificar qual a altura padrão de uma cesta de basquete para assim estabelecer um parâmetro de comparação e então identificar quando a bola a atingiu.

A Tabela 2 retrata um modelo de parâmetros escolhidos para o teste do simulador. A parte laranja da tabela retrata as estimativas de posição inicial para a bola, e as velocidades V_{xteste} , $V_{oyteste}$ e $V_{xatleta}$ foram os valores estimados para a construção da trajetória. Nesse simulador a origem do sistema de referência é posicionado no chão. A altura de lançamento

da bola foi estimada em 2,5 m uma vez que o jogador está saltando no momento do lançamento. A velocidade do atleta foi estimada a partir do vídeo, considerando o tempo e a distância estimada que ele percorreu até o lançamento. Levando em conta a altura padrão da cesta de 3,05 m, foram testados valores de velocidade $V_{oxteste}$ e $V_{oyteste}$ de modo a obter uma trajetória que superasse essa altura. O tempo máximo do movimento registrado no vídeo foi o parâmetro utilizado para escolha dos instantes de tempo que compõem o simulador.

Tabela 2: Parâmetros e dados obtidos para um lançamento arbitrário.

S_{ox} (m)	0	t (s)	S_x (m)	S_y (m)
S_{oy} (m)	2,50	0,00	0,00	2,50
g (m/s ²)	- 9,78	0,05	0,40	2,93
		0,10	0,80	3,34
V_x teste (m/s)	6,5	0,15	1,20	3,72
V_{oy} teste (m/s)	8,9	0,20	1,60	4,08
		0,25	2,00	4,42
V_x atleta (m/s)	1,5	0,30	2,40	4,73

A Figura 48 ilustra o simulador construído com os dados da Tabela 2.

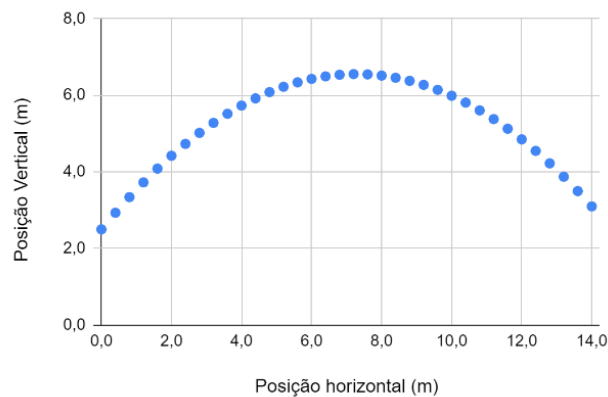


Figura 48: Teste de trajetória para a bola de basquete. A bola é lançada desde uma altura de 2,5m e atinge a cesta em 3,05 m.

A trajetória representada foi obtida após uma bateria de testes para as velocidades, cujo objetivo era, diante do lançamento observado no vídeo, obter valores otimizados dessas grandezas para garantir o encestamento. A velocidade horizontal foi testada de modo que, acrescida à velocidade de corrida do atleta no instante do lançamento, proporcionasse um encestamento a uma distância aproximada daquela vista no vídeo, que era estimada a partir

do tamanho padrão da quadra. Todos os dados referentes à quadra de basquete podem ser estimados tomando como base as dimensões padrão disponíveis em documentos oficiais do esporte (FIBA, 2020).

No caso do lançamento do dardo, o vídeo analisado trouxe uma informação a mais: sua velocidade resultante e o ângulo de lançamento. Com isso foi possível obter suas componentes horizontal e vertical, podendo-se usar diretamente a equação 5 ao se estimar a velocidade de corrida do atleta antes do lançamento. Uma observação importante a ser feita pelos alunos e que em geral se mostrava mais explicitamente nos vídeos do dardo era o fato de considerar o movimento na direção horizontal como sendo uniforme. Um exemplo desse fato pode ser visto na Figura 49 que retratou a trajetória do dardo vista no vídeo. Notou-se que no simulador, usando as velocidades fornecidas no lançamento, o alcance atingido por ele é em torno de 84,0 m quando na verdade, no movimento real do vídeo, ele alcançou 64,9 m.

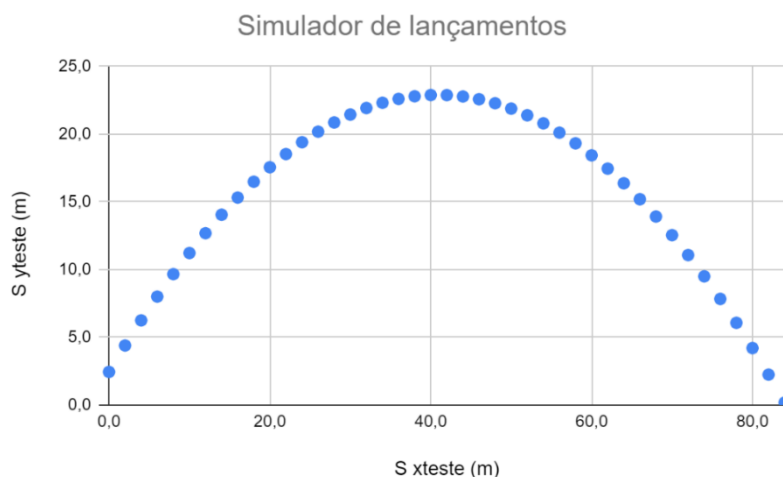


Figura 49: Simulação da trajetória do dardo vista em vídeo.

Uma vez realizando testes e reproduzindo a trajetória aproximada do vídeo no simulador, os estudantes tiveram que propor um lançamento com boas pontuações na modalidade esportiva em questão. No caso do basquete a sugestão foi considerar o jogador no centro da quadra realizando o arremesso, já no caso do dardo foi solicitado que pesquisassem recordes olímpicos e que tentassem estimar as velocidades que permitiriam aqueles alcances. Para tanto, foi necessário que esclarecessem os encaminhamentos adotados, destacando quais parâmetros foram levados em conta no raciocínio e explicitando como usaram o simulador para chegar às respectivas conclusões.

Além da construção do simulador, deveriam produzir um tutorial explicativo, na forma de um vídeo com uma gravação da tela do computador com o simulador em funcionamento, de modo que fosse possível ouvir a narração e explicação do aluno sobre como o simulador foi construído e como era operado. Essa opção de entrega permitiu avaliar a destreza e habilidade dos estudantes ao manusearem o simulador, explorando os efeitos que as mudanças sobre cada parâmetro e condição inicial provocavam na trajetória

Toda a produção foi analisada buscando identificar se as melhorias anteriormente pensadas foram bem recebidas e executadas por eles.

No [Capítulo 4](#) será apresentada a metodologia de análise adotada em cada uma das três iterações, apontando como essa verificação levou à modificação da atividade no ano seguinte.

Capítulo 4

Análise e discussão das iterações

A produção que aqui será analisada é fruto da aplicação de um conjunto de atividades que foram criadas e reformuladas ao longo dos anos. De maneira geral a primeira proposta ([A física do lançamento oblíquo](#)) buscou contextualizar o experimento do lançamento da bola desde a chaminé de um trem contido no site do MEXI. Análises realizadas ao final dessa aplicação mostraram que sua estrutura era deficiente em relação a certas habilidades esperadas de serem desenvolvidas pelos estudantes. Dessa forma, adaptou-se a proposta ([O trem como um problema investigativo](#)) para que no ano seguinte ela adquirisse um caráter investigativo. Com as adaptações feitas, a nova aplicação foi efetuada e os resultados apontaram para melhorias que, em especial, demandavam a compreensão da experiência como um modelo da mecânica ([Uma iniciativa de modelagem](#)). Será apresentado a seguir o processo avaliativo de cada iteração, destacando-se os princípios do *design* que fundamentaram a metodologia elaborada em cada uma e as modificações realizadas ao final delas.

4.1. Argumentos (2018)

A aplicação do primeiro ano teve como princípio do *design* a contextualização do uso das TDIC, uma vez que se adotou um experimento online do MEXI. Nele se via a necessidade de que os estudantes estabelecessem um paralelo entre conceitos físicos já conhecidos e a análise de uma situação real filmada, cujos detalhes foram apresentados no [Capítulo 2](#). Para avaliar a produção dos alunos, tomou-se como referência uma adaptação da estrutura argumentativa proposta por Toulmin e Lawson (LOCATELLI e CARVALHO, 2007), detalhado na seção [Argumentação do Capítulo 1](#), associando essas ideias ao âmbito da sala de aula.

A ideia dessa construção era, partindo da análise da resposta à pergunta inicial, desenvolver um argumento baseado em algum dado concreto conhecido, do qual poderiam ser levantadas hipóteses que permitam justificar a questão ou até mesmo refutá-la. Para a análise da produção dos alunos partiu-se dessa ideia para verificar se a construção

argumentativa produzida por eles continha elementos que demonstrassem algum conhecimento acerca do assunto, de maneira que se notasse uma articulação entre a atividade experimental e saberes teóricos anteriormente aprendidos, isto é, contextualizando aquele conhecimento teórico por meio de um argumento que respondesse ao questionamento prático.

4.1.1. Produção dos alunos

A aplicação, nos moldes apresentados, gerou muitos relatos, os quais serviram para uma análise inicial do conteúdo e qualidade da produção. Mesmo que não tivesse sido requisitado explicitamente aos alunos um argumento, seguindo os padrões dos gêneros textuais, foi possível identificar na resposta apresentada uma estrutura composta por alguns de seus elementos básicos. Os relatos escritos pelos estudantes sugeriam uma compreensão acerca do objetivo da atividade ao aplicar os conhecimentos teóricos que já possuíam à situação real proposta.

A Figura 15 apresentada por Toulmin e Lawson foi simplificada, organizando-se uma estrutura esperada para o relato do aluno. Assim, o argumento deveria ser composto de uma *evidência* que apontasse para a verificação de um entendimento da contextualização; de um *raciocínio* de resolução envolvendo a teoria do lançamento oblíquo e a situação real de lançamento da bola e de uma *conclusão* baseada nos dados que permitissem a resolução do problema proposto.

O Quadro 8 retoma as etapas anteriores explicitando como esses três itens estariam representados em cada uma delas.

Quadro 8: Etapas da atividade divididas segundo a classificação proposta.

Atividade	Classificação
1. Vídeo do movimento	Evidência
2. Classificação do movimento	
3. Leitura das imagens no site	
4. Cálculo da velocidade da bola em função do tempo	Raciocínio
5. Construção de gráficos	
6. Análise das funções horárias	
7. Representação vetorial	Conclusão
Questão: Por que a bolinha volta para a chaminé?	

Em relação à *evidência*, era esperado encontrar algo relacionado à aparência do lançamento, ou que evidenciasse características como lançamento oblíquo, movimento estudado sob dois referenciais, movimento na direção vertical e horizontal etc. Sobre o *raciocínio* desenvolvido, este deveria direcionar para a conclusão destacando a necessidade de separar o estudo do movimento em duas direções, nessa seção poderia haver menção de gráficos ou funções obtidas para auxiliar o desenvolvimento do entendimento. Deve-se notar que a construção do raciocínio já se iniciava na coleta de dados, uma vez que esse processo requeria a escolha de um sistema de referências e de pontos fixos na bolinha e na chaminé para proceder com as leituras. Na *conclusão*, a resposta ao problema deveria ser dada percebendo-se que a bola só cai na chaminé porque sua velocidade horizontal era a mesma do trem, no entanto esperava-se que essa afirmação fosse apresentada de maneira fundamentada, com dados que a justifiquem, levando-se em conta principalmente o desenho dos vetores velocidade.

Classificação dos relatórios segundo uma estrutura argumentativa

Durante a organização dos relatos, segundo os itens da segunda coluna do Quadro 8 (*evidência*, *raciocínio* e *conclusão*), notou-se que alguns dos estudantes esboçavam a conclusão de maneira correta, no entanto a justificativa se mostrava fraca. Eles não demonstravam cautela ao se explicar a igualdade das velocidades e explicitar que se tratava da velocidade na direção horizontal, dessa forma, foi criado o item *ambíguo*, para sinalizar esse tipo de conclusão.

Além da separação nos três itens, optou-se por destacar algumas conjunções que facilitassem o processo de classificação. Para identificar onde continha uma linha de raciocínio deu-se destaque para as conjunções explicativas “**que, porque, pois**”, e para identificar onde se desenvolvia a conclusão destacaram-se as conjunções conclusivas “**logo, pois, portanto, por isso, assim**”. Ainda no processo de análise dos argumentos, foram marcadas aquelas expressões que diferenciavam a velocidade resultante da velocidade horizontal da bola, visto que o primeiro termo poderia se referir a uma velocidade composta de velocidades em duas direções. Todos os destaques nas transcrições foram necessários para auxiliar na classificação. O Quadro 9 ilustra respostas de dois grupos de estudantes submetida à classificação descrita. A primeira linha destaca os três itens esperados

(evidência, raciocínio e conclusão), já na primeira coluna encontra-se um exemplo de relato com os destaques citados anteriormente. Durante a análise, o texto elaborado foi marcado com uma cor diferente para cada item, mostrando onde se entendeu que a escrita apresentada correspondia a um dos itens do argumento solicitado. Nas colunas seguintes, o X indica que aqueles itens foram contemplados.

Quadro 9: Exemplo de classificação de acordo com a divisão apresentada na Quadro 8, que analisa a produção solicitada.

	Evidência	Raciocínio	Conclusão	ambíguo
Resposta	Como é o lançamento? Características do movimento (lançamento oblíquo, dois referenciais)	Direciona para a conclusão se o movimento for separado em duas direções (V_x e V_y)	Perceber que a bolinha só cai na chaminé porque sua velocidade na horizontal é a mesma do trem.	Não diferencia o referencial da velocidade.
A trajetória da bolinha não é a mesma pois a referências são diferentes, ou seja, quando a bolinha vista do trem, o lançamento é vertical, porém, quando vemos pela margem, o lançamento é oblíquo. A bolinha foi disparada a mesma velocidade do trem, na horizontal dando V_x , função do trem. A velocidade acompanha o tempo de voo e o deslocamento de ambos é igual, por isso a bolinha retorna a chaminé.	x	x	x	
Estando no trem, o movimento da bolinha é de Lançamento Vertical, sendo que o trem que dá a ela a velocidade em x. Portanto, a bolinha volta a chaminé pois ela tem a mesma velocidade que o trem. Quando se está na margem observa-se um lançamento oblíquo.	x	x		x

A atividade proposta teve como resultado 124 relatos. A partir da leitura, transcrição e classificação segundo o padrão do quadro foi possível verificar a quantidade de alunos que

conseguiu desenvolver um raciocínio investigativo acerca da problematização feita. Percebeu-se que a proposta ainda se mostrou bastante limitada em relação ao desenvolvimento das habilidades reflexivas, no entanto, essa verificação prévia serviu de precursor para futuras análises decorrentes de uma aplicação reformulada.

Alguns relatos trouxeram elementos que não haviam sido previstos nos itens apresentados no quadro, isso porque essas ocorrências foram pontuais, não criando a necessidade de elencar mais um item para o critério de composição do texto apresentado. Dessa forma, quando surgiram respostas inesperadas, ou que surpreenderam pelo nível de abordagem do assunto, tais respostas foram assinaladas e separadas para realizar uma análise posterior mais apurada. Acredita-se que os três itens criados para avaliar a escrita dos alunos seriam suficientes para dar crédito à qualidade dessa produção. Numa aplicação posterior pensou-se em subitens, que tornassem a análise mais apurada, ou que levassem em conta a estrutura argumentativa adotada, verificando o número de explicações ou como eram estabelecidas as conexões entre as afirmações que desenvolvessem o raciocínio. A classificação adotada abrangia todas as produções, sendo que dentre essa contagem podiam existir equívocos como conclusões baseadas em dados incorretos, de modo que as correções nesses casos foram feitas de maneira pontual. O objetivo aqui é apresentar um número geral que engloba todas as respostas obtidas.

A categorização dos relatórios foi organizada segundo o gráfico da Figura 50, que resume a quantidade de alunos que apresentou cada um dos itens da classificação.

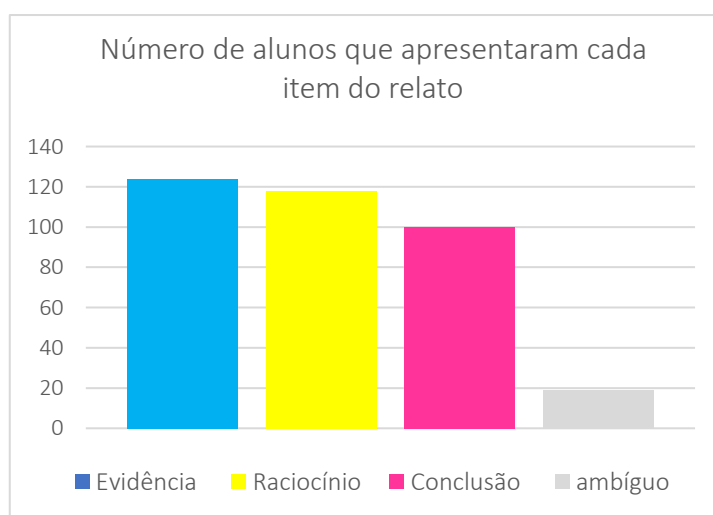


Figura 50: Gráfico com a distribuição da quantidade de alunos que apresentou cada um dos itens.

Todos os 124 relatos apresentaram a *evidência*. Desses, três citam o gráfico construído para complementá-la e um a apresenta juntamente com a conclusão. Com isso, pode-se afirmar que todos os alunos entenderam que o experimento estudado tinha relação com o movimento oblíquo e que por isso seria necessário retomar os fundamentos característicos desse tipo de movimento para dar continuidade às análises requisitadas.

Em relação ao *raciocínio*, 118 alunos desenvolveram uma linha de pensamento coerente para chegar às conclusões. A partir dos destaques feitos foi recorrente a presença de conjunções explicativas para auxiliar na fluidez das explicações. Nelas, notou-se a preocupação da maioria dos alunos em caracterizar a velocidade do trem na direção horizontal, visto que a bolinha apresentava velocidade tanto na horizontal quanto na vertical. Os 6 relatos que não apresentaram raciocínio trazem frases diretas, induzindo a conclusão sem justificativas. Alguns deles são apresentados no Quadro 10.

Quadro 10: Exemplos de relatos com raciocínio considerado insuficiente.

A trajetória da bolinha vista do trem não é a mesma vista da margem. Uma vez que o trem está em movimento e para quem está no trem, o lançamento aparenta vertical e para quem está fora do trem é um lançamento oblíquo. A bolinha foi disparada no mesmo momento que o trem começou a se movimentar, sendo assim a trajetória do trem o alcance da bolinha e a bolinha retorna para a chaminé após o lançamento.

A trajetória vista a partir da chaminé é um lançamento vertical, enquanto visto da margem é um lançamento oblíquo. A bolinha foi disparada verticalmente em relação ao trem. A função do trem é demonstrar que a bolinha cairá na chaminé.

Percebe-se nesses casos uma sequência de afirmações baseadas apenas na evidência do lançamento. A explicação dada para a pergunta central não traz nenhuma fundamentação, o que acabou por enfraquecer e tirar a credibilidade de uma possível conclusão.

Em relação ao item *conclusão*, 100 dos relatos estavam fundamentados de maneira aceitável, combinando o raciocínio apresentado com os dados coletados e as análises feitas. Esse número expressivo aponta para uma possível compreensão dos alunos em relação a aplicação da teoria aprendida com os dados obtidos desde uma situação real.

A aplicação de 2018 foi também analisada segundo o referencial do DBR, cujas observações serão apresentadas no item 5.1 do [Capítulo 5](#). Essas reflexões apontaram para uma necessidade de tornar a abordagem da atividade mais investigativa, oferecendo um espaço que valorizasse ainda mais o protagonismo dos estudantes. Em 2019 a proposta foi adaptada e os resultados avaliados segundo novos princípios do *design*.

4.2. Expressões e representações do Jogo da Cinemática (2019)

Na segunda aplicação foi necessário estabelecer um novo princípio do *design* para que os objetivos da proposta pudessem ser elaborados. O contexto educacional pelo qual o país estava passando fez com que as escolas buscassem se adequar à nova estrutura curricular, de modo que o princípio do *design* que se fez necessário nesse momento era a investigação. Apesar de usar o mesmo experimento online do ano anterior, a reformulação foi acrescida de um estudo complementar do movimento, retomando alguns conceitos físicos já relatados no [Capítulo 3](#) de modo a trazer ao experimento já realizado uma abordagem investigativa.

Como visto [no item 2 do Capítulo 3](#), a iteração desse ano foi realizada durante o período de 3 aulas. Nesse ano, a avaliação dos trabalhos dos alunos foi feita pautando-se em um novo marco analítico. Apesar de no ano anterior os alunos terem conseguido elaborar um argumento que respondesse ao questionamento acerca do movimento da bola que era lançada desde o trem em movimento, percebeu-se que havia uma questão na linguagem que era usada pelos estudantes e precisava ser verificada. Algumas expressões usadas poderiam ser interpretadas como não adequadas, mas se fosse levado em conta o contexto no qual estavam sendo utilizadas, estariam reportando um significado pertinente. Assim, recorreu-se aos estudos de linguagem propostos por Wittgenstein buscando estabelecer um jogo de linguagem para a cinemática, levantando termos e expressões citados e que dado o contexto estariam coerentes com a explicação elaborada.

4.2.1. Análise de expressões – Simulador de movimentos

A atividade foi realizada em duplas ou trios de alunos, de modo que foram avaliados 103 trabalhos. Retomando a ideia dos jogos da linguagem, foram verificados em um primeiro momento as expressões usadas pelos alunos para responder o que aconteceria com a trajetória da bola quando as velocidades V_x e V_{oy} eram alteradas ([Anexo 2](#)).

Seguindo o raciocínio proposto pelo filósofo, existiriam certas regras a serem seguidas dentro do jogo da cinemática, em especial ao que tange os lançamentos oblíquos. Esses conceitos e regras já foram expostos anteriormente e balizarão a análise da compreensão dos estudantes.

Dentre as perguntas que constavam no roteiro anexo algumas delas foram selecionadas a fim de verificar a maneira como a linguagem das ciências era usada para elaborar as explicações. Dessa forma, foi retomada a pergunta feita aos alunos, e a partir dela definidas algumas categorias que abarcassem as respostas mais frequentes apresentadas,

destacando-se aquela que melhor atenderia a “regra do jogo” e na qual foram contemplados os conceitos físicos envolvidos no movimento em estudo.

A partir do vídeo do movimento a seguinte questão deveria ser respondida: **qual o tipo de movimento descrito pela bola?** O comentário esperado para essa pergunta e que, portanto, se enquadraria no jogo, deveria diferenciar os tipos de movimento na direção vertical e horizontal, destacando a existência de aceleração na vertical e, portanto, um MUV e fazendo a ressalva que por estar sendo desprezada a resistência do ar na situação de lançamento da bolinha o movimento na horizontal seria do tipo uniforme. O Quadro 11 apresenta as categorias de respostas para essa pergunta.

Quadro 11: Categorias de respostas encontradas para a o tipo de movimento descrito pela bolinha.

1 – Lançamento oblíquo

2 – Movimento oblíquo

3 – MUV no eixo Y (movimento acelerado) e no eixo X a velocidade é constante (MU)

A grande maioria respondeu a opção 1, o que não estaria errado, mas um tanto incompleta se fosse feita uma análise mais rigorosa. Era importante que diferenciassem os tipos de movimento em ambas as direções, uma vez que em outros problemas, a resistência do ar poderia ser significativa a ponto de fazer com que o movimento não fosse uniforme na direção horizontal. Aqueles que responderam a segunda opção não se atentaram ao real fenômeno estudado. O termo “oblíquo” indicava que existe um ângulo entre o vetor velocidade e a direção horizontal do lançamento. Afirmar que o movimento era oblíquo poderia significar que a velocidade a todo instante teria esse comportamento, no entanto, existiam momentos em que essa velocidade era apenas na direção horizontal, dessa forma o uso dessa expressão não se mostrava adequada para a situação. No entanto, dado o contexto no qual o “jogo” acontecia e levando em consideração alunos de ensino médio, essa particularidade de interpretação e diferenciação das palavras “movimento” e “lançamento” não foi considerada como relevante, sendo, portanto, aceita como correta, porém incompleta, por conta da argumentação inicial. Por fim a opção 3, e menos frequente era a resposta ideal e que refletia uma boa compreensão do movimento em estudo.

Outra pergunta analisada fazia referência ao gráfico construído para as posições horizontais da bola em função do tempo: **qual o tipo de movimento na direção horizontal?** Os alunos deveriam justificar a partir dos pontos do gráfico qual era o tipo de movimento

descrito por ela. O Quadro 12 apresenta as categorias de respostas encontradas para essa pergunta

Quadro 12: Categorias de respostas encontradas para o tipo de movimento na horizontal.

1 – MU. O gráfico é linear.

2 – MU. Pontos variam uniformemente.

3 – MU. Reta na diagonal.

4 – MU. O gráfico forma uma reta crescente. Não há aceleração.

Nas respostas dadas a essa pergunta era possível identificar erros conceituais bastante sutis e outras expressões usadas que indicavam uma falta de apropriação da linguagem relacionada ao fenômeno físico. Na opção 1, quando justificavam o movimento dizendo que o gráfico era linear podia-se até pensar que estava sendo feita uma associação à reta, no entanto há de se pensar também que quando os alunos ajustavam a linha de tendência aos pontos dos gráficos esse tipo de ajuste, para o caso de retas, era chamado “linear”. Assim, se a resposta não apresentava um complemento não se podia afirmar se a compreensão estava de todo correta. Por outro lado, dizer apenas que o gráfico era uma reta diagonal (opção 3) refletia uma limitação na explicação, uma caracterização dessa reta qualificaria melhor o movimento, se era crescente (movimento progressivo) ou decrescente (movimento retrógrado), mas apesar disso essa foi a resposta mais frequente dentre os alunos. A opção 2 indicava que havia algumas regras que pareciam não estar totalmente claras dentro do jogo que envolvia os conceitos do lançamento oblíquo. Quando se observava o gráfico de posição e percebia-se que o distanciamento entre os pontos era aproximadamente igual, isso não significava que o movimento era uniforme, apenas que os quadros analisados foram escolhidos em instantes equidistantes uns dos outros. Se porventura tivessem sido escolhidos quadros em instantes de tempo dispersos, o gráfico formado seria uma reta crescente da mesma forma. Assim, esse tipo de resposta já apontava para uma incompreensão na interpretação gráfica das posições em função do tempo. A opção 4 era aquela que melhor refletia a compreensão e interpretação do gráfico, uma resposta equivalente estaria dentro das regras estabelecidas.

A pergunta seguinte fazia agora referência ao gráfico construído para as posições verticais da bolinha em função do tempo: **qual o tipo de movimento na direção vertical?** Os alunos deveriam justificar a partir dos pontos do gráfico qual era o tipo de movimento

descrito por ela. O Quadro 13 apresentava as categorias de respostas encontradas para essa pergunta.

Quadro 13: Categorias de respostas encontradas para o tipo de movimento na vertical.

1 – MUV. O gráfico não é linear.

2 – MUV. Pontos não variam uniformemente.

3 – MUV. Linha curva.

4 – MUV. O gráfico forma uma parábola. Há aceleração.

A análise dessa questão era bastante similar à anterior em relação à estrutura das respostas. Na opção 1 notava-se que foi apenas feita uma contraposição em relação ao que tinha sido respondido sobre o movimento horizontal, no entanto, apesar de naquele caso a expressão “linear” trazer alguma aceitação, em um caso de afirmar uma “não linearidade” as opções são muito variadas, o que já estaria indicando que não houve uma reflexão acerca das possibilidades que poderiam estar subentendidas ao se usar esse termo. A opção 2 trazia a mesma falta de especificação da questão anterior. Nesse caso muitos acharam que ao visualizar a parábola, o fato de alguns pontos, principalmente aqueles mais próximos do ponto de inversão, estarem mais próximos, seria indício de uma mudança na velocidade e, portanto, um movimento não uniforme. No entanto, a parábola que ajustava os pontos poderia ser obtida quer tivessem pontos equidistantes, quer não. A opção 3 também mostrava uma incompreensão acerca, principalmente, da interpretação gráfica. Um ajuste adequado claramente mostrava uma parábola, no entanto ainda se notava o receio de alguns alunos em usar tal palavra. Por fim, a opção 4 atendia a todas as regras, destacando que a parábola do gráfico era sinônimo de MUV, o que indicava que a velocidade não era constante e que, portanto, existia uma aceleração.

O gráfico construído para a velocidade vertical da bolinha em função do tempo também foi analisado. A questão “**o gráfico está acordo com o previsto?**” era mais uma verificação na qual deveriam justificar se o gráfico construído por eles estava de acordo com o que dizia a teoria. O Quadro 14 apresenta as categorias de respostas encontradas.

Quadro 14: Categorias de respostas para a verificação de compatibilidade do gráfico da velocidade vertical V_y em função do tempo.

1 – Sim. Diagonal decrescente.

2 – Sim. A velocidade diminui conforme o tempo passa.

3 – Sim. Reta decrescente com inversão de sentido.

As opções de respostas eram bastante semelhantes, no entanto em cada uma havia detalhes que podiam ser mais bem abordados. Na opção 1, retomava-se um problema já apresentado que era tratar a reta como uma diagonal, valendo aqui da mesma interpretação já feita anteriormente, no entanto o uso do termo “decrecente” carregava uma falta de reflexão acerca do movimento estudado. Se observado, a bolinha iniciava o movimento com certa velocidade, tinha essa velocidade diminuída até parar e depois invertia seu movimento e ganhava novamente velocidade. Assim, notava-se que a velocidade não estava em constante decréscimo. Na opção 2 o que se notava era que podia existir um conflito entre o que se aprendia na matemática e o que se interpretava fisicamente. Em termos matemáticos, o valor numérico estava sempre diminuindo, atingindo valores negativos, no entanto, quando esses números estavam relacionados a uma grandeza física e mais especificamente a um movimento, as regras precisavam ser revistas. Um valor que na matemática podia ser menor, na física assumia outro significado, os valores negativos da velocidade apenas indicavam que a bolinha estava se movendo em um sentido contrário à referência escolhida. Assim, afirmar que a velocidade apenas diminuía trazia uma falta de distinção entre as duas áreas. Por fim, a opção 3 resumia a ideia básica que indicava uma compreensão do gráfico. Apontar que existia um instante de inversão de sentido, onde a velocidade assumia um valor nulo, retratava a regra central a ser observada nesse tipo de gráfico.

As perguntas seguintes faziam referência ao simulador construído para testar novas possibilidades de trajetória para a bolinha, conforme Figura 40, discutida [no item 2 do Capítulo 3](#). Os alunos deveriam ainda seguir a orientação: **altere na planilha os valores da velocidade V_x da bolinha e descreva o que acontece no gráfico**. O **Quadro 15** apresenta as categorias de respostas.

Quadro 15: Categorias de respostas encontradas para as consequências de se variar a V_x da bolinha.

1 – A parábola pode ficar mais larga ou mais curta.

2 – O gráfico se expande/contrai lateralmente e horizontalmente.

3 – A parábola apresenta maior ou menor envergadura.

4 – O alcance da bolinha será maior ou menor para a mesma velocidade vertical.

Nessas respostas o que se percebia era que a grande maioria delas não estava totalmente transposta para a situação física, ou seja, muitos ainda preferiam usar o termo “parábola” para se referir à trajetória da bolinha, além disso fazer uso dessa expressão poderia acabar encaminhando para explicações que podiam parecer adequadas a ela. Na opção 1 entendia-se que há uma referência à trajetória da bolinha, no entanto as palavras “larga” e “curta” eram muito subjetivas e insuficientes para descrever as modificações observadas. O mesmo pode ser visto na opção 2 e 3, quando usavam as expressões “expande e contrai” e “envergadura”. Quando se aplicava essa expressão ao fenômeno físico estudado, sabendo-se dos conceitos que regem os tipos de movimento envolvido, notava-se que elas são inadequadas para explicar o movimento da bolinha. Por fim, a opção 4 trazia os termos adequados para a situação em estudo, fazendo a ressalva de que essas regras eram válidas desde que se mantivessem a velocidade vertical da bolinha.

Ainda sobre o simulador, a próxima orientação solicitava: **altere na planilha o valor da velocidade V_{oy} da bolinha e descreva o que acontece no gráfico**. O Quadro 16 apresenta as categorias de respostas identificadas.

Quadro 16: Categorias de respostas encontradas para as consequências de se variar a V_y da bolinha.

1 – Se V_{oy} aumentar, o gráfico se expande verticalmente, se diminuir o gráfico adquire valores negativos (vai para baixo).
2 – O vértice da parábola fica mais alto.
3 – Se V_{oy} aumentar, a altura máxima e o tempo para voltar à posição inicial aumentam.

A maioria das respostas neste caso tangenciou a opção 3, que era aquela que mais se adequava às regras do jogo, no entanto um detalhe na escrita dos alunos poderia indicar uma incompreensão do uso do simulador. Em todas as respostas percebeu-se que a altura máxima da bolinha aumentava com o aumento de V_{oy} , como se notava nas outras opções de resposta ainda que com termos semelhantes (“expande verticalmente” e “vértice mais alto”). No entanto, na maioria das respostas não havia uma referência ao que estaria acontecendo com o alcance da bolinha e com o tempo de voo. Explorar o comportamento dessas outras grandezas era necessária uma vez que elas necessariamente sofriam alterações quando se alterava V_{oy} no simulador. A opção 1 retratava em partes essa dificuldade de compreensão quando afirmava que o gráfico “adquire valores negativos”. Nesse caso o que aconteceu é que se escolheu um valor de velocidade tal que o tempo de voo era inferior ao tempo do movimento real da bolinha, por esse motivo alguns pontos da trajetória ficaram abaixo do

eixo horizontal. O contrário também poderia ocorrer, para valores maiores de velocidade V_{oy} talvez fosse necessário mais tempo para que a bolinha completasse toda a trajetória.

A última orientação verificava a compreensão das atividades realizadas nas duas primeiras aulas: **por que a bolinha retorna para a chaminé após o seu lançamento? Qual deve ser o ângulo de lançamento da bolinha, se você estiver na locomotiva (em relação ao trem), para que isso seja possível? Esse ângulo é o mesmo para uma pessoa parada no chão que vê o lançamento?**

Os Quadro 17 e 18 apresentam as categorias para as respostas encontradas em relação as questões de a bola voltar para chaminé do trem e o ângulo de lançamento, respectivamente.

Quadro 17: Categorias de respostas encontradas para o porquê de a bolinha voltar para a chaminé.

1 – A bolinha volta para a chaminé porque possui a mesma velocidade do trem.

2 – A bolinha volta para a chaminé porque possui a mesma velocidade horizontal do trem.

Quadro 18: Categorias de respostas encontradas para o ângulo de lançamento em cada referencial.

1 – 90° em ambos os referenciais.

2 – 90° no referencial do trem e 45° no referencial do solo

3 – 90° no referencial do trem e um ângulo entre 0 e 90° no referencial do solo.

A explicação sobre o porquê de a bolinha retornar para a chaminé foi praticamente acertada por todos os alunos. A única diferença entre aqueles que não foram bem-sucedidos na resposta está retratada na opção 2. Alguns alunos não tiveram a preocupação de destacar que o que permitia o retorno da bolinha é o fato das velocidades horizontais de ambos serem as mesmas, essa seria a condição que justificaria o movimento. Nota-se aqui que nenhum aluno justificou o fato a partir da velocidade vertical, no entanto a maioria reconheceu que para que esse movimento fosse possível a bolinha deveria ser lançada perpendicularmente à chaminé, como foi verificado nas categorias de respostas da pergunta sobre o ângulo de lançamento.

Dentro da categoria de respostas do Quadro 18, na opção 1, que está em parte correta, existia uma colocação dos alunos de que como a bolinha saía da chaminé formando um ângulo de 90° em relação ao movimento horizontal do trem, então ela sempre sairia assim independente do referencial, a dificuldade de compreensão se dava pela maneira talvez como a pergunta foi proposta. Realmente a bolinha não era lançada com um ângulo diferente de

90°, no entanto, para um referencial no solo era como se ela tivesse sido. Essa sutileza na resposta talvez ainda indicasse uma falta de habilidade na compreensão conceitual do que uma mudança de referencial acarretava ao fenômeno. A opção 2, também em parte correta, já indicava que existia uma compreensão de que no referencial do solo a bolinha sairia com um certo ângulo de lançamento, no entanto afirmar que esse ângulo era 45° mostrava que não houve preocupação em seguir o procedimento de cálculo para obter esse valor, isso porque pelos dados obtidos de velocidades este não seria o ângulo correto. Por fim, a opção 3 abarcava aquelas respostas que cumpriram todas as regras do estudo do movimento. Alguns calcularam corretamente o ângulo de lançamento e outros não se comprometeram com o resultado, apenas indicaram que existiria um ângulo de lançamento entre 0° e 90°.

As análises feitas até aqui buscaram verificar a linguagem usada pelos alunos para explicar um lançamento oblíquo. Posteriormente serão verificados os relatos entregues para solucionar o problema aberto proposto e apresentado anteriormente.

4.2.2. Lançamento do Zezé

A análise do relato e respostas às perguntas referentes ao simulador ([Anexo 3](#)) ocorreu em cinco instâncias: representação da situação, funções horárias de posição do Zezé, ângulo de lançamento, discussão e simulador

Representação da situação

Houve relatos que não apresentaram uma preocupação em se definir uma origem para o sistema de referências ao se fazer uma representação da situação estudada. Muitos dos alunos pareciam não ver utilidade em escolher um sistema referência e marcar nele as posições do corpo em estudo, apenas reproduziram o desenho apresentado na ficha de instrução, marcando as distâncias (ver Figura 51).

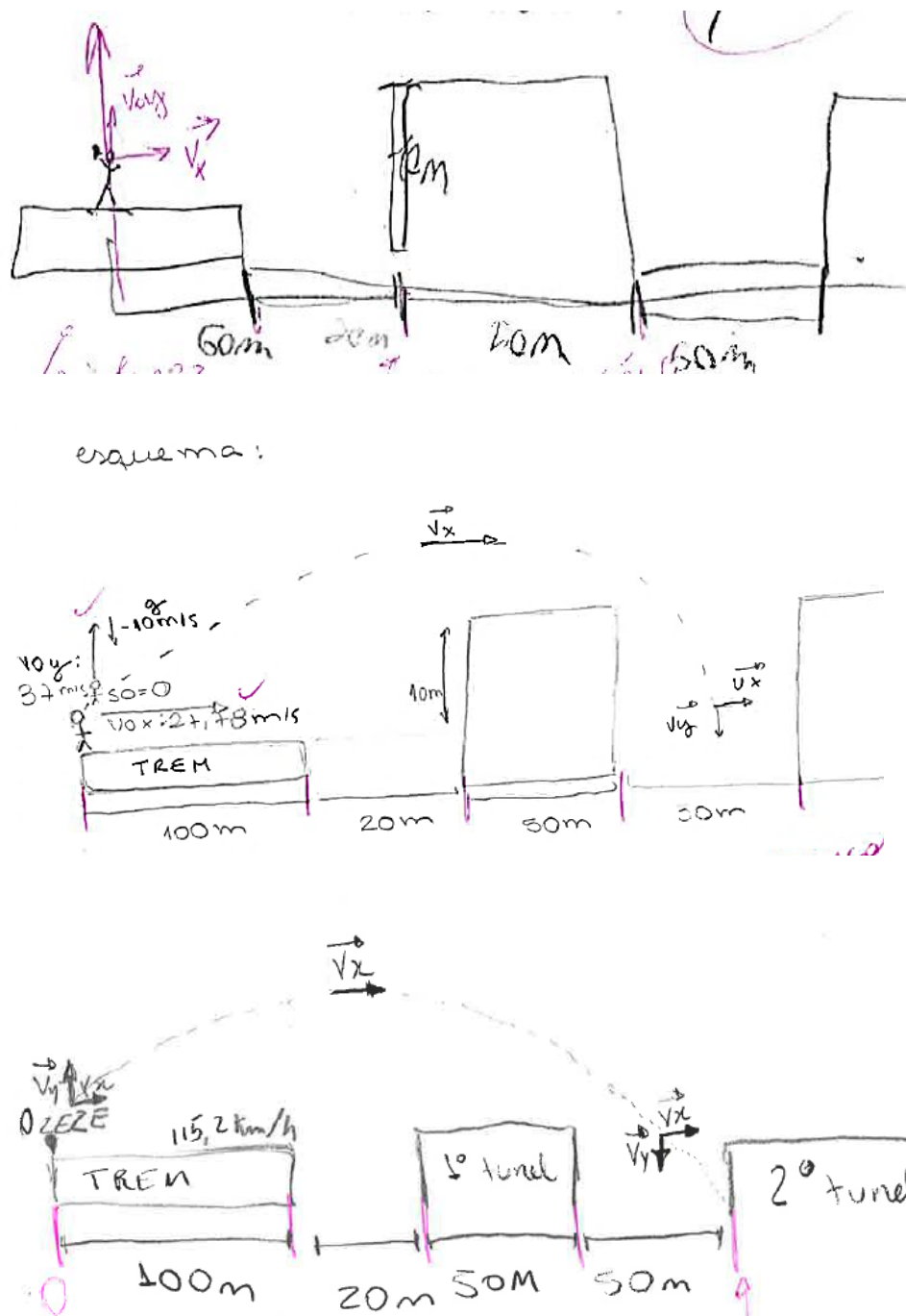


Figura 51: Exemplos de representação da situação com marcação das distâncias. As sinalizações em vermelho são correções apontadas pelos professores.

Nesse caso não se podia afirmar com certeza se existia uma confusão entre os termos “posição” e “distância” ou se os alunos acreditavam que uma representação que retratasse apenas os espaços percorridos era suficiente para compreensão do deslocamento do corpo.

Ainda nesse item, alguns alunos reproduziram o gráfico visto no simulador gerado na planilha computacional, sem se preocupar com os demais corpos envolvidos no estudo como

o trem, a mulher e o próprio Zezé. Muitos pareciam tratar esse esboço como algo irrelevante, quando na verdade era o ponto de partida para iniciar a resolução do problema. Para os que percebiam esse fato, e iniciavam a solução com uma boa representação inicial tinham todo o suporte necessário para a construção do simulador. A Figura 52 apresenta alguns exemplos dos alunos.

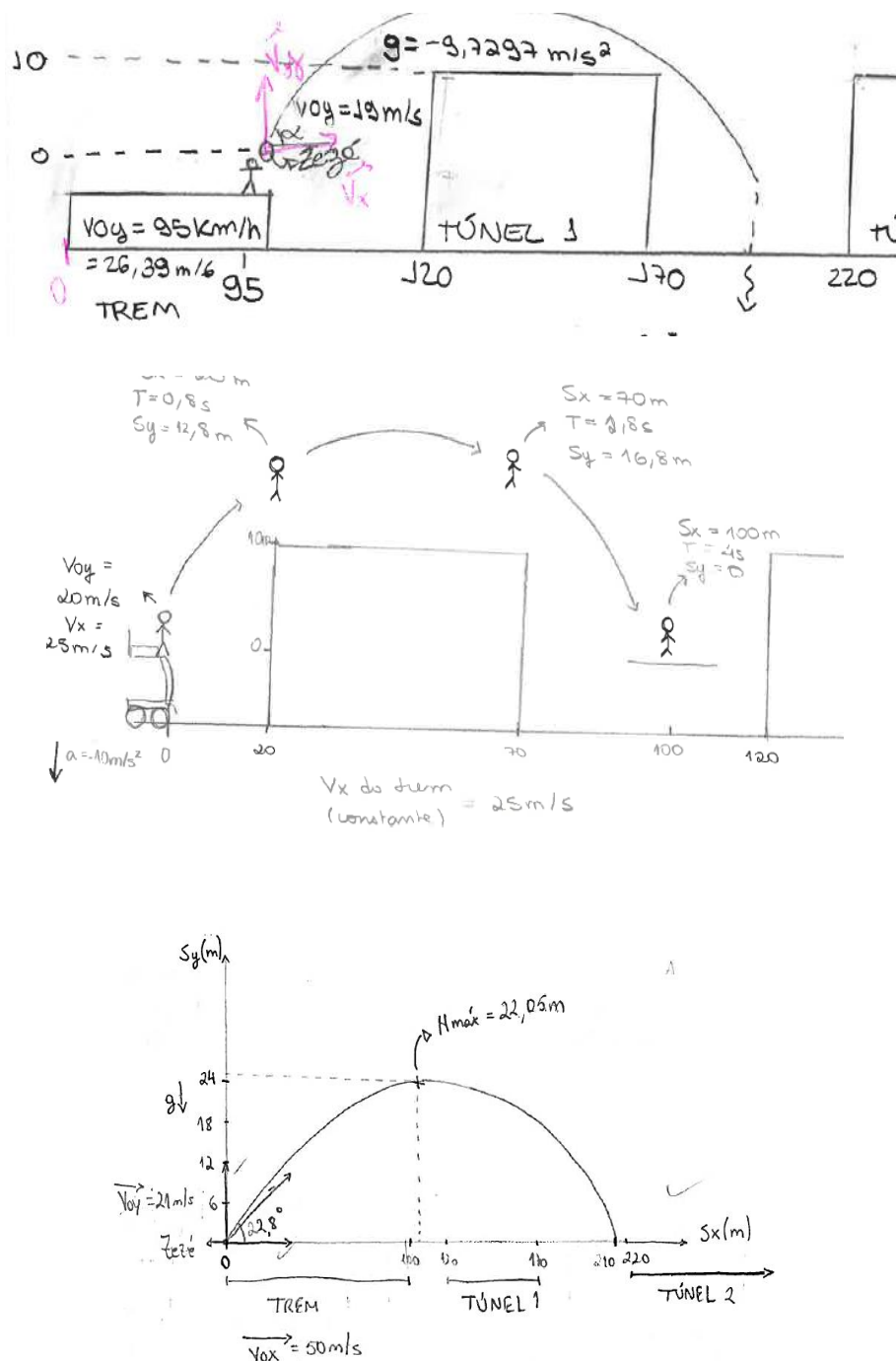


Figura 52: Exemplos de representação da situação com marcação das posições. As sinalizações em vermelho são correções apontadas pelos professores.

Verificou-se também se os alunos representavam as velocidades iniciais de lançamento na forma vetorial, outra característica importante quando são estudados fenômenos da física. Retomando a questão do jogo da linguagem, na física existem padrões típicos de representação que são universalmente compreendidos, assim, o desenho de uma flecha no início do lançamento já dava a entender como o movimento ocorreria. Como visto nos exemplos acima, muitos não se atentavam a esse fato, não desenhando a velocidade nem no Zezé e nem mesmo no trem para indicar que ele estava em movimento. Por conta da ausência de representação dos vetores, muitos esquemas foram completados pelos professores com esse desenho em vermelho.

Funções horárias de posição do Zezé

Uma vez elaborado o esquema iniciava-se o processo de construção do simulador. Os alunos demonstraram uma certa resistência em usar o simulador para buscar um valor de velocidade para solução do problema, uma vez que a prática recorrente era obtê-lo a partir de cálculos matemáticos usando as funções horárias. No entanto, uma vez que se obtinham os valores adequados para conseguir salvar o Zezé, os estudantes deveriam escrever as funções horárias de posição que permitiam fazer com que ele voltasse para os braços da mãe após o trem ter se deslocado. Apesar das dificuldades vivenciadas nas construções dos gráficos referentes ao movimento da bola que saía da chaminé do trem e do ajuste de funções, onde os alunos tiveram consideráveis dificuldades em enxergar nas funções matemáticas ajustadas as funções horárias do MRU e MRUV, nessa segunda etapa, com a construção do movimento do Zezé, as dificuldades foram minimizadas, talvez pelo fato de que agora eles construíram por conta própria tais funções, não precisando comparar com ajustes matemáticos.

A partir das funções construídas o que se percebeu era que ainda não havia uma compreensão da utilidade de uma função, ou para que elas eram necessárias, fato esse que levava a reflexões posteriores e novas ações em futuras aplicações. Ainda tinham alunos para os quais a expressão “função horária” não tinha relação com o tempo, isso pelo fato de que as funções apresentadas eram valores constantes, que não dependiam da variável tempo ou ainda porque fizeram um ajuste ao gráfico de trajetória, obtendo uma função de S_y em função de S_x . Um esquema bem construído facilitou a escrita da função horária, uma vez que, a partir dele, as grandezas posição inicial na horizontal eram obtidas, visto o sistema de referência escolhido. Pensando como um jogo, bastava recorrer à “regra” para funções

horárias de posição nesse tipo de movimento e substituir os valores obtidos pelo simulador. A Figura 53 apresenta alguns exemplos de funções horárias de posição apresentadas pelos alunos.

VERTICAL

Z. orig. → $S_y = s_0 + v_0 t + \frac{a t^2}{2}$

(FUNÇÃO HORÁRIA de posição) $S_y = 0 + 19,8 \cdot 3,4 + (-9,72) \cdot 3,4$

$S_y = 67,32 + (-16,524) \cdot 2$

$S_y = 50,796$?

HORIZONTAL

$S_x = 0 + 28 \cdot 3,4$

$S_x = 95,2$?

FUNÇÃO!!

-??

S_y

tempo ao posição do Z. orig.:

$s = s_0 + v_0 t + \frac{A t^2}{2}$

0,0028

$S = 0,0405 + 0,7804t + 0,0028t^2$

Função horária

$S = 6E-14 + 0,332t - 0,002t^2$

Função horária de posição em x: $S = 25t$ ✓

Função horária de posição em y: $S = 30t - 4,8996t^2$ ✓

Figura 53: Exemplos de funções horárias de posição apresentadas pelos alunos. As sinalizações em vermelho são correções apontadas pelos professores em relação à ausência das funções horárias de posição em uma das duas direções.

A partir do que foi apresentado, nota-se que a compreensão do que é uma função horária ainda não se consolidou para todos. Nos exemplos da Figura 53 percebeu-se que alguns forneceram apenas os valores de forma separada, sem escrever a função. Outros não especificaram a qual direção a função estava se referindo, o que dificultava a avaliação de se realmente entenderam qual o tipo de movimento na vertical e horizontal; outros fizeram o ajuste a partir do programa de planilhas, ou seja, obtiveram uma equação que fornecia os valores de S_y em função de S_x , como se podia ver em equações do tipo “ $S = 6E-14 + 0,332.t - 0,002.t^2$ ”. Nesse caso o aluno talvez não tivesse compreendido que a função não tinha dependência com o tempo, apesar de escrevê-la em função de t .

O fato de ajustar uma função ao gráfico de trajetória mereceu uma atenção especial. Há de se pensar se esses alunos realmente compreenderam o significado de uma função

horária, que existia uma dependência da posição em relação ao tempo e que o simulador construído estava apenas retratando a trajetória descrita e o tempo seria algo implícito. Ajustar uma função a esse gráfico e afirmar que se tratava da função horária de posição do MRUV apontava para uma confusão conceitual que necessitava ser revista.

Ângulo de lançamento no referencial fixo

A realização do experimento inicial, que estudava o movimento descrito pela bola lançada desde a chaminé da locomotiva, foi essencial para reforçar alguns conceitos. O fato de a bola ter sido lançada perpendicularmente à chaminé da locomotiva e voltar novamente a ela garantia a mesma velocidade horizontal para ambas. Assim, não houve questionamentos sobre a maneira com a qual Zezé seria lançado, no entanto, o cálculo do ângulo de lançamento desde um referencial do solo necessitou aos alunos acessarem outros conceitos que também se relacionavam com o fenômeno, no caso, o comportamento vetorial da velocidade no momento do lançamento.

Da mesma maneira que ocorreu no experimento da primeira aplicação, alguns alunos apenas afirmaram que esse ângulo deveria ser 45° , sem se atentar se os valores de velocidade horizontal e vertical possuíam o mesmo módulo. O que se notava inicialmente era que muitos não se recordavam como trabalhar com uma velocidade resultante e como suas componentes poderiam se relacionar com o ângulo de lançamento. A partir dos procedimentos já definidos bastava calcular a função inversa da tangente à razão dos módulos das velocidades vertical e horizontal do Zezé. Muitos alunos não visualizaram essa relação trigonométrica diretamente, recorrendo ao procedimento pitagórico de obter o vetor velocidade resultante e depois aplicar a função trigonométrica inversa de seno ou cosseno à razão dos módulos das velocidades, o que não se mostrava um procedimento incorreto. A Figura 54 apresenta alguns procedimentos de obtenção do ângulo de lançamento efetuado pelos alunos.

ângulo de lançamento = 45°

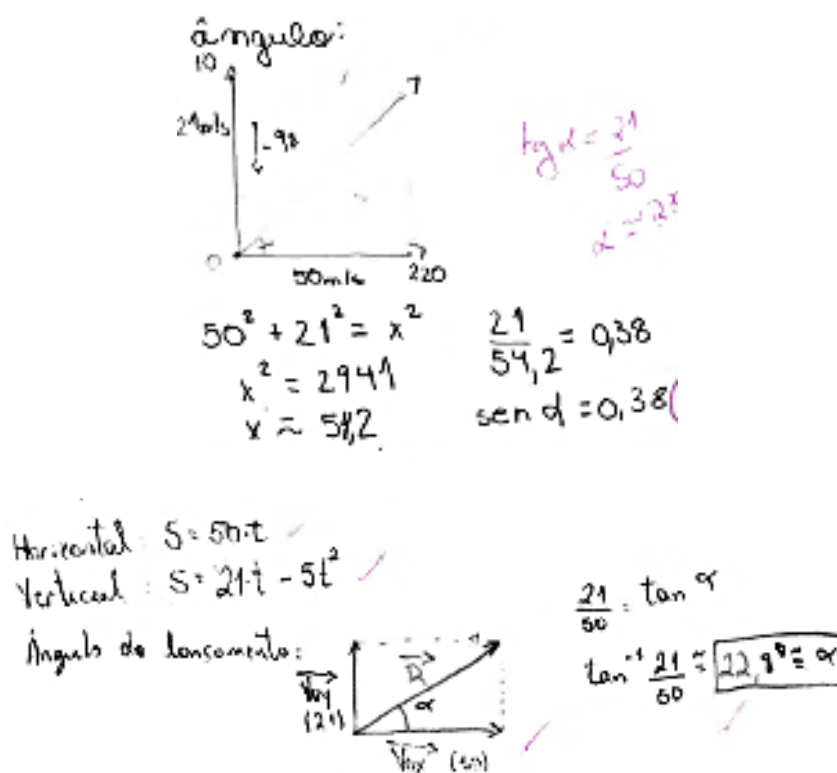


Figura 54: Exemplos de ângulos de lançamento obtidos. As marcações em vermelho são sinalizações dos professores em relação ao procedimento adotado para obtenção do ângulo de lançamento.

Notou-se que muitos alunos não sabiam como obter o valor do ângulo, muitas vezes por inexperiência no uso da calculadora científica. Novamente, não era um problema ou considerado errado deixar indicado a maneira que os cálculos seriam feitos, no entanto, alguns recorreram a tabelas com os valores das funções trigonométricas seno, cosseno e tangente para obter um valor de ângulo aproximado.

Discussão dos resultados

A maioria dos alunos apenas se detiveram em apresentar os três tópicos tratados anteriormente, não realizando uma discussão que comentasse de maneira geral a solução do problema. Esperava-se aqui que outras grandezas envolvidas no movimento fossem exploradas como a altura máxima atingida por Zezé, o alcance atingido por ele quando era resgatado e até mesmo o tempo de voo. A ideia era que toda a compreensão da solução fosse sintetizada por meio de uma sentença escrita e que tanto o esquema como as funções dessem

suporte a essa exposição. Os alunos que articularam essa discussão puderam revisitar as etapas de construção do simulador e ainda esclarecer, para eles próprios, os caminhos que os levaram a solucionar o problema.

O pequeno número de alunos que realizaram a discussão dá indícios de que se forem dadas instruções, ainda que sugestivas, eles tomariam aquilo como regra, ou seja, considerariam que apenas o que foi sugerido era necessário. Esse fato é um pouco contraditório quando se lida com atividades investigativas, uma vez que, quando o problema é apresentado de forma aberta, os alunos podem denotar uma falta de entendimento ou dúvidas em relação ao que se espera que respondam; por outro lado, quando se apresentam itens minimamente necessários de se cumprir, eles poucas vezes exploram além disso.

Simulador

Além da resolução escrita para o problema, os alunos deveriam apresentar um simulador semelhante ao da Figura 42. A grande maioria construiu algo satisfatório, no entanto para que fosse possível, algumas dúvidas precisaram ser sanadas ao longo dessa construção. A principal questão, que parecia persistir desde a construção do simulador da bolinha, era o fato de estarem usando funções horárias para escrever as posições. Mais que isso, a dúvida se dava pelo fato de que agora deveria ser substituído um valor de tempo na função, grandeza que até então era uma incógnita. Superados esses obstáculos, muitos tinham dificuldade em escrever a função horária da posição vertical na planilha sem ter ainda definido um valor para a velocidade, uma vez que o objetivo era testar valores possíveis e verificar o comportamento da trajetória no simulador. Ainda em relação ao tempo, uma dificuldade recorrente no início da construção era que alguns estudantes usavam os mesmos instantes de tempo do simulador da bolinha, de modo que a trajetória obtida não se parecia com uma parábola. Os que se incomodavam com esse fato buscavam entender o motivo e chegavam à conclusão de que o tempo do movimento deveria ser outro por conta da nova velocidade do trem.

Pode-se perceber que uma vez compreendida sua funcionalidade, a construção do simulador e o seu uso tinha um grande potencial investigativo. O seu processo de construção permitiu que articulassem os conhecimentos relativos ao movimento que já haviam sido estudados em exercícios teóricos para aplicá-los na resolução de um problema cujas condições seriam definidas por eles mesmos.

Ao final da segunda aplicação pode-se avaliar também se os princípios do *design* propostos inicialmente foram contemplados e se a estrutura da atividade precisaria ser remodelada. Esses resultados serão mais bem abordados no [item 2 do Capítulo 5](#), no entanto uma percepção significativa e decisiva para uma nova adaptação na sequência foi a necessidade de trabalhar com os estudantes o conceito de modelagem e até que ponto o simulador que eles criavam teria o potencial de retratar a realidade. Para tanto, foi necessário substituir o problema fictício da Parte 2 desse ano por uma situação real, onde o uso de um modelo pudesse ser validado.

4.3. Modelos de simuladores (2020)

Apesar do contexto atípico de 2020, com a pandemia do coronavírus e a realização das atividades de maneira totalmente remota, a proposta foi readequada acrescentando-se novos princípios do *design* tanto para fundamentação, que trouxe a questão da modelagem como uma discussão potente para avaliar tanto o potencial do simulador construído como uma representação da realidade, quanto para avaliação, que pautou-se no uso de rubricas para fornecer ao aluno uma devolutiva mais eficiente do seu processo de análise. Para a avaliação da produção dos estudantes levou-se em conta as três partes do trabalho: o experimento do trem, o simulador e o lançamento nos esportes. O Quadro 19 sintetiza o que deveria ser realizado em cada uma delas e o que se levou em conta nas devolutivas realizadas e qual a duração de cada uma das propostas.

Quadro 19: Síntese esquemática das três partes da sequência.

Etapas	Ações
1 – Experimento do trem	<ul style="list-style-type: none"> - coleta de dados de posição e tempo; - estudo e classificação do movimento; - construção de gráficos e ajuste dos parâmetros das funções horárias aos dados experimentais; - construção do gráfico da trajetória; - identificação de condições iniciais e dos parâmetros ajustados aos dados experimentais.
Devolutiva	<ul style="list-style-type: none"> - correção de parâmetros ajustados de maneira equivocada; - retomada dos parâmetros que deveriam ser extraídos dos ajustes.
2 – Simulador de lançamentos	<ul style="list-style-type: none"> - uso das funções horárias com coeficientes ajustados para gerar valores simulados de posição em função do tempo; - construção de um simulador de trajetória para quaisquer parâmetros e condições iniciais; - identificação dos padrões de alteração das trajetórias calculadas diante da modificação dos parâmetros e condições iniciais; - comentário crítico sobre o uso do simulador; - associação do movimento estudado a uma situação real de lançamento nos esportes.
Devolutiva	<ul style="list-style-type: none"> - verificação do funcionamento dos simuladores construídos e das observações realizadas;
<p>Cada uma dessas duas etapas deveria ser entregue em até 5 dias após a apresentação da proposta, que eram devolvidas com o apontamento das rubricas em até 2 dias.</p>	
3 – Lançamentos nos esportes	<ul style="list-style-type: none"> - estudo e classificação do movimento observado no vídeo fornecido; - cálculo (estimativa) de grandezas necessárias à construção de um simulador de movimento a partir do vídeo; - construção de funções horárias do movimento a partir das grandezas estimadas. - construção de um simulador para o movimento apresentado no vídeo; - investigação das condições de melhor lançamento, de acordo com o objetivo da modalidade esportiva; - realização de testes com o simulador para validar as condições de melhor lançamento e gravação de vídeo tutorial explicativo.
Devolutiva	<ul style="list-style-type: none"> - verificação da clareza do vídeo que apresenta o simulador em funcionamento e da adequação dos parâmetros adotados.
<p>A tarefa deveria ser entregue em até 20 dias após a apresentação da proposta, que era devolvida com o apontamento das rubricas após um prazo de até 10 dias.</p>	

O processo da *Devolutiva* foi implantado para que o aluno compreendesse em quais critérios sua produção atingiu ou não aquilo que era esperado pelo professor. A definição e os indicadores de cada critério visavam fornecer ao aluno elementos de reflexão para melhorar sua produção nas etapas posteriores. Vale destacar que esses critérios eram fornecidos quando a atividade era proposta, em um espaço destinado a rubricas, disponível dentro do Google Sala de Aula.

4.3.1. Rubricas de correção para a sequência didática sobre lançamentos oblíquos

A partir dos dados de posição e tempo lidos era possível a construção de gráficos de posição e velocidade em função do tempo e o ajuste de parâmetros a esses dados. Em cada parte da atividade aqui apresentada, os professores disponibilizaram os critérios com as definições sobre o que era esperado dos alunos, com os respectivos indicadores de satisfação: Plenamente satisfatório, Satisfatório e Insatisfatório, conforme relacionado no Quadro 20. A fim de constatar a competência necessária à realização da etapa seguinte, um dos critérios relacionava-se com a adequação das condições iniciais extraídas nesse ajuste.

Quadro 20: Rubricas do Experimento do trem.

1 – Qualidade da leitura dos quadros		
A dispersão dos pontos nos gráficos é aceitável, no entanto existem valores que podem ser corrigidos a partir de uma leitura mais cuidadosa.		
Plenamente satisfatório Dispersão aceitável da leitura dos pontos.	Satisfatório Incoerência na leitura de alguns pontos. Falta de revisão das posições discrepantes da trajetória.	Insatisfatório Leitura dos pontos foi insuficientemente acurada.
2 – Grandezas extraídas dos ajustes		
Os ajustes permitem identificar as grandezas S_{ox} , S_{oy} , V_{ox} , V_{oy} e g .		
Plenamente satisfatório Valores foram extraídos corretamente das funções.	Satisfatório Não apresentou corretamente as funções e/ou o valor de g não foi extraído do ajuste de $S_y(t)$.	Insatisfatório Valores incoerentes com as funções.
3 – Gráfico da trajetória		
Satisfatório O gráfico proposto representa adequadamente a trajetória descrita pela bola.	Insatisfatório Não há indicação de quais grandezas são representadas nos eixos e/ou os eixos propostos não representam a trajetória da bola.	

Na segunda etapa da proposta, as funções com os parâmetros ajustados foram usadas para representar a trajetória descrita pela bola, e os alunos eram orientados a verificar como ela se modificava ao alterar as velocidades de lançamento. Um dos critérios, para verificar o amadurecimento para realização da etapa seguinte, referia-se à maneira como se percebia a variação do alcance e da altura da bola e que explicação formulavam para o possível excesso ou ausência de pontos nas trajetórias testadas. O Quadro 21 traz os critérios, definições e indicadores das rubricas que avaliavam a qualidade dos ajustes por meio de gráficos e a interpretação das diferentes trajetórias testadas.

Quadro 21: Rubricas do Simulador de lançamentos.

1 – Condições iniciais		
Os valores de S_{ox} , S_{oy} , V_{ox} , V_{oy} e da gravidade correspondem àqueles extraídos das funções ajustadas na Etapa 1.		
Satisfatório Os valores selecionados são coerentes e representativos do fenômeno estudado.	Insatisfatório Foram transcritos valores que não condizem com o fenômeno.	
2 – Consequências na trajetória devidas a mudanças nas condições iniciais		
Perceber a variação do alcance e da altura máxima quando as componentes da velocidade inicial do trem e a velocidade da bola são alteradas. Poderiam faltar pontos no caso de se manter V_{ox} e aumentar V_{oy} , bem como a curva poderia cruzar o eixo S_x (com valores negativos de S_y) no caso de se manter V_{ox} e diminuir V_{oy} .		
Plenamente satisfatório Abordou as percepções requeridas e ainda salientou a questão da falta de pontos ou curvas abaixo do eixo x.	Satisfatório Só indicou variações de alcance e altura máxima sem explorar o formato da trajetória e/ou não deixou claro como cada componente da velocidade inicial altera a trajetória.	Insatisfatório Não fez a análise mínima relacionada às variações de alcance e altura máxima.
3 – Pontos da trajetória		
Perceber que cada ponto da representação carrega três informações (S_{ox} , S_{oy} e tempo). No caso do simulador construído, ele opera bem na faixa de tempo estabelecida pelo movimento da bola, mas a trajetória não será registrada completamente se a duração for maior, sendo necessário aumentar a quantidade de instantes de tempo contemplados e recalcular as posições. Para movimentos com duração menor, o excesso de pontos abaixo do eixo x indica duração menor que a real e poderia ser corrigido estabelecendo um limite mínimo para S_{oy} .		
Plenamente satisfatório Ressaltou o significado implícito do tempo na representação de cada ponto do gráfico e ainda sugeriu maneiras de se obter a trajetória em sua totalidade.	Satisfatório A proposta de visualização da trajetória é parcialmente aceitável, não tendo sido explorada em sua totalidade com a devida clareza.	Insatisfatório A sugestão dada não é suficiente e/ou coerente para resolver a exibição de toda a trajetória ao alterar as condições.

Ainda em relação à etapa do *Simulador de Lançamentos*, foram fornecidas rubricas que indicavam o quanto a construção e manuseio do simulador permitiu tirar conclusões acerca do ângulo de lançamento da bola e o fato dela retornar à chaminé, conforme listado no Quadro 22.

Quadro 22: Rubricas do Simulador de lançamentos.

4 – Trajetória e ângulo de lançamento		
<p>Descrever as trajetórias e ângulos de lançamento da bola, entendendo as diferenças devidas ao sistema de referência: vinculado a chaminé (referencial do trem) e fixo no chão. No referencial do trem, a bola é lançada verticalmente para cima (90° com a horizontal), e não é possível para um observador no trem medir diretamente o ângulo de lançamento no referencial do chão, que pode ser calculado da razão entre as componentes da velocidade inicial no chão: $\tan(\theta) = V_{oy}/V_{ox}$.</p>		
<p>Plenamente satisfatório Explicitou corretamente as duas trajetórias e apresentou o valor dos ângulos de lançamento para cada referencial.</p>	<p>Satisfatório Explicitou corretamente as duas trajetórias e apresentou o valor do ângulo para apenas um dos referenciais.</p>	<p>Insatisfatório Identificou diferenças nas trajetórias, mas com incoerências, e confundiu os ângulos de lançamento nos diferentes referenciais.</p>
5 – Por que volta para a chaminé?		
<p>A bola retorna para a chaminé porque, no referencial do trem, ela foi lançada verticalmente para cima, formando um ângulo de 90° em relação à horizontal. Por conta disso, sua velocidade horizontal em qualquer referencial coincide com a velocidade do trem. Além disso, dentro do intervalo de tempo dos movimentos analisados, na direção horizontal tanto o trem quanto a bola realizam movimentos uniformes dentro da precisão das medidas.</p>		
<p>Plenamente satisfatório Argumentou que as velocidades horizontais do trem e da bola são as mesmas e que por isso ambos descrevem movimentos uniformes.</p>	<p>Satisfatório Não explicitou que a velocidade horizontal da bola é igual à do trem. Dizer apenas velocidade poderia gerar dúvidas sobre qual delas estaria se referindo.</p>	<p>Insatisfatório Não estabeleceu relações entre o retorno da bola para a chaminé do trem e o tipo de movimento descrito por ambos.</p>

A iniciação no uso das planilhas a partir do estudo de um movimento real e a construção de um simulador foram introduzidos com a intenção de preparar os alunos para a finalização da sequência com uma aplicação desses conhecimentos e habilidades em um novo contexto. Além disso, se na parte inicial da sequência de atividades o simulador construído fazia referência a uma locomotiva em miniatura com uma bola lançada desde a sua chaminé, no final da sequência, a nova proposta daria a oportunidade de usar essa ferramenta em outra situação real: o lançamento em uma modalidade esportiva. Por conta disso, foi solicitado previamente que fizessem um comentário crítico a respeito do simulador e seu uso: *“retome todo o trabalho realizado até agora e reflita sobre as facilidades e dificuldades encontradas ao lidar com o simulador de movimento. Elabore um comentário crítico, especificando quais cuidados precisaram ser tomados na elaboração do simulador e identificando quais são as vantagens e desvantagens de se utilizar esse tipo de ferramenta”*. Essa reflexão serviria para que os estudantes questionassem e associassem o conteúdo físico com aquilo que estavam observando, se preparando assim para a última etapa da atividade.

Na etapa final, como descrito no [item 3 do Capítulo 3](#), os estudantes foram desafiados a construir um simulador semelhante àquele da segunda etapa que reproduzisse o lançamento visto em um vídeo de arremessos de basquete ou lançamentos de dardo. Essa tentativa buscava aproximar os alunos de uma situação real externa a um laboratório, colocando-os diante da possibilidade de prever lançamentos que poderiam ser realizados pelos atletas. O Quadro 23 traz os critérios, definições e indicadores das rubricas.

Quadro 23: Rubricas do Lançamento nos esportes.

1 – Descrição do problema		
Foi inserida uma imagem (captura de tela do vídeo) representando a situação física, contemplando uma referência adequada para análise do problema (indicando S_{0x} e S_{0y} escolhidos) e a representação correta dos vetores velocidade (e/ou suas componentes).		
Plenamente satisfatório A imagem ou descrição apresenta um sistema de referência destacando S_{0x} e S_{0y} . Os vetores velocidade são adequadamente representados.	Satisfatório Não há uma captura de tela e/ou não há indicação dos valores de S_{0x} e S_{0y} estimados e/ou não há indicação dos vetores velocidade do atleta e/ou da bola ou dardo ou como eles foram estimados.	Insatisfatório Não há representação da situação, indicando a referência escolhida e as condições iniciais, nem explicitação dos parâmetros adotados.
2 – Resultados e discussão		
A explicação apresentada foi completa, explorando os efeitos de alteração das velocidades (V_x do(a) atleta e V_{0y}/V_{0x} de lançamento do objeto) sobre o alcance, a altura máxima, ângulo de lançamento e o tempo de voo.		
Plenamente satisfatório Abordou as explicações requeridas e ainda salientou a questão da ausência de pontos ou curvas abaixo do eixo x.	Satisfatório São propostos bons testes, mas a discussão é limitada e/ou não há uma comparação entre o valor real do vídeo e os valores propostos para novos lançamentos e/ou não é levada em conta a velocidade do atleta nos cálculos de S_x .	Insatisfatório Não é apresentado o raciocínio para se obter os valores das estimativas nem os valores para os testes.

O vídeo gravado pelos alunos, com o tutorial explicativo sobre o funcionamento do simulador construído também foi submetido a uma avaliação por rubricas, cujos critérios, definições e indicadores são apresentadas no Quadro 24:

Quadro 24: Rubricas do Lançamento nos esportes.

3 – Narração do vídeo tutorial explicativo.		
Vídeo é narrado com clareza e apresenta um simulador em pleno funcionamento.		
Plenamente satisfatório A narração é clara e mostra habilidade na operação do simulador.	Satisfatório Algumas partes da narração foram pouco claras, não explicando como cada parâmetro do simulador afetava a trajetória quando modificado.	Insatisfatório O vídeo não apresenta narração.
4 – Trajetória do vídeo tutorial explicativo.		
Vídeo apresenta a situação inicial, com uma tentativa bem-sucedida de leitura/estimativa/cálculo da "trajetória real" observada no vídeo fornecido.		
Plenamente satisfatório As estimativas propostas retratam uma boa aproximação da situação vista no vídeo.	Satisfatório Alguns dados não condizem com a realidade ou não foram justificados/ apresentados. Pode não ter sido feito ajuste (ou explicação) para tornar visível a trajetória completa.	Insatisfatório Não há representação gráfica com parâmetros editáveis para simular as trajetórias
5 – Simulador do lançamento com melhor desempenho		
Vídeo apresenta as alterações de parâmetros que implicaram o lançamento com melhor desempenho, de modo fisicamente coerente e com valores realistas.		
Plenamente satisfatório É apresentada uma representação da situação real e um simulador que permite verificar como o lançamento visto do vídeo pode ser modificado.	Satisfatório Não é estabelecida uma comparação entre a trajetória real vista no vídeo e os testes que permitiram o lançamento com melhor desempenho. E/ou alguns valores usados não são realistas ou não foram justificados E/ou não é possível ver toda a trajetória do simulador ou o excesso ou falta de pontos não é explicada.	Insatisfatório Não são apresentados testes que mostrem a busca pelo lançamento com melhor desempenho.

A atividade foi realizada em duplas ou trio de alunos, de modo que foram analisados 100 trabalhos. Cada um deles foi analisado segundo essas rubricas e os níveis de satisfação sob os quais cada um foi classificado serão apresentados na sequência.

Rubricas da Parte 1 – O experimento do trem

A Figura 55 traz os resultados das ponderações dos indicadores de cada critério. Sobre a qualidade de leitura dos quadros, 14% de alunos apresentaram uma leitura insatisfatória da posição, uma vez que adotaram diferentes pontos da bola como referência de leitura da sua posição para um mesmo conjunto de dados. 15% de alunos com leitura *satisfatória* fizeram a leitura sem dividir o quadradinho no maior número de partes que seria possível diferenciar, lendo apenas valores inteiros. Os demais estudantes, 71% deles, perceberam essa possibilidade e apresentaram leituras de posição coerentes com o que era permitido pelo

instrumento de medida adotado. Era perceptível, a partir da observação do gráfico construído, quais estudantes foram mais cuidadosos com a tomada de dados, uma vez que a dispersão dos pontos do gráfico aumentava à medida que a qualidade da leitura se mostrava inferior (ver Figura 35). A fim de compreender melhor o nível de aproveitamento dos alunos nessa etapa, foi realizada uma triagem para uma análise global dos relatórios. Dessa análise atribuiu-se um desempenho "Plenamente satisfatório" aos grupos que receberam a classificação "Plenamente satisfatório" em 3 critérios (ou em 2 critérios, sendo o terceiro Satisfatório); "Insatisfatório" se o grupo teve desempenho Insatisfatório em 2 ou 3 critérios e "Satisfatório" em quaisquer outros casos (Figura 55); o resultado geral está na Figura 56.

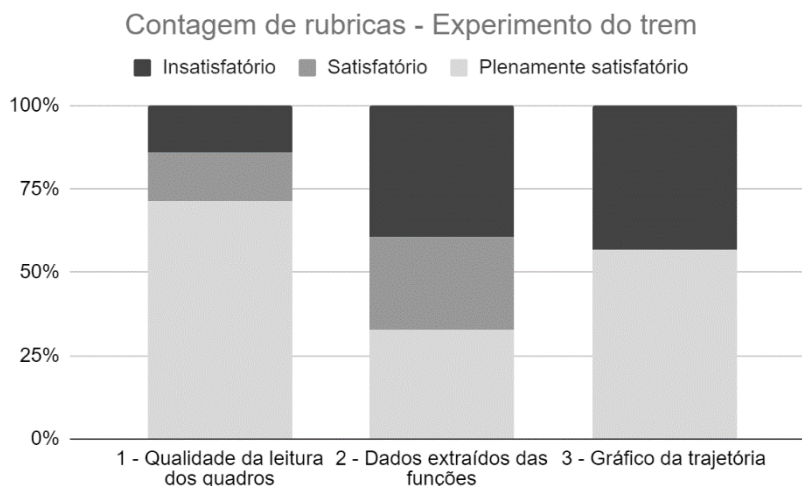


Figura 55: Distribuição da contagem de alunos em cada critério das rubricas do Experimento do trem.

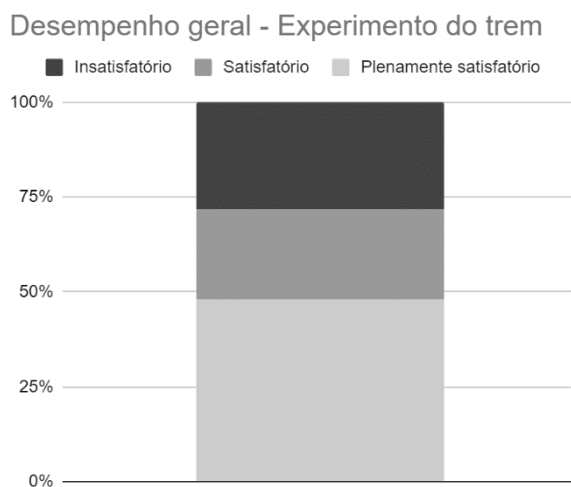


Figura 56: Desempenho geral dos estudantes no Experimento do trem.

Rubricas da Parte 2 – Simulador de lançamentos

Nesta etapa, os critérios eram mais específicos e se relacionavam diretamente com o manuseio do simulador e como ele contribuiria para a previsão de novas trajetórias. A Figura 57 apresenta a distribuição dos indicadores para cada critério.

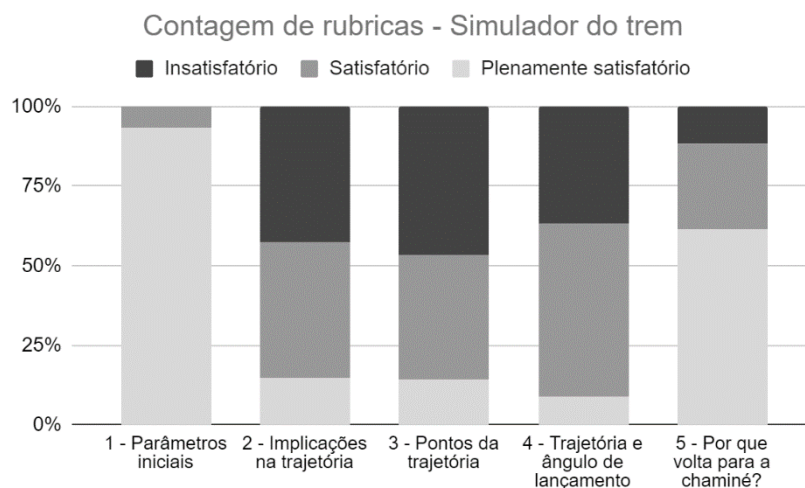


Figura 57: Distribuição dos indicadores para cada critério do Simulador do trem.

As ponderações adotadas foram apresentadas nos Quadros 21 e 22. Percebe-se que no primeiro critério não houve desempenho Insatisfatório, o que sugere que a devolutiva da primeira etapa, que apontava para a correção de alguns parâmetros, mobilizou os estudantes a se prepararem para a segunda etapa. A principal lacuna deixada pelos alunos na exploração do simulador foi em relação à variação da quantidade de pontos da trajetória dependendo da velocidade escolhida, que se reflete em torno de 47% dos trabalhos realizados. A falha em compreender que cada ponto da representação gráfica carrega três informações (S_{ox} , S_{oy} e tempo) leva o estudante a registrar de forma incompleta as trajetórias com durações maiores que a do movimento real da bola, uma vez que seria necessário aumentar o intervalo de tempo sob o qual o simulador foi construído, definir mais instantes e calcular novas posições, o que implicaria em adicionar mais células na planilha.

Com relação ao comentário crítico solicitado na finalização da etapa do *Simulador do trem*, muitos explicitaram as facilidades e dificuldades que essa iniciativa de modelagem proporcionava:

“A vantagem é que é possível prever situações com qualquer dado que imaginarmos para o experimento antes de precisar realizá-lo de fato apenas com os dados prévios coletados. As desvantagens são que o simulador requer muita atenção, uma vez que se houver um número errado

na fórmula ou nos dados da tabela, ele não simulará a realidade. Outra desvantagem é que ele tem uma limitação de tempo, o que nos impede de ver o movimento completo.”

“As facilidades encontradas ao lidar com o simulador, são que conseguimos ver muitas variáveis diferentes de um mesmo movimento de forma rápida e simples. Além de ser possível ele ser de fácil leitura e compreensão. Por outro lado, foram encontradas algumas dificuldades como: uma impossibilidade de leitura da trajetória completa quando se aumentava muito V_x e V_y , ou só poder variar V_y e V_x .”

“Nosso grupo não encontrou muitas dificuldades lidando com o simulador de lançamentos. Passamos mais tempo decidindo quais dados usar, por existirem vários. Contudo, após essa etapa, as únicas dificuldades foram encontrando os valores apropriados para as variações no simulador. A experiência de poder manipular esses valores e então criar hipóteses foi muito ilustrativa do método científico para nós, e achamos que foi um jeito criativo de estimular essa atividade.”

Esses relatos traziam a percepção de parte daqueles que realizaram a atividade. Os que a fizeram de maneira Satisfatória e Plenamente satisfatória notaram as vantagens do simulador no estudo de trajetórias de lançamentos oblíquos segundo o modelo teórico tradicionalmente usado na mecânica. A construção das fórmulas nas planilhas foi realmente uma questão delicada para os que tiveram desempenho Satisfatório e Insatisfatório. Estes, provavelmente por distração, erravam algum sinal na soma que se dispunham a realizar e por conta disso não obtinham a trajetória corretamente. Apesar disso, 60% dos alunos observaram que havia algo errado na trajetória construída justamente por já terem uma expectativa do que poderia acontecer a partir das mudanças de velocidade que realizavam ao operar com o simulador. Esse fato permitia a finalização dessa etapa a partir da elaboração de uma explicação que justificasse o retorno da bola à chaminé. O desempenho geral dos estudantes na atividade foi realizado a partir dos seguintes critérios: Plenamente satisfatório se o grupo teve desempenho Plenamente satisfatório em 5 critérios (ou em 4 critérios, sendo o quarto Satisfatório); Insatisfatório se o grupo teve desempenho Insatisfatório em 3 critérios ou mais e Satisfatório em quaisquer outros casos; o resultado está sintetizado no gráfico da Figura 58 que expressa a porcentagem do desempenho alcançado nesse quesito.

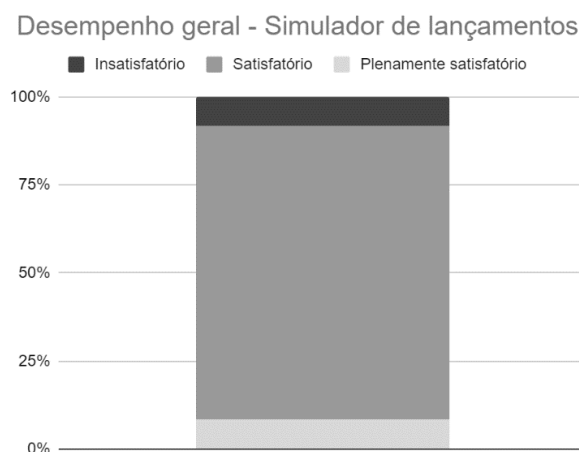


Figura 58: Desempenho geral dos estudantes no Simulador de lançamentos.

Rubricas da Parte 3 – Lançamento nos esportes

A Figura 59 apresenta os indicadores das rubricas dos Quadro 23 e 24. Um dos critérios foi a descrição do problema estudado, valendo-se principalmente de um esquema que esclarecesse as estimativas feitas para a resolução do problema. Uma explicação Plenamente satisfatória era capaz de representar a situação física de modo a adotar uma origem adequada para o sistema de referência, indicando S_{ox} e S_{oy} e o tipo de movimento estudado, destacando, caso fosse relevante, os vetores velocidade e suas componentes. O critério para o desempenho nas análises dos resultados fornecidos pelo simulador buscava aferir se haviam sido explorados os efeitos de alteração das velocidades (V_x do atleta e V_{ox}/V_{oy} de lançamento do dardo ou da bola) sobre o alcance, a altura máxima, ângulo de lançamento e o tempo de voo. Pôde-se perceber nos vídeos tutoriais produzidos pelos alunos, onde eles explicavam o funcionamento do simulador, que a questão do tempo de voo, que permitia a visualização completa ou não da trajetória da bola no experimento do trem, foi mais bem compreendida na construção do simulador do atleta, já que 80% dos estudantes conseguiram construir a representação da trajetória observada no vídeo de maneira satisfatória. O fato deles próprios escolherem os intervalos de tempo permitiu uma flexibilidade na construção do simulador trazendo mais clareza ao modo como a velocidade vertical fornecida afetava o tempo de voo da bola. O desempenho geral na atividade foi estimado a partir dos seguintes critérios: Plenamente satisfatório se o grupo teve desempenho Plenamente satisfatório em 5 critérios (ou em 4 critérios, sendo o quarto Satisfatório); Insatisfatório se o grupo teve desempenho

Insatisfatório em 3 critérios ou mais e Satisfatório em quaisquer outros casos. O gráfico da Figura 60 sintetiza esses resultados.

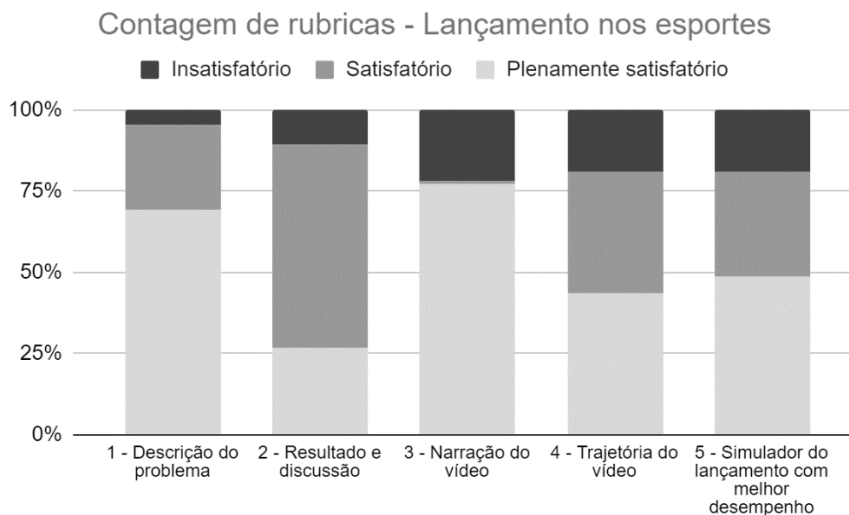


Figura 59: Distribuição da contagem de alunos em cada critério das rubricas do Lançamento nos esportes.

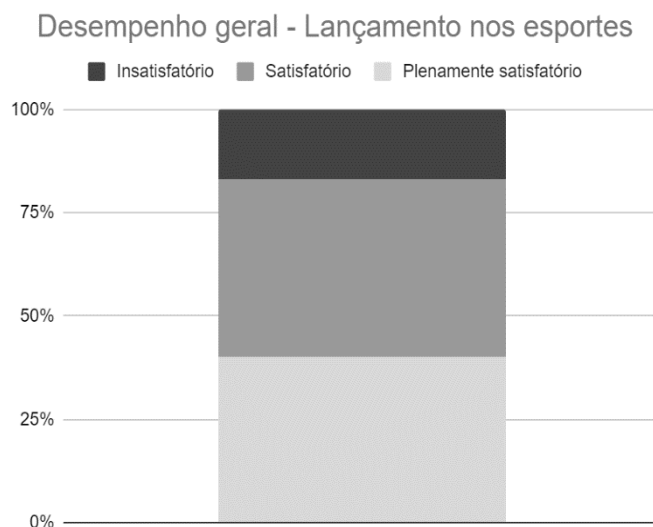


Figura 60: Desempenho geral dos estudantes no Lançamento nos esportes.

A parte final da atividade solicitava que os alunos propusessem uma *condição de melhor lançamento* para o esporte que estavam estudando, considerando o jogador no centro da quadra (no caso do basquete) ou o atleta no fim da pista de corrida (no caso do lançamento de dardo). Eles deveriam explicar quais os encaminhamentos dados para o problema destacando que parâmetros foram considerados no raciocínio. Algumas análises para os testes com o simulador e que representavam o que em geral foi perceptível nos demais trabalhos, são apresentadas a seguir.

Neste caso, o resultado foi de aproximadamente 1,3 e o ângulo com tangente mais próxima a este é o de 52° , bastante próximo do ângulo calculado para o ângulo original. Portanto, o lançamento considerado ideal se aproxima bastante do lançamento estudado.

Ao diminuirmos a velocidade em y , teria valores de tempo de sobra, uma vez que o dardo alcançaria o chão em menos tempo. Se aumentamos a velocidade em y , a trajetória do dardo fica incompleta. Se diminuirmos, a trajetória passa a ter um valor de posição negativa, pois terá valores de tempo de sobra para aquele movimento, uma vez que a força da gravidade se mantém a mesma. Um problema de realizarmos esse problema da maneira que fizemos foi que desconsideramos a ação do ar e, no vídeo observado, há a ação do ar. Isso combinado com as inúmeras estimativas que fizemos, pode ter feito com que nosso resultado tenha ficado impreciso.

Para seu alcance aumentar minimamente ela precisaria ou correr numa velocidade maior que 7m/s, ou adicionar uma "força a mais" maior que 9,3m/ ou ainda fazer com que V_y seja maior que 19,09m/s. A partir do simulador, verificamos que aumentando qualquer uma dessas grandezas o alcance já aumenta um pouco. No entanto, é relativamente difícil correr 1m/s mais rápido ou lançar muito mais forte. Vimos que aumentando as grandezas em 0,2 a que mais faz diferença no alcance é a velocidade da atleta. Assim, o ideal seria correr mais rápido possível. Obviamente quanto mais forte se lançar mais longe o dardo vai, porém consideramos que isso é mais complicado.

A primeira resposta exemplifica a percepção da maioria que construiu um simulador para o lançamento do dardo. Ao extrair do vídeo as informações de velocidade de lançamento, ângulo de lançamento e alcance e construindo o simulador dentro do tempo de lançamento estimado, muitos conseguiram encontrar valores compatíveis. No entanto, nem todos conseguiram perceber a limitação do simulador ao desprezar a resistência do ar que estaria interferindo na velocidade horizontal do dardo.

Na segunda resposta é interessante notar que as observações feitas acerca dos testes de lançamentos eram bastante similares aquelas realizadas na Parte 2 da atividade, o que mostra que essa atividade desenvolveu essa percepção para eficiência do simulador enquanto ferramenta investigativa. Nota-se também que esse aluno percebeu a limitação do simulador, uma vez que havia uma incompatibilidade entre o resultado obtido no seu simulador e o valor real do vídeo.

A terceira resposta é bastante comum entre alunos que não perceberam que o modelo usado no simulador não contemplava parâmetros como a resistência do ar. No teste em questão o estudante acreditava que para obter o alcance estimado seria necessário que o atleta desenvolvesse uma velocidade que até mesmo ele considerava elevada, o que mostrava que ele não percebeu que o seu simulador estaria superestimando os valores do alcance, uma vez que o valor da velocidade não estaria sendo diminuído por conta da não consideração da resistência do ar ou algum outro fator aerodinâmico.

A finalização dessa última parte da atividade ficou comprometida devido ao ambiente remoto onde ela foi realizada, uma vez que comentários como esses apresentados teriam sido trazidos para a discussão. O ideal seria, após a devolutiva das rubricas, realizar uma conversa

com toda a classe levantando as potencialidades do simulador construído e verificando as limitações apresentadas por ele.

4.3.2. *Análise sob a ótica da investigação e da modelagem*

As duas primeiras partes da terceira iteração (*Experimento do trem e Simulador de lançamentos*) priorizavam o desenvolvimento e o exercício de certo conjunto de *habilidades* como a realização de medidas, o uso de planilhas eletrônicas, a construção de gráficos, o ajuste de funções e a implementação de fórmulas, sem reduzir os conteúdos conceituais de cinemática que são tão necessários para a simulação. A finalização dessa parte (*Lançamento nos esportes*), por sua vez, prezava pela mobilização de todas essas habilidades para a resolução de um problema inerente a um novo contexto, com potencial maior de atribuição de significados pelos alunos. Essa última etapa buscava favorecer o desenvolvimento de uma *competência* associada à iniciativa de modelização com a implementação computacional das equações teóricas.

À luz da concepção modelo-teórica da Ciência, é interessante reconhecer, no curso da sequência didática apresentada, como seus elementos e particularidades podem ser relacionados com as ideias de Giere (1988). Os fenômenos estudados nela, como o lançamento da bola desde a chaminé do trem ou em uma das modalidades esportivas, são filmados, o que não os descaracteriza como sistemas físicos reais, apenas limitam as formas de apreensão que os alunos terão acerca dos mesmos: (i) o movimento da bola lançada desde a chaminé pode ser medido, uma vez que existe em cada quadro da filmagem um código de tempo e uma referência quadriculada para leitura das coordenadas, e (ii) o movimento da bola de basquete/dardo, por sua vez, pode ter seus parâmetros estimados, tanto a partir dos vídeos, quanto a partir de dados médios e/ou padronizados da quadra ou do campo. A limitação vem do fato que o estudante não pode tentar reproduzir ou mudar o lançamento apenas com o vídeo.

Na segunda parte da experiência, propõe-se aos alunos a construção do gráfico da trajetória “real” da bola lançada da chaminé do trem a partir das funções horárias com parâmetros ajustados que tem incertezas decorrentes daquelas experimentais nas leituras de posição. Portanto, o próprio gráfico dessa trajetória “real” pressupõe um modelo, com aspectos de similaridade bem selecionados. A avaliação dos graus de similaridade, pelo menos nessa etapa, é encapsulada nos algoritmos da planilha eletrônica, uma vez que

normalmente não se propõe no Ensino Médio um aprofundamento nos métodos estatísticos para se problematizar as questões de medição e de ajuste dos coeficientes das funções.

Na terceira parte da experiência, quando os alunos são convidados a tentar reproduzir via simulação os lançamentos dos vídeos dos esportes, a avaliação dos graus de similaridade pode vir a ser relativamente mais explícita. Por exemplo, quando um aluno compara se o alcance calculado via simulação é compatível com a distância estimada ou medida do atleta à cesta, ele está operando com uma explícita seleção de um critério de aferição de um grau de similaridade. Entretanto, essa operação não necessariamente é formal e bem estruturada, principalmente caso seja baseada apenas em um ideal de bom senso e no nível de exigência subjetivo de cada aluno.

A avaliação dessa última parte sinalizou que a estrutura de três partes e a sequência de atividades propostas pareciam estar sendo adequadas para desenvolver os objetivos e habilidades estabelecidos. De maneira a concretizar essa percepção, a sequência de três anos de propostas foi analisada segundo a metodologia DBR e terá seus resultados apresentados no [Capítulo 5](#).

Capítulo 5

A DBR em análise

No Capítulo anterior foi apresentado o processo de análise realizado nas três iterações, no entanto, isso só foi possível após uma verificação da proposta geral. Cada uma delas assumiu alguns princípios de *design* característicos, o que possibilitou diferentes enfoques na atividade. Ao mesmo tempo, todo o processo dessas iterações foi fundamentado sob o marco de estudo da metodologia DBR, em especial, aquela apresentada por Easterday e colaboradores (EASTERDAY, LEWIS e GERBER, 2013). A Figura 61 organiza os referenciais adotados e como eles estão integrados ao processo de construção da sequência.

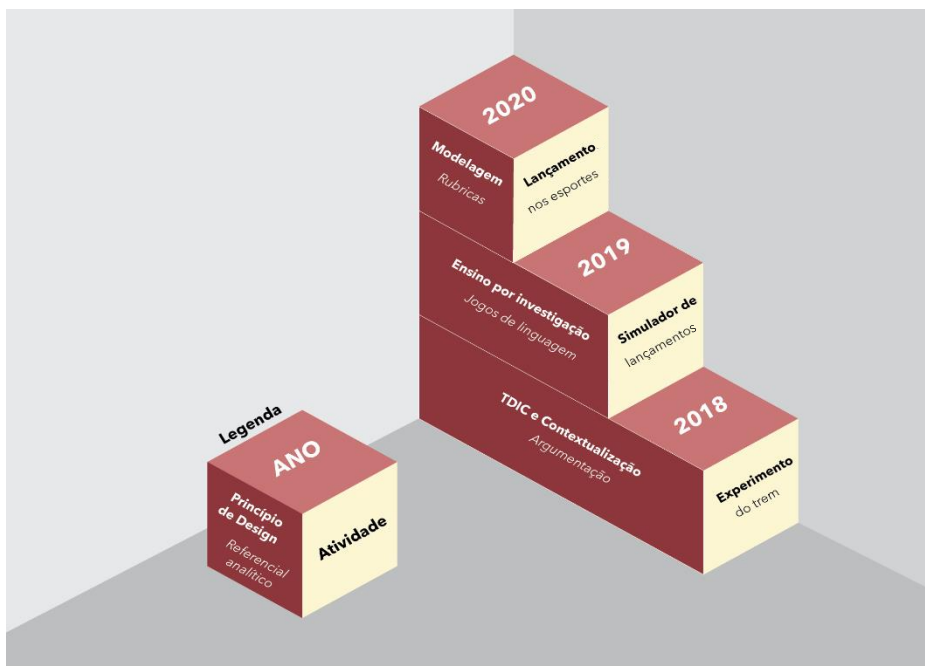


Figura 61: Referenciais aplicados à metodologia DBR.

A estrutura do projeto de pesquisa deste trabalho pode ser comparada aos degraus de uma escada. A cada novo degrau, o andar percorrido continua abaixo dele, ou seja, os princípios são cumulativos. Para cada ano foi concebida uma atividade, que é a parte frontal do degrau e em cada ano que passou a proposta continuou sendo desenvolvida, por isso a

cada ano que passa sempre se está em cima do degrau. O que sustenta cada degrau é um certo princípio de *design* (em negrito) e um certo marco analítico (em itálico). Nessa ilustração está contemplada tanto a evolução ao longo dos anos, subindo os degraus, quanto a questão de as atividades serem cumulativas, a cada ano se está acima dos degraus que estruturam a proposta desde o início. O marco referencial maior, que é o DBR está permeando todos os andares, por isso foi ilustrado como a parede lateral dessa escada, que serve de apoio para todo o percurso.

A partir dessa organização, será apresentado como se desenvolveu esse processo dentro da perspectiva DBR e como as adaptações realizadas a cada ano foram possíveis. O quadro a seguir sintetiza como cada um dos estágios propostos por Easterday e colaboradores (EASTERDAY, LEWIS e GERBER, 2013) se aplicaram na construção das atividades, de modo que na sequência a iteração de cada ano será explorada em detalhes.

Quadro 25: Etapas da DBR (EASTERDAY, LEWIS e GERBER, 2013) aplicadas à sequência investigativa.

	2018	2019	2020
FOCO 	TDIC, contextualização e argumentação.	TDIC, contextualização, argumentação e investigação.	TDIC, contextualização, argumentação, investigação e modelagem.
COMPREENSÃO 	Atividades anteriores apresentavam roteiro fechado e sem abertura para novos caminhos de resolução.	Experimento online favorece o uso de planilhas computacionais, mas limita o estudo sob outras condições iniciais e parâmetros.	A construção do simulador favorece o uso de planilhas computacionais, mas ainda limita a compreensão do modelo teórico usado.
DEFINIÇÃO 	Como contextualizar? Como dar mais abertura à proposta?	Como aproveitar os recursos computacionais no desenvolvimento de habilidades investigativas?	Como compreender o simulador como uma ferramenta investigativa? Como evidenciar as limitações do seu modelo teórico?
CONCEPÇÃO 	Pergunta direcionadora. Elaboração de argumento.	Experimento em duas etapas. Construção de um simulador de trajetórias. Proposição de um problema fictício e teórico.	Experimento em três etapas. Manter a construção do simulador e substituir o problema fictício por um real.
CONSTRUÇÃO 	Roteiro com pergunta direcionadora cuja resposta seria dada com a escrita de um argumento.	Complementação do experimento online com a construção de um simulador de trajetórias. Resolução de um problema fictício.	Complementação do experimento com a construção de um simulador que represente a trajetória vista em um vídeo de lançamento nos esportes.
AVALIAÇÃO 	Compreensão do fenômeno estudado. Argumento foi insuficiente para abertura da atividade.	Simulador favoreceu o processo investigativo. O problema fictício evidenciou limitações no modelo do simulador.	O simulador do movimento real evidenciou as limitações do modelo teórico.

A estratégia DBR guiou todo o processo de implementação da sequência de atividades até a sua generalização para situações maiores ou menores, permitindo que ao longo das constantes iterações, novos referenciais fossem agregados e novos objetivos estabelecidos. Entende-se a metodologia DBR adequada para esse fim uma vez que permite a consolidação de um produto, assim como defende Kneubil e Pietrocola (KNEUBIL e PIETROCOLA, 2017) e Easterday e colaboradores (EASTERDAY e D. R. LEWIS, 2014), que destacam a construção de algo ao final de cada iteração.

5.1. A contextualização e a argumentação (2018)

Nesse ano aconteceu a primeira tentativa de renovar as propostas do ambiente online MEXI, buscando contextualizar conteúdos teóricos com situações experimentais, esperava-se que a atividade promovesse habilidades relevantes no fazer científico, especialmente a argumentação.

Uma vez delimitados os princípios do *design* no qual a atividade a ser proposta se fundamentaria, estava definido seu **foco**. Por se tratar de um laboratório online tomou-se por base referenciais que orientavam como fazer uso das TDIC no ambiente escolar (PEDASTEIA, MÄEOTSA, *et al.*, 2015; XENOFONTOS, ZACHARIA e HOVARDAS, 2018; SUÁREZ, SPECHTA, *et al.*, 2017); em relação à contextualização (OERS, 1998; MARCHÁN-CARVAJAL e SANMARTÍ, 2015; BULTE, WESTBROEK, *et al.*, 2007), recorreu-se a outros referenciais que direcionassem esse uso de modo a tornar o objetivo das atividades mais aplicado à uma situação da realidade do aluno. O desejo de renovação do ambiente online começou devido ao fato de os roteiros propostos serem compostos de itens, os quais os estudantes seguiam sem muita abertura para propor novas metodologias e diferentes encaminhamentos de resolução. Os resultados pouco efetivos, foram decisivos para uma mudança estrutural da proposta até então oferecida. Essa **compreensão** foi estabelecida mais em relação aos professores que aplicavam a atividade, de modo que o roteiro proposto no site sofreu modificações visando uma maior liberdade de atuação dos estudantes. O roteiro reformulado foi aquele usado na aplicação de 2018 e cujos resultados foram apresentados anteriormente.

Uma vez compreendidas as mudanças que se viam necessárias, passou-se a levantar questionamentos sobre como tornar efetiva as alterações almejadas para a proposta: *Como contextualizar as atividades? Como possibilitar a autonomia dos estudantes na realização das atividades? Seria possível a elaboração de um argumento que consolidasse os objetivos*

da atividade? Qual situação do cotidiano poderia ser comparada com o experimento online? Como os alunos poderiam desenvolver uma investigação mais aberta com o experimento online?

A **definição** dessas questões e um posterior processo de delimitação daquelas que se mostravam mais executáveis para o momento foram então selecionadas para que efetivamente pudessem ser **concebidas**. No novo roteiro, elaborou-se uma questão norteadora que fosse significativa para a realização do experimento online e que trazia a mesma concepção de contextualização proposta por Oers (OERS, 1998). Essa primeira modificação na estrutura da atividade se deu com a requisição de um argumento, descrito no [Capítulo 1](#).

Ele era proposto ao final do roteiro e tinha por objetivo proporcionar um momento de síntese e reflexão sobre a atividade. Em sua estrutura deveria ser possível identificar *evidência*, *raciocínio* e *conclusão*, elementos esses que foram adaptados do modelo de Lawson e Toulmin (LOCATELLI e CARVALHO, 2007). A apresentação de um argumento que contemplasse essas partes era um indicativo de que a nova proposta havia tido uma boa recepção.

A **construção** da atividade se deu segundo a concepção apresentada, levando-se em conta a necessidade tanto de uma contextualização do problema quanto de uma elaboração argumentativa. O novo roteiro foi oferecido aos estudantes com uma pergunta que direcionava sua realização. A solicitação do argumento final visava resgatar essa questão de modo que fosse respondida de maneira reflexiva e fundamentada nos conhecimentos adquiridos ao longo do experimento.

Após a atividade e analisando-se os resultados apresentados desenvolveu-se um processo de **avaliação**. Em relação à contextualização, considerou-se que a situação do lançamento do trem e a questão motivadora, apesar de não ser uma situação corriqueira para os alunos, gerou certa curiosidade por buscarem compreender o motivo pelo qual a bola retornava para a chaminé. Como a situação do trem envolvia um conhecimento já visto em outro momento da vivência escolar, os estudantes precisaram mobilizá-los de modo a elaborar uma explicação satisfatória. A solicitação de se elaborar um argumento foi uma tentativa para verificar o quanto o experimento era realmente contextualizador, fornecendo aos alunos a oportunidade de acionar seus conhecimentos científicos de modo coordenado.

A maneira como a atividade foi proposta ainda se mostrou bastante roteirizada, limitando em partes o desenvolvimento de um raciocínio mais reflexivo e autônomo que

buscasse responder o problema proposto. A liberdade em fazer questionamentos acerca do fenômeno ainda pareceu um pouco limitada, muitas das solicitações contidas no roteiro poderiam ser ações que partiam do próprio estudante. A situação problema proposta inicialmente contextualizou os conteúdos teóricos acerca do lançamento oblíquo, no entanto apontou para novas melhorias que poderiam ser implementadas. Percebeu-se na questão de elaboração do argumento uma dificuldade para se avaliar algumas habilidades como, por exemplo, o uso das planilhas computacionais, a interpretação de gráficos e ajuste de funções, a extração de informações a partir de uma função ajustada na planilha etc.

Iniciou-se então um novo desafio: repensar e adaptar a proposta, de maneira que ela permitisse explorar mais livremente o experimento e tivesse mais espaço para levantar questionamentos sobre o movimento em estudo. Uma complicação nesse caso se deu pelo fato de ser difícil usar um experimento online para criar esse ambiente, já que ele foi originalmente concebido para testar teorias já estabelecidas. Dessa forma, viu-se a necessidade de trazer um novo elemento ao trabalho, e por isso recorreu-se a novos princípios de *design*. No caso do movimento do trem pensou-se em duas estratégias: estudar o movimento da bolinha sob diferentes circunstâncias e realizar o mesmo estudo do lançamento em outra situação. O contexto educacional vivido no período em que a nova aplicação se realizou trouxe desafios ainda maiores em relação à nova perspectiva de formação almejada para estudantes do ensino médio.

5.2. As TDIC e a investigação (2019)

O contexto dessa aplicação foi permeado pela nova legislação apresentada pelo MEC, o que acabou indo ao encontro das percepções acerca da falta de autonomia dada aos alunos que a atividade de 2018 havia demonstrado. A sugestão de uma base nacional comum curricular (BNCC) mobilizou escolas a se adequarem às perspectivas, buscando novas alternativas para se desenvolver processos investigativos. Essa indicação fortaleceu as mudanças desejadas para a atividade, recorrendo-se assim à referenciais acerca da investigação (PEDASTEIA, MÄEOTSA, *et al.*, 2015; SASSERON e CARVALHO, 2008) para complementar os princípios do *design* da contextualização, TDIC e argumentação. Esse novo foco exigiu uma busca por publicações que trabalhassem com laboratórios online investigativos (HECK e UYLINGS, 2011; AHLAM e MICHAL, 2016; RODRIGUES e CARVALHO, 2013).

A definição de um novo **foco** e a posterior busca por trabalhos na área reforçou a nova perspectiva que vinha-se pensando para a atividade. A necessidade de oferecer um espaço onde o aluno tivesse mais autonomia ia requerer ajustes no atual experimento usado, que permitia apenas uma análise única, sem muitas possibilidades de resultados diferenciados. A **compreensão** da proposta permitiu validar o experimento online como uma contribuição no desenvolvimento de habilidades que valorizassem o uso de planilhas computacionais. A inserção da questão norteadora manteve a proposta aplicada a um contexto que se mostrava convidativo à análise dos alunos. No entanto, como o experimento analisado não permitia uma aleatoriedade na coleta de dados, uma vez que se baseava em imagens de um único movimento, ou ainda, a impossibilidade de obter resultados diferenciados estudando o movimento do trem com outros valores de velocidade, via-se assim uma limitação em tal proposta. Essa questão levou a novas **definições**.

Ao trazer um caráter investigativo à atividade, ela tornou-se mais passível de se levantar questionamentos acerca do que seu estudo envolvia. *Como possibilitar o desenvolvimento de uma investigação a partir do experimento online? Como aproveitar os recursos computacionais no desenvolvimento de habilidades investigativas?* Essas indagações acabaram por direcionar a proposta original para um novo rumo. Após diálogos entre professores e pesquisadores, optou-se por dividir a atividade em duas etapas. Assim, seriam valorizadas habilidades em relação ao uso do computador, construção de planilhas e análise de dados na primeira parte e uma vez aptos, os próprios estudantes desenvolveriam uma ferramenta investigativa, aplicando as habilidades para investigar mais a fundo o lançamento oblíquo. Nessa nova **concepção**, foi também proposto um problema fictício onde as habilidades dessas duas etapas eram usadas para resolvê-lo.

A **construção** da proposta que foi aplicada em 2019 contou com a manutenção do experimento online original para aprendizagem do uso de planilhas computacionais, de modo que ele teve seu estudo complementado com a construção de um simulador de trajetórias, que permitia reproduzir aquela vista no experimento online além de fazer alterações nos parâmetros iniciais do movimento e assim prever outras com diferentes condições de lançamento. Além disso, a nova proposta contou com um problema fictício e teórico onde as habilidades desenvolvidas até o momento poderiam ser aplicadas.

A **avaliação** da proposta nesses moldes mostrou que a construção do simulador de trajetórias permitiu expandir o estudo do experimento online dando mais autonomia na investigação dos estudantes. O problema fictício proposto, apesar de ter favorecido a

aplicação de algumas habilidades, não permitiu a percepção das limitações do modelo utilizado no simulador, já que, ao simular as trajetórias nas planilhas computacionais acabava-se desprezando algumas variáveis que atuavam naturalmente no movimento estudado. Por ser um problema fictício, não havia necessidades de se validar ou verificar essas condições.

A proposta consolidou a certeza do potencial do experimento online para desenvolver habilidades tanto na área das tecnologias quanto na relação dos alunos com alguns conceitos físicos da mecânica que se mostram necessários na formação básica. A identificação de funções horárias de movimento de uma situação real, tal como o lançamento da bolinha no trem, e a posterior construção de um simulador para esse movimento abriu possibilidades de testes que permitiram que aquela situação real limitada a uma única velocidade, pudesse ser explorada sob diferentes condições.

Apesar de se entender que a própria construção do simulador já abriria margem para um processo investigativo, resolveu-se estender a proposta para um problema aberto no qual os estudantes tivessem uma liberdade de escolha ainda maior, por isso a proposição do lançamento do Zezé. Mesmo com uma boa aceitação por parte dos estudantes, e com a construção de bons simuladores por parte deles, havia ainda certo desconforto em relação a duas questões: até que ponto o simulador construído estaria retratando a situação real e, no caso de representar, não existiriam limitações dadas as considerações feitas na sua construção?

Essas questões levaram à reflexão sobre a necessidade de discutir com os estudantes as reais limitações que o simulador trazia. Durante sua construção, eram feitas considerações que resgatavam os conceitos básicos referentes ao lançamento oblíquo, no entanto, em uma situação real fatores externos ao movimento acabavam sendo desconsiderados. Tendo em vista esses questionamentos, buscou-se uma maneira de abordar com os alunos o fato de que o simulador construído era na verdade um modelo de lançamento oblíquo que se limitava a um conjunto de considerações feitas a priori, mas que poderia ter sua validade testada e seus limites de funcionamento impostos a partir da análise de uma situação real. Dessa forma, a proposta foi novamente adaptada, de modo que a etapa final de construção do simulador de lançamento do Zezé foi substituída pela construção de um simulador que representasse um movimento real de lançamento nos esportes. No caso, optou-se por estudar arremessos de basquete e lançamentos de dardo, uma vez que eles permitiriam testar a validade do modelo empregado na construção do simulador. Para que essa proposta fosse complementada foi

necessário aprofundar-se na compreensão de como a modelagem tem sido aplicada na condução de atividades que se valem do uso das TDIC para que assim a reformulação para o ano seguinte fosse construída dentro desse âmbito.

5.3. A modelagem (2020)

Uma vez estabelecido o novo contexto no qual o ensino médio se encontrava, o caráter investigativo da proposta de 2020, além de ganhar respaldo por parte da legislação (BRASIL, 2018), ainda estava sendo vista como potencialmente eficaz para que os alunos desenvolvessem habilidades na área das ciências.

O simulador em si não seria um modelo, mas uma ferramenta que permitia explorar, até certo nível, as potencialidades do modelo de lançamento oblíquo da mecânica. Por isso, para dar um novo **foco** à atividade foi necessário estabelecer mais um princípio do *design*: a modelagem (GIERE, 1999; ADÚRIZ-BRAVO, 2019; PSYCHARIS, 2008). Dentre as diferentes abordagens sobre o tema, optou-se por adotar referenciais que seguissem a proposta apresentada por Giere no [item 2 do Capítulo 1](#) para os modelos representacionais, no entanto, mantendo todos os princípios anteriormente estabelecidos.

A **compreensão** da proposta de 2020 firmou a certeza de que as TDIC, ao favorecer a construção de um experimento online, possibilitava que os estudantes desenvolvessem habilidades no manuseio de ferramentas computacionais. A contextualização, por sua vez, trouxe uma questão direcionadora que permitiu trazer uma análise mais objetiva do experimento; a investigação trouxe uma etapa para a atividade em que seria necessário aplicar habilidades já desenvolvidas em novas situações; a argumentação, necessária para avaliar se as análises realizadas no experimento online, se manteria caso se alterassem os parâmetros iniciais do lançamento fortalecendo a constatação das limitações que o modelo construído apresentava. Foi essa última percepção que trouxe a clareza da necessidade de recorrer à abordagem da modelagem para complementar a atividade.

As limitações do simulador construído direcionaram para uma **definição** da proposta, na qual houve o reconhecimento dele como ferramenta investigativa baseada em um modelo teórico e cujas limitações poderiam ser evidenciadas quando aplicado a uma situação real. Com esse entendimento, a **concepção** de uma nova proposta para a atividade foi possível, agora dividida em três partes.

Nessa formulação, manteve-se na primeira etapa a análise do experimento online e todo seu processo envolvendo ferramentas computacionais; a segunda etapa continuou sendo

a construção do simulador da trajetória estudada anteriormente e agora complementada com possibilidades de alteração de condições iniciais que permitam modificar aspectos do movimento. Na última etapa ocorreu a aplicação das habilidades desenvolvidas até o momento em uma situação real vista em vídeo. O princípio do *design* incorporado nessa reformulação de 2020 ganhou considerável destaque. Foi a compreensão da modelagem adotada que permitiu a comparação entre uma situação filmada com sua representação, verificando se o modelo estabelecido era adequado e suficiente para reproduzir a realidade.

A **construção** da proposta foi então reajustada substituindo-se o antigo problema fictício por uma situação real de lançamento no contexto dos esportes. O grande diferencial dessa atividade foi que, apesar da semelhança com a primeira e segunda etapas, na situação real escolhida nessa última parte existiam outras interações envolvidas que não estavam sendo contempladas no modelo de lançamento oblíquo adotado. No caso do experimento online do trem, a resistência do ar, por exemplo, não influenciava a construção da trajetória no simulador, no entanto, no contexto dos esportes esse fato poderia ser relevante.

Na avaliação feita dessa última reformulação pode-se notar a relevância de escolher um modelo que se adequasse à realidade. Apesar do quadro teórico a respeito da modelagem não ter sido explicitamente usado pelos alunos na atividade, ele serviu de inspiração para a equipe que formulou a atividade, desenvolvendo um repertório maior de conhecimento que pudesse ser usado para auxiliar os estudantes na construção dos seus simuladores, ajudando-os a compreender se o simulador por eles construído dava conta de representar o lançamento visto no vídeo.

Aplicando o modelo representacional de Giere, o lançamento da bolinha do trem ou da bola de basquete ou dardo, eram os fatos do mundo que estavam sendo observados (extremidade direita inferior da Figura 11). A linguagem usada para ler esses fatos, foi a teoria mecânica, com todos os conceitos newtonianos de tempo e de espaço, conceitos de velocidade e aceleração, de variável, de função horária; todo esse conjunto de normas de representação de parâmetros e variáveis em gráficos e tabelas, que possui definição e que é simbólico e permite esquematização, fazem parte da linguagem representada no modelo de Giere. É o rearranjo dessa teoria, com uma certa intencionalidade, que permitiu a construção do modelo. Quando os alunos obtêm o conjunto de equações para S_x e S_y e fazem com que ambos se relacionem através do tempo para representar um gráfico de trajetória está ocorrendo a interpretação do fenômeno. Foi esse modelo, com representação abstrata que permitiu, de uma certa forma, verificar se esse modo ideal de olhar para a situação é

adequado ou não. A medida dessa adequação foi feita através da similaridade, critério esse que pode afirmar ou negar as hipóteses teóricas que são colocadas, sendo que estas são sempre no sentido de verificar se o modelo representa bem ou não certo fenômeno.

Dentro da própria atividade, alguns elementos permitiram que os alunos fizessem essa verificação. Quando eles construíram um gráfico através das medidas realizadas nos quadros da imagem, e após isso construíram um gráfico relativo ao cálculo a partir das funções horárias, definiu-se uma maneira mesmo que intencional de permitir que aferissem essa semelhança entre o modelo teórico da mecânica e o fenômeno mais realista que eles tentaram interpretar ou medir. No caso da construção do simulador do atleta, a compatibilidade era verificada a partir da primeira tentativa de reproduzir, no simulador, a jogada que haviam visto no vídeo.

Para que essa reflexão por parte dos alunos fosse possível foi imprescindível a opção por iniciar a sequência de atividades com o experimento do trem. A iniciação no uso das planilhas a partir do estudo de um movimento real e a construção de um simulador para o movimento visto previamente preparou os alunos para aplicação daquele conhecimento em uma situação mais aberta. Além disso, permitiu que eles vivenciassem o uso da ferramenta em uma situação mais próxima da realidade. A aplicação em situações esportivas pareceu trazer aos alunos uma satisfação maior, uma vez que se viam diante da possibilidade de prever lançamentos que poderiam ser realizados pelos atletas.

Após o processo de construção do simulador e dos diversos testes realizados na busca de um lançamento de sucesso, era importante que fosse realizada uma reflexão sobre a validade daquilo que havia sido construído. Mais do que conseguir construir um simulador que representasse as trajetórias dos lançamentos, era pensar se ele estaria retratando o movimento real. Ao final da atividade era esperado que os alunos notassem que existem muitas variáveis que estão sendo desconsideradas na construção do simulador, como a resistência do ar agindo sobre a bola/dardo e, portanto, modificando o alcance que poderia ser estimado ou até mesmo a aerodinâmica do dardo durante o voo.

Os alunos deveriam se conscientizar de que se fossem tentar reproduzir as condições do lançamento, seria necessário incrementar o simulador com outras variáveis de modo a tentar cobrir todas aquelas do entorno tornando-o o mais realista possível. Apesar disso, era importante que se notasse o potencial de construção de um simulador e como a combinação de conhecimentos físicos e tecnológicos permitem a criação de ferramentas investigativas de análise, possibilitando a exploração de cenários diversos sob diferentes condições.

A proposta de 2020 foi a mais abrangente e que agregou um maior número de elementos que se entende como necessários para o desenvolvimento de habilidades que permitam uma investigação científica promissora. Usando a mesma expressão cunhada por Cobb e colaboradores (COBB, CONFREY, *et al.*, 2003), com ela foi possível estabelecer-se o experimento online do MEXI como uma *âncora* que desencadeou todo o processo investigativo, definindo assim momentos ao longo da atividade para que as habilidades científicas pudessem ser desenvolvidas.

Assim, pautando-se na maneira como a proposta de investigação foi construída e de como se concretizou em 2020, será apresentada, no Capítulo 6, uma proposta para se desenvolver investigações de maneira progressiva.

Capítulo 6

A investigação progressiva NAED

Ao se propor uma atividade investigativa para alunos de ensino médio, espera-se proporcionar momentos em que seja possível desenvolver o raciocínio acerca de fenômenos, apresentando estratégias para deduzir seu comportamento a partir de uma análise experimental que lhes dê indícios para prever e explicar situações de mesma natureza. Com essa abordagem espera-se familiarizar os estudantes com o cotidiano de um pesquisador permitindo que desenvolvam habilidades típicas desse contexto. Em suas etapas não há o intuito de fazer com que eles “redescubram” conceitos já formalizados, mas sim que sejam colocados frente a um problema novo e a partir de questionamentos levantados sejam capazes de formalizar conclusões por meio de uma capacitação prévia e de conhecimentos que já possuem.

Por se tratar de uma nova postura a ser adotada pelos estudantes, esta proposta busca explicitar as etapas necessárias para o bom andamento da atividade. No decorrer dela, os alunos são estimulados a realizar questionamentos, fazendo perguntas que ajudem a dar um direcionamento para sua resolução. Espera-se também que comecem a perceber e valorizar a tomada e análise dados, além de ampliar suas discussões e explicações acerca de possíveis incertezas. Se faz importante que notem a necessidade de realizar testes experimentais para verificar seus questionamentos e fundamentar suas futuras conclusões.

Na rotina de um pesquisador, a divulgação dos resultados encontrados é essencial para o meio científico, por esse motivo, é importante a formalização dos resultados do trabalho por meio da elaboração de um relato. É desejável que no resumo dessa produção sejam retratados o problema investigado e os questionamentos levantados, as evidências observadas, o raciocínio desenvolvido para unir o questionamento à experimentação e por fim chegar a uma conclusão que conecte todos os passos percorridos ao longo da atividade investigativa. Esse relato pode ser feito de maneira escrita ou por meio de uma apresentação gravada, como foi o caso da iteração de 2020.

Tendo em vista essas considerações acerca dos objetivos e das habilidades almejadas para um processo de ensino por investigação, e a partir dos resultados analisados das

iterações dos três anos, será apresentada aqui uma proposta de investigação progressiva para se desenvolver com alunos do ensino médio. A sequência é composta de quatro partes, cuja explicação será apresentada na sequência.

6.1. Nivelamento (N)

A fim de propor um processo investigativo coerente com um curso de nível médio, sugere-se que inicialmente seja realizada uma atividade com papel de *Nivelamento (N)*. Assim como em uma construção, antes de se iniciar uma edificação é necessário nivelar o terreno, aplainá-lo de modo a deixá-lo o mais uniforme possível. Como os conhecimentos e habilidades dos estudantes a respeito dos conteúdos que serão desenvolvidos podem ser diversos, uns podem ter mais aptidão, outros menos, por isso, a primeira atividade deve buscar resgatar e igualar as habilidades de todos, e até mesmo corrigir possíveis erros conceituais. Essa etapa é a base pois será nela que os alunos serão capacitados tecnicamente e ainda revisitarão conceitos já aprendidos em outros momentos. Vale aqui uma ressalva em relação à opção pela palavra *Nivelamento*. Apesar da conotação, não se tem a pretensão de que todos os alunos adquiram, de maneira igualitária, o mesmo conhecimento, a ideia dessa etapa é justamente buscar uma maneira de oferecer aos estudantes a oportunidade de desenvolver as mesmas habilidades, mesmo que em maior ou menor intensidade. Dependendo do problema que será proposto posteriormente, a atividade terá um foco diferente. No caso deste trabalho a atividade de capacitação foi realizada usando o experimento online do Trem. Com ela, requisitos que posteriormente seriam necessários como as habilidades de manuseio de planilhas computacionais e identificação de funções a partir de ajustes gráficos, foram trabalhados de modo a fornecer ferramentas para a resolução de um novo problema. Garantir esses requisitos por meio de uma atividade prévia oferece uma tranquilidade para que a futura investigação dos alunos flua mais livremente e eles se sintam à vontade para avaliar seus questionamentos com facilidade e agilidade. A princípio, essa proposta foi realizada a partir de um roteiro instrutivo mais detalhado. É evidente que essa etapa não precisa ser realizada dessa forma, pode-se pensar em um roteiro com questões mais abertas. A finalização dela se deu com um questionamento que foi respondido na sequência, quando os estudantes foram colocados a pensar em um possível desenvolvimento para o problema que seria resolvido a seguir. Aqui, a primeira parte foi finalizada com um questionamento sobre como seria possível representar a trajetória da bolinha a partir dos dados, o que de alguma forma já fazia-os lidar com os resultados obtidos de outra maneira.

Como toda construção, cada etapa do processo deve ser acompanhada por um mestre de obras. Qualquer imperfeição ou desalinhamento no que está sendo edificado deve ser vistoriado, avaliado e até mesmo interdito se necessário. No caso da sequência aqui proposta, toda ela deve ser acompanhada e mediada pelo professor, que deve avaliar o aproveitamento de cada uma e, se as condições forem favoráveis, dar prosseguimento a uma nova etapa.

6.2. Alicerce (A)

Uma vez que o *Nivelamento* se deu de maneira satisfatória e, segundo a avaliação do professor os estudantes adquiriram as habilidades necessárias para evoluir para uma nova fase, deve ser construído então o *Alicerce (A)*, que foi realizado com a construção do simulador de trajetórias do trem, onde, a partir dos dados coletados inicialmente foi possível extrapolar a situação testando condições de lançamentos diferentes daquela vista no vídeo do experimento online. A ideia é construir acima do nivelamento uma estrutura que forneça alguma base inicial. Se antes o objetivo era igualar o conhecimento dos alunos, ou ao menos tentar retomar coisas que já eram sabidas e trabalhá-las em um contexto que colocasse todos os estudantes em nível de igualdade, agora, no levantamento do *Alicerce*, são sugeridas construções iniciais, que servirão de base para edificações posteriores mais robustas. Nesse momento deve retomar o que se viu anteriormente de modo a extrapolar aquele conhecimento, propondo-se uma complementação. O apoio que será trazido, deve permitir aos estudantes uma liberdade maior de articulação, que eles possam realizar questionamentos e testes a partir daquele conhecimento que se dispuserem a aprofundar. Os estudantes foram orientados sobre como se representaria uma trajetória a partir dos gráficos construídos nas planilhas de cálculo, e como aqueles dados poderiam compor o simulador. Para tanto, antes de efetivamente construí-lo, foi necessário questionar-se sobre qual grandeza, aceleração da gravidade, velocidade inicial, ângulo de lançamento, seria a responsável por modificar a trajetória da bola. Uma vez que esse questionamento foi respondido, os alunos construíram o simulador de modo a deixar essa grandeza variável, onde esse valor poderia ser modificado na planilha e assim alterar os valores de posição que viriam a compor a trajetória representada. A manipulação do simulador, a compreensão do que representam o excesso ou falta de pontos na trajetória, como ela se expande ou contrai dependendo dos valores de velocidade, toda essa exploração se mostrava necessária para que se adquirisse uma destreza maior e uma compreensão mais apurada para se lidar com o

estudo do movimento a partir do simulador. Assim, esse estágio serve como uma investigação prévia, onde o conteúdo envolvido no estudo posterior já começa a ser explorado e refletido na construção do *Alicerce*.

Da mesma forma que o nivelamento, ao final da proposta de *Alicerce* deve-se lançar um questionamento que coloque o aluno a aplicar aquele conhecimento desenvolvido nessa nova situação. Depois que os estudantes construíram e exploraram seus simuladores de lançamento da bola, foi apresentado a eles um vídeo de um lançamento oblíquo nos esportes. A questão que finalizava essa fase solicitava que refletissem sobre quais grandezas poderiam ser extraídas do vídeo e como, a partir delas, poderia ser possível representar a trajetória vista. De alguma forma esse questionamento já iniciava a investigação que viria na sequência.

Durante a construção do *Alicerce* o professor deve se mostrar continuamente atento à produção dos estudantes, mantendo um direcionamento constante, sempre vigilante em relação à construção deles, dando apoio aos questionamentos e orientação nas execuções. Deve se encarregar de verificar as suas produções parciais buscando estabelecer um método de comparação entre as diferentes estratégias usadas por eles. O professor deve verificar o quanto aquilo proposto foi compreendido pelos alunos e até onde chegou a investigação deles. Um processo interessante para ser usado em atividades desse tipo é o uso de rubricas, onde as ideias recorrentes podem ser classificadas em diferentes instâncias. As rubricas são criadas ao longo dessa etapa, de modo que à medida que as produções dos alunos são lidas e os critérios de comparação entre uns e outros estabelecidos, ela se define. Assim, ela deve explicitar de maneira clara o desempenho dos alunos, a dedicação na realização da atividade, a qualidade da resolução, a qualidade do método experimental utilizado etc. A rubrica pode, de alguma forma, ressaltar as características inerentes à investigação já citadas e com isso elucidar aos alunos como cada estágio do trabalho desenvolvido por ele se enquadra na postura de um pesquisador.

6.3. Edificação (E)

Uma vez que as bases foram bem estabelecidas e os estudantes desenvolveram boas estratégias, por conta de um *alicerce* bem construído, para dar continuidade ao processo investigativo, deve-se iniciar a **Edificação (E)**. Aqui, a investigação será apresentada em sua completude, fornecendo um direcionamento inicial. A princípio parece que a solução é similar àquela realizada na etapa de construção do *Alicerce*, no entanto, nota-se que se a base

foi bem construída, a nova questão será solucionada. Caso o nível ou base estejam deficientes ou com lacunas de desenvolvimento, o novo problema demandará um tempo maior de execução e um despendimento maior para sua realização, visto que as habilidades desenvolvidas anteriormente são necessárias para sua solução. Essa proposta carrega consigo novos objetivos específicos, por exemplo, pode visar desenvolver estratégias metodológicas de pesquisa, refletir sobre qual a relação entre experimentos de laboratório e suas aplicações em produtos comerciais, verificar se conteúdos teóricos vistos em sala de aula se aplicam a situações do cotidiano etc. No caso deste trabalho, devido ao contexto no qual a aplicação se inseria, optou-se por desenvolver uma atividade que buscava desenvolver conteúdos vistos nas aulas teóricas de Física de modo a, na etapa final da sequência, verificar seu nível de validade quando aplicado a uma situação real. É nesse momento em que a aparente similaridade entre a etapa anterior é diluída, visto que os estudantes precisam levantar questionamentos sobre o novo ambiente em que a questão está situada, se as mesmas considerações feitas anteriormente continuam valendo e como podem ser consideradas nesse contexto. Além de apresentar um vídeo e questionar sobre uma maneira de representar aquela trajetória, foi solicitado que se resolvesse um lançamento de sucesso. Os alunos deveriam investigar sob quais condições um lançamento nos esportes alcançaria bons resultados. Deve-se cuidar para que a situação seja suficientemente instigante para provocar o aluno, como para que eles criem seus questionamentos de resolução. O professor deve incitar especulações dos mais diversos tipos, orientando para que os alunos pensem em maneiras “concretas” de resolução, propondo um possível plano de trabalho que auxilie no teste dos questionamentos. No caso da atividade desenvolvida, os testes experimentais foram feitos usando o simulador construído, no entanto em atividades de outro caráter nada impede que tais testes sejam feitos usando aparatos experimentais.

Nessa etapa, os questionamentos devem convergir ou ao menos indicar uma possível metodologia de resolução. No caso da atividade apresentada, a construção do simulador se mostrou como adequado para poder testar os questionamentos, apesar disso, alguns alunos iniciaram seus testes efetuando cálculos manualmente. Entende-se aqui que a diversidade de testes, com diferentes montagens experimentais, para o caso de outras atividades, enriquece o procedimento investigativo, no entanto, a mesma estratégia pode ser usada para estudar parâmetros diversos, com mudanças de variáveis dependendo da situação escolhida. O professor tem um papel fundamental nessa etapa de acompanhar o processo de análise dos estudantes, não deixando que eles se limitem a análises superficiais, é importante que os

dados a partir de testes experimentais sejam tratados, analisados e confrontados com os questionamentos inicialmente levantados. Por exemplo, no caso do simulador criado na atividade aqui descrita os alunos conseguiam reproduzir a jogada vista em vídeo dentro de um certo limite, sendo possível especular por quais motivos a trajetória simulada não se mostrava completamente compatível com a real. Foi nessa etapa da atividade que muitos estudantes se deram conta que o modelo usado para construir o simulador não era suficiente para representar a situação vista no vídeo, ou seja, as considerações feitas para o tipo de movimento eram aproximações que não davam conta de retratar o fenômeno tal qual a realidade. O professor deve, nesse momento motivar os estudantes para que acreditem no potencial do que construíram, aproveitando a oportunidade para retomar os conteúdos embutidos na proposta e discuti-los à luz das questões que forem surgindo.

6.4. Divulgação (D)

A finalização de um trabalho de pesquisa deve acontecer por meio de uma *Divulgação*. Sugere-se que toda a investigação seja sintetizada de forma oral ou de maneira escrita, por meio de um relato. Nesse caso, sugerir uma estrutura simplificada com os componentes mínimos do relato pode vir a limitar o aluno, como visto na análise descrita na aplicação de 2019. Quanto mais aberto for o problema e menos requisições houver, maior a chance de os alunos apresentarem diferentes linhas de raciocínio. No ano de 2020, a apresentação desse trabalho por parte dos alunos se deu através de uma gravação de tela, onde eles interagiam com o simulador construído em funcionamento. No vídeo, mostraram o lançamento estudado e os parâmetros escolhidos (S_{ox} , S_{oy} , V_x , V_{oy} e g), explicaram o funcionamento do simulador e como ele se comportava à medida que se alteravam os valores de velocidade. A opção de solicitar uma gravação para os estudantes se deu por conta de que a avaliação da planilha que eles poderiam entregar não dariam a dimensão da compreensão em relação ao que foi produzido. Assim, quando eles interagem com o simulador e explicavam para que servia cada parâmetro e como era possível obter trajetórias a partir deles, era notável o quanto dominavam aquela ferramenta. Nesse sentido, o relato também deve se mostrar como uma opção, no entanto é de extrema importância que as produções sejam socializadas e apresentadas para os colegas, tal como ocorre nas produções científicas.

As etapas da sequência aqui apresentada visam induzir progressivamente situações investigativas, estimulando aos poucos a autonomia dos estudantes para que possam desenvolver uma solução para um problema proposto.

Cada intervenção pode ser vista como etapas de um processo de construção, onde inicialmente prepara-se o terreno, nivelando-o da maneira mais uniforme possível. O alicerce fornece uma base inicial para que a finalização do que se está construindo seja bem-sucedido. Uma vez finalizada, a obra realizada pode ser divulgada para que outros a conheçam, como se estivesse “aberta para visitação”. Não se trata de uma venda de informa es, mas de uma maneira de divulgar a relevância daquilo que se construiu, abrindo margem para que outros possam se inspirar, ter ideias e desenvolver constru es que sigam as mesmas etapas. Estabelecendo uma analogia a partir da nomenclatura proposta pode-se pensar nas etapas de uma constru o conforme a Figura 62 abaixo:



Figura 62: Esquema NAED para a atividade apresentada. A placa pequena representa a etapa de Divulga o.

Ao final da sequência investigativa, o professor deve realizar uma devolutiva. Nessa finaliza o, todos os resultados dos alunos deverão ser compartilhados com toda a sala. A ideia   que as diferentes metodologias sejam conhecidas como um todo e que possíveis equívocos ou erros conceituais possam ser sanados. O professor também deve apontar para as limita es que a atividade poderia carregar e a necessidade de fazer essa ressalva ao longo da investiga o desenvolvida. O momento de devolutiva deveria ocorrer como um “minicongresso científico”, onde os alunos pudessem conhecer diferentes maneiras de se resolver o mesmo problema, reconhecendo a diversidade de resultados possíveis quando se escolhe uma metodologia mais ou menos apropriada. Lembrando sempre que retomar os já citados objetivos das atividades investigativas sempre se faz necessário de modo a interiorizar cada vez mais nos alunos a postura científica.

A estrutura de trs etapas para prepara o e uma quarta etapa de divulga o se mostrou possível de realizar enquanto uma estratégia para abordagens investigativas. Das aplica es

realizadas pode-se verificar que as instâncias nivelamento, alicerce, edificação e divulgação podem ser implantados tanto em atividades menores, mas que contenha de alguma forma essas subdivisões, em um conjunto de atividades como foi a sequência deste trabalho ou até mesmo em um espaço maior, como um curso, onde cada módulo tem o objetivo formativo de preparar o estudante em cada habilidade.

Esta sequência progressiva foi realizada nas aulas de laboratório de Ciências, no entanto, ao final das iterações acabou por se consolidar no colégio uma estrutura de curso que segue tanto em sua estrutura geral, quanto de atividades individuais, a proposta NAED. Esse curso foi nomeado Laboratório Investigativo de Ciências (LABIC) e será mais bem descrito a seguir.

6.5. NAED na prática – O Laboratório Investigativo de Ciências (LABIC)

A primeira tentativa de cumprimento da BNCC foi iniciada entre 2017 e 2018 no Colégio Santa Cruz, com a adequação da carga horária das disciplinas regulares do núcleo comum e a possibilidade de oferecimento de diversos itinerários formativos a partir de disciplinas eletivas. Além disso, a BNCC trouxe uma nova proposta de organização das disciplinas. As Ciências da Natureza em especial, passaria a ser tratada como uma grande área onde disciplinas até então separadas (Biologia, Química e Física) deveriam coexistir. A maneira como ela deve ser implantada não se mostra de todo clara no documento (BRASIL, 2018), no entanto, buscando uma integração possível, o colégio uniu as três disciplinas em um ambiente único chamado Laboratório Investigativo de Ciências (LABIC), mantendo o número de horas de cada disciplina ministrada individualmente. Essa disciplina compõe a grade horária do núcleo comum da 1ª série do Ensino Médio com uma aula semanal de 75 minutos. As aulas no LABIC contam com a presença simultânea dos professores das três Ciências, o que permite a abordagem de quaisquer assuntos dentro desse escopo.

O propósito do LABIC vai além de uma mera integração entre disciplinas, ele almeja que os estudantes se envolvam num processo de aprendizagem por investigação. Tomando como base as ideias propostas por Sasseron e Carvalho (SASSERON e CARVALHO, 2011) e referências de ensino por investigação que foram abordadas anteriormente, foram elencados alguns objetivos a serem atingidos pelos alunos do LABIC. O primeiro deles é a possibilidade de aproximação de um perfil investigativo, desenvolvendo nos estudantes a

capacidade de observar um fenômeno ou problema e explicá-lo a partir de um levantamento de hipóteses fundamentadas, investigação e posterior explicação e/ou comprovação. Outro objetivo é que, a partir de situações propostas, os estudantes consigam estabelecer relações gerais entre fenômenos verificando um possível comportamento padrão. Por fim, espera-se que os alunos sejam capacitados a formalizar todo o processo de investigação desenvolvido ao longo da tentativa de resolução do problema de maneira tanto oral quanto escrita.

O alcance desses objetivos é bastante explicitado na BNCC no que diz respeito às habilidades e competências delegadas à área das Ciências da Natureza. Dado que o LABIC lida com alunos da 1ª série, sendo, portanto, o primeiro contato que muitos estão tendo com experiências investigativas com uma profundidade e um nível de formalismo maior do que aquele até então usado no Ensino Fundamental II (do 5º ao 9º ano). Dessa forma, os objetivos desse laboratório vêm compor uma parcela das competências específicas apresentadas pela BNCC do Ensino Médio e por consequência o desenvolvimento das habilidades também citadas no documento, em especial a segunda competência geral.

As atividades propostas no LABIC foram selecionadas de modo a contemplar conteúdos que são comuns às Ciências naturais, assim, alguns objetivos mais específicos foram delimitados. Inicialmente são sugeridas atividades que permitam o uso consciente de equipamentos básicos de laboratório adequados para solução de um problema, permitindo reconhecer a precisão de cada um e que consequências surgem ao não considerar essa precisão. Durante a resolução desses problemas espera-se que os alunos consigam identificar informações relevantes propondo modelos que sejam quantitativamente testáveis e que permitam que seus resultados sejam organizados de maneira eficiente, utilizando-se de tabelas e gráficos. Com esses procedimentos típicos do fazer científico espera-se que os alunos iniciem uma percepção, a partir da análise de seus resultados, acerca do comportamento de fenômenos e a maneira como a linguagem científica facilita a comunicação das observações realizadas durante um procedimento experimental.

As atividades do LABIC são abertas, com roteiros gerais de orientação que contam com uma situação problema cuja estratégia de resolução será definida e testada pelo próprio estudante. Além disso, por ser um laboratório que envolve a área das Ciências naturais, cada atividade acaba por focar em um problema cuja temática pode ser específica de uma das três disciplinas. Essas propostas foram criadas em três módulos distintos, com níveis crescentes de envolvimento das disciplinas.

O primeiro módulo conta com atividades de nivelamento. O intuito delas é fornecer aos alunos uma aproximação às possíveis estratégias de resolução das futuras situações problema. Os alunos lidam com problemas que possibilitam a convivência com práticas comuns de laboratório, indo desde o manuseio de equipamentos diversos até a habilidade para sistematizar dados e estabelecer estimativas coerentes com o fenômeno em estudo. Trata-se de estratégias, caminhos possíveis de se resolver o problema, no entanto sem ainda conhecê-lo. Esse tipo de abordagem se faz necessária para que os estudantes ampliem seu horizonte de soluções e ainda se aprofundem em novas estratégias de solução. Um exemplo de nivelamento possível é a capacitação dos estudantes no manuseio de equipamentos como microscópio ou até mesmo no uso de planilhas de cálculo que potencializam e qualificam a análise de um conjunto maior de dados.

No segundo módulo, as atividades focam-se mais nas disciplinas individualmente, tentando fornecer ao aluno uma possibilidade de resolução que se utilize de técnicas experimentais já conhecidas, no entanto, aplicadas a uma situação problema aberta. Nesse módulo busca-se construir um alicerce que sirva de base para edificações posteriores mais robustas. Retomam-se os conteúdos da etapa anterior e sugere-se a extrapolação daqueles conhecimentos, com uma complementação que propicie questionamentos e testes a partir daquilo que se dispuserem a construir.

Por fim, o terceiro módulo de atividades e por consequência o mais desafiador e integrador traria a execução de um projeto de pesquisa autoral, no qual os professores fornecem três grandes temas e grupos de alunos devem conduzir seu processo investigativo. Espera-se que sejam capazes de articular as diversas variáveis envolvidas na questão pesquisada, selecionando aquelas passíveis de serem testadas. Nesse módulo é esperado que os estudantes recorram às todas as habilidades desenvolvidas previamente e as coloquem em prática na nova investigação.

O LABIC foi o ambiente no qual ocorreu tanto a segunda quanto a terceira iteração deste trabalho. O desenvolvimento e melhorias deveriam auxiliar na compreensão e defesa de uma maneira promissora de se oferecer situações investigativas para os estudantes do ensino médio. Trata-se de um pensamento progressivo no qual cada atividade tem uma função particular no desenvolvimento de habilidades do fazer científico.

Retomando a ideia das três modalidades de laboratório trazidas por Berg (BERG, 2009), a proposta progressiva apresentada busca de alguma forma contemplar as três instâncias. Tomando como exemplo a sequência de atividades construída ao longo dos 3

anos pode-se dizer, de maneira geral, que o Experimento do Trem seria um experimento técnico, o Simulador de Lançamentos teria um caráter conceitual e o Lançamento nos Esportes assumiria uma abordagem investigativa. No entanto, esse seria um nível geral, o qual demanda um olhar específico. Focando-se em cada atividade individualmente é possível reconhecer essas três vertentes (técnico, conceitual e investigativo) em cada uma delas, em procedimentos particulares. No caso da atividade de *Nivelamento*, o Experimento do Trem, onde existe a questão mais técnica, que é realizar as leituras e medidas dos quadros e calcular a velocidade média associada, há uma demanda em relação à questão conceitual associada tanto ao lançamento oblíquo quanto à velocidade relativa, e há a parte mais investigativa que tenta responder à pergunta disparadora sobre o porquê da bola voltar para a chaminé do trem. Na segunda parte, a atividade que serve de *Alicerce* (Simulador de lançamentos), a intuição investigativa seria o aluno se perguntar a respeito da possibilidade de previsão do movimento quando parâmetros são alterados no simulador, percebendo que ao se obter uma função horária capaz de reproduzir a trajetória afirma-se a possibilidade da mecânica prever e descrever matematicamente o movimento. Assim, a base para construção do simulador é conceitual, no entanto há também uma parte mais técnica que é a implementação das funções horárias a partir das fórmulas da planilha, por exemplo, construir dois gráficos de trajetória separadamente ou sobrepostos de modo a permitir uma comparação entre ambos. Por fim, na atividade de *Edificação* (Lançamento nos esportes) que já tem naturalmente um viés mais investigativo, os aspectos técnicos e conceituais desenvolvidos nas outras etapas são conciliados.

6.6. Sugestões de sequências NAED para o Ensino Médio

A concepção de uma sequência progressiva para se desenvolver a investigação do ensino médio deve primeiramente passar pelas estratégias do DBR, levantando-se, antes de conceber a atividade, quais princípios direcionarão cada etapa. A seguir, será resumido como a sequência de atividades apresentada neste trabalho se insere no NAED e na sequência algumas outras atividades serão brevemente descritas como exercício de reflexão. O Quadro 26 apresenta os objetivos gerais e específicos da sequência de atividades realizada em 2020 bem como os princípios do *design* que direcionaram cada uma delas.

Quadro 26: Sequência 1 – O uso das TDIC como estratégia para criação de modelos de lançamento oblíquo.

Objetivo geral: desenvolver uma compreensão acerca dos modelos de lançamento oblíquo estudados em Física valendo-se da investigação como estratégia e mediadas pela TDIC		
	Princípios do <i>design</i>	Objetivos específicos
<i>Nivelamento</i>	Lançamento oblíquo, contextualização, TDIC e argumentação.	<ul style="list-style-type: none"> - Apresentar uma metodologia de coleta de dados de um experimento real filmado; - Desenvolver uma metodologia de análise mediada pelo uso da tecnologia, usando-se planilhas computacionais para realização de cálculos e construção de gráficos e ajuste de funções; - Explorar toda a potencialidade dos resultados obtidos aplicando-se conceitos de física no processo de análise.
<i>Alicerce</i>	Lançamento oblíquo, contextualização, TDIC, argumentação e investigação.	<ul style="list-style-type: none"> - Complementar o processo já iniciado de uso das TDIC para análise de dados propondo-se a construção de uma ferramenta investigativa (simulador de trajetórias). - Propor questionamentos acerca das variáveis que poderiam alterar movimento estudado; - Explorar o uso da ferramenta construída visando responder aos questionamentos levantados.
<i>Edificação</i>	Lançamento oblíquo, contextualização, TDIC, argumentação, investigação e modelagem.	<ul style="list-style-type: none"> - Avaliar as grandezas e parâmetros que podem ser extraídos de uma situação real exibida em vídeo, similar àquela estudada anteriormente. - Levantar questionamentos sobre como essas grandezas podem ser estimadas ou medidas; - Propor uma ferramenta investigativa (simulador) baseada no modelo físico já visto e que permita testar diferentes cenários semelhantes àquele do vídeo; - Verificar a validade do modelo adotado na ferramenta construída e como ele se comporta dentro dos limites estabelecidos na sua construção.

Essa sequência de atividades foi desenvolvida focando em conteúdos específicos da Física. Outra possibilidade é detalhar a sequência de atividades com objetivo de trabalhar etapas relevantes de uma metodologia investigativa, como é apresentado no Quadro 27.

Quadro 27: Sequência 2 – As células das folhas como estratégia para o desenvolvimento de uma metodologia científica.

Objetivo geral: criar uma metodologia de contagem que leve em consideração a biodiversidade.		
Princípios do design		
Objetivos específicos		
Nivelamento	Microscopia	<ul style="list-style-type: none"> - Compreender o funcionamento do microscópio óptico e o seu potencial de resolução; - Preparar lâminas adequadamente para que possam ser analisadas ao microscópio; - Explorar os diferentes aumentos do microscópio;
Alicerce	Microscopia e investigação	<ul style="list-style-type: none"> - Identificar as células em uma folha de elodea; - Levantar questionamentos sobre como as células se distribuem nas folhas e o tamanho das folhas; - Desenvolver estratégias para contar a quantidade de células em uma determinada região da folha;
Edificação	Microscopia, investigação e estimativa	<ul style="list-style-type: none"> - Desenvolver uma investigação que responda a um dos questionamentos levantados na etapa anterior e fazendo uso do microscópio e demais materiais de apoio; - Desenvolver uma metodologia de contagem que leve em conta a biodiversidade das plantas estudadas; - Constatar a importância da quantidade de dados para responder aos questionamentos levantados; - Constatar a necessidade de se fazer uso de estimativas no processo de coleta de dados; - Socializar os resultados de modo a se compartilhar as diferentes estratégias adotadas; - Conscientizar-se sobre as etapas envolvidas numa investigação científica: questionamentos, experimentação, levantamento de dados, análise e divulgação.

Apesar da sequência de atividades fazer uso de conceitos de microscopia e necessitar de um reconhecimento da estrutura celular, a solução do problema não dependia desse conhecimento, mas era necessário que se seguissem etapas clássicas da metodologia científica como levantamento de hipóteses, execução de uma metodologia experimental, aquisição de uma amostragem significativa, análise de resultados e construção de uma explicação que encaminhasse a solução do problema. Essa atividade em especial foi realizada também com alunos em situação de inclusão, que devido às condições pessoais

específicas seguem um currículo adaptado. Visando incluir esses alunos ao ambiente da sala de aula eles realizaram a atividade de nivelamento previamente para que no dia da aula regular conseguissem acompanhar de maneira igualitária a sala como um todo.

Uma atividade similar, mas com foco na disciplina de Química é apresentada no Quadro 28.

Quadro 28: Sequência 3 – Controle de qualidade de bebidas: verificação experimental da concentração de açúcares indicada nos rótulos.

Objetivo geral: reconhecer a densidade como uma propriedade que caracteriza soluções e determinar a partir do desenvolvimento de uma metodologia experimental concentrações de amostras comerciais.

Princípios do <i>design</i>		Objetivos específicos
Nivelamento	Solubilidade e representação gráfica	<ul style="list-style-type: none"> - Identificar a condição de fluatibilidade de um objeto; - Desenvolver estratégias para calcular a densidade de um objeto fornecido; - Tentar identificar em uma tabela qual a concentração de solução que permitiria a flutuação do objeto; - Construir um gráfico com os valores de densidade e concentração fornecidos e ajustar uma reta média; - Interpolar o valor correspondente à densidade do objeto em estudo e obter o valor de concentração da solução;
Alicerce	Solubilidade, investigação e curva padrão	<ul style="list-style-type: none"> - Levantar questionamentos sobre como poderia ser identificada a concentração de uma bebida comercial; - Ler a densidade de algumas bebidas comerciais a partir de um densímetro; - Elaborar uma metodologia que permita a construção de uma curva padrão para se obter o valor de correspondente ao valor de densidade da bebida;
Edificação	Curva padrão, investigação e trabalho coletivo	<ul style="list-style-type: none"> - Desenvolver a metodologia proposta na etapa anterior; - Propor a preparação de soluções padrão (água e açúcar) com diferentes concentrações; - Medir a densidade das soluções preparadas; - Construir um gráfico a partir dos dados de densidade e concentração; - Ajustar uma reta média aos pontos e a sua respectiva função; - Identificar a concentração da bebida fornecida a partir da função ajustada; - Comparar a concentração obtida com o rótulo do fabricante; - Validar se o método empregado se mostrou adequado.

Todas as sugestões apresentadas aqui vêm sendo desenvolvidas de modo que elas têm passado por constantes modificações desde 2019. Uma questão que ainda se mostra deficiente nesse processo é a divulgação. Em todos eles não se conseguiu de maneira eficiente reservar um momento da sequência para que os alunos expusessem os procedimentos escolhidos para o desenvolvimento de sua investigação. Essas situações foram bastante pontuais e pouco produtivas, de modo que a troca de informações não conseguiu contemplar todas as estratégias desenvolvidas.

O trabalho de divulgação das atividades realizadas é algo que precisa ser mais bem implantado e valorizado. Um dos retornos positivos que ocorreu nessa prática foi quando se sugeriu que os grupos de trabalho trocassem seus relatórios e avaliassem a produção do outro, identificando por exemplo quais foram as hipóteses levantadas, as estratégias de metodologia experimental escolhida, questões mal esclarecidas etc. Esse momento permitiu uma reflexão por parte dos grupos e até mesmo uma troca de percepção acerca das metodologias adotadas. Para as próximas iterações espera-se priorizar a troca de experiências de modo que todos possam expor e compartilhar suas ideias.

A sequência NAED também foi desenvolvida em um momento posterior do curso LABIC, no terceiro módulo, descrito na apresentação deste trabalho, onde os alunos investigam acerca de um tema pré-definido cujos procedimentos seguintes são desenvolvidos por eles mesmo. Essas atividades duram em torno de 3 meses, com 1 aula semanal de 75 minutos. Cada uma das disciplinas propõem um tema e a turma que inicialmente era composta de 42 alunos é dividida em 3 grupos.

No ano de 2020, no grupo de Química, a investigação envolveu a compreensão do funcionamento de uma vela e quais variáveis poderiam interferir no seu processo de queima. O estágio de *nivelamento* ocorreu em uma primeira aula onde diferentes grupos de aluno exploravam a vela a partir de uma orientação detalhada dos professores. Nessa aula eles identificaram fatores que permitiam que uma vela durasse mais, ou iluminasse mais ou até mesmo fosse mais eficiente para aquecer algo. Além disso foram exploradas estratégias de medidas diversas como diâmetro da vela, tamanho do pavio e massa da vela. Com essas orientações os estudantes puderam definir qual hipótese seria testada e então desenvolver sua metodologia experimental estruturando assim seu *alicerce* para iniciar a investigação. O processo de cada grupo de estudantes fluiu de forma independente, cabendo ao professor orientar e aconselhar a atividade de cada um. A *edificação*, que ocorreu a partir do acúmulo de dados e sua organização de maneira a possibilitar a obtenção de resultados, era de

responsabilidade integral dos grupos, mostrando-se evidentes conclusões com menos respaldo quando a quantidade de dados era escassa. A *divulgação* dos resultados dessa investigação foi feita em um primeiro momento por meio de um relatório científico, onde o tema da pesquisa era evidenciado juntamente com seus questionamentos de entorno, hipóteses, metodologia experimental, resultados, análise e conclusões. Outro mecanismo usado foi o vídeo de divulgação, onde foi solicitada a gravação de um vídeo com uma linguagem acessível para um público que não tinha um vocabulário científico. Os dados deveriam ser apresentados de uma maneira que um público sem conhecimento acerca do assunto pudesse entender como as análises permitiram chegar às aquelas conclusões. Esse exercício foi bastante interessante pois colocou os estudantes em uma posição de reflexão para verificar se conseguiam explicar aquilo que investigaram com uma linguagem adaptada.

No caso das disciplinas de Física a temática foi Máquinas simples, o que permitia que se explorasse como essa construção permitia que o esforço para realização de uma tarefa pudesse ser reduzido e em Biologia foi investigada a dinâmica de crescimento de populações a partir da criação de kefir. Todas as investigações seguiram a mesma estrutura, com uma primeira aula exploratória (nivelamento), uma outra para definição de qual variável investigar e com qual metodologia (alicerce) e diversos outros momentos para desenvolvimento de experimentos, coleta de dados e conclusões (edificação). A estratégia de divulgação foi a mesma do grupo de Química.

Os vídeos produzidos pelos alunos eram divulgados e avaliados entre os colegas, de modo que aqueles que desenvolveram uma investigação na área da Física deveriam assistir e avaliar as produções de Química e Biologia, da mesma forma acontecia com os grupos dessas duas áreas.

Capítulo 7

Considerações finais

A realização deste trabalho teve como âmbito de aplicação o ensino médio. O grande desafio que foi sendo construído ao longo dos três anos, foi a estruturação de uma proposta promissora para se desenvolver atividades investigativas nessa etapa escolar. Tomando como estratégia de pesquisa a DBR, e orientando-se por alguns objetivos específicos e um geral, buscou-se a cada fase de aplicação novos referenciais, os quais deram maior fundamentação a cada alvo atingido.

Como primeiro objetivo específico, tinha-se o intuito de *transformar atividades roteirizadas em um recurso didático que permita um processo reflexivo e argumentativo*. A maneira como isso foi feito baseou-se em roteiros experimentais mediados por TDIC, no entanto, a prática pode ser generalizada para quaisquer estratégias didáticas. Foi possível definir uma orientação para realização da atividade que não diminuía o ímpeto investigativo do estudante, permitindo o levantamento de hipóteses e a confrontação de suas expectativas com resultados experimentais. Para alcançar esse objetivo foram buscados referenciais que orientavam a contextualização da atividade, abrindo espaço para uma reflexão que permitisse estabelecer um paralelo entre fenômenos vistos e teorias, argumentando sempre entre as duas perspectivas.

Ainda em relação à maneira como os estudantes fazem uso da argumentação, um segundo objetivo específico foi traçado, permitindo que dentro de um processo investigativo fosse possível o *desenvolvimento de linguagens e habilidades características do fazer científico*. Foi nesse sentido que se valorizou o uso de planilhas computacionais para realizar análises de movimentos reais e assim extrair delas funções horárias que permitissem essa descrição. Além disso, apresentou-se a modelagem como uma ferramenta potente para representar fenômenos dentro de determinadas condições e com elementos que incrementariam o processo argumentativo.

Outro objetivo buscado foi *favorecer a apropriação de um vocabulário característico para expressar e descrever os fenômenos e seus respectivos modelos segundo uma terminologia científica coerente com determinada matriz disciplinar*. Uma vez que se busca

desenvolver tais habilidades, se faz necessário indicar que existe uma linguagem comum para que a comunicação dentro da comunidade científica aconteça de maneira eficiente. Por mais que durante as aulas surgissem expressões diferentes daquelas esperadas dentro da área das ciências naturais, a opção pelo uso de rubricas se mostrou eficiente no sentido de apontar possíveis correções e adequações delas.

Ao longo da construção da sequência de atividades e da busca por atividades que trabalhassem com investigação no ensino médio, notou-se que muitos professores têm dificuldade em como fazer esse tipo de proposição. Dessa forma, a realização deste trabalho buscou também *elucidar caminhos de atuação do professor no processo investigativo dos estudantes dentro de um ambiente favorável à prática*. Foi criado um ambiente, LABIC (Laboratório Investigativo de Ciências), no qual a sequência progressiva vem sendo aplicada. Entende-se que a proposta aqui realizada foi construída dentro de um colégio particular, que tem a possibilidade de contar com três professores simultaneamente, no entanto, entende-se que isso não seja um limitador para replicar o método em outras realidades. O estilo progressivo proposto pode ser pensado tanto em atividades individuais quanto em blocos de atividades, delimitando um momento de nivelamento, construção de um alicerce, edificação e divulgação.

A demanda por espaços que valorizem o desenvolvimento de habilidades na área das ciências da natureza se viu refletida na proposta apresentada pela BNCC, o que fez com que muitas escolas se mobilizassem para adequar suas práticas à uma abordagem mais investigativa. Assim, o objetivo geral de contribuir com a proposição de um estilo progressivo para uma sequência de ensino e aprendizagem que valorize essa abordagem foi cumprido com a criação do LABIC. Ele atende essa demanda no sentido de estabelecer pilares de aplicação que incentivem e auxiliem a execução de atividades dentro desse âmbito, oferecendo estratégias para trabalhar as limitações existentes entre uma previsão teórica e resultados experimentais a partir da construção de modelos teóricos.

A proposta progressiva, descrita no Capítulo 6, vem sendo aplicada desde 2020 no colégio Santa Cruz. As iterações realizadas anteriormente permitiram definir etapas de atuação para o professor que possibilitariam induzir um processo investigativo progressivamente. A proposta NAED define como atividade *âncora* do processo um *nivelamento*, pilar esse que assume um caráter preparatório e dá a possibilidade de que todos atinjam um nível de conhecimento similar acerca do que será visto na sequência.

Como segundo pilar da proposta definiu-se no *alicerce* uma atividade com um foco maior na análise conceitual, porém que ainda requer um conhecimento técnico e um ímpeto investigativo. A aplicação de conceitos já vistos à resolução de um problema se mostrará eficaz a partir do momento em que fizer uso daquelas habilidades desenvolvidas previamente.

O terceiro pilar para aplicação do NAED foi definido como a *edificação*, onde os procedimentos investigativos são desenvolvidos com maior destaque. Nesse momento é que o confronto entre teoria e experiência ocorre e deve ser questionado, recorrendo-se às duas etapas iniciais e avaliando possíveis contrapontos.

O quarto pilar proposto é a *divulgação*, etapa imprescindível no trabalho científico. Apesar da proposição, acredita-se que ela não ocorreu da maneira esperada devido ao ensino remoto que ocorria naquele ano. Como continuidade dessa proposta espera-se ampliar o momento de divulgação, promovendo um espaço de debate científico onde cada investigação desenvolvida possa ser compartilhada. A capacidade de síntese e exposição daquilo que foi pesquisado é uma habilidade do fazer científico que evidencia a qualidade e compreensão do trabalho realizado.

Uma característica da investigação progressiva NAED é que ela pode ser aplicada desde atividades individualizadas até em um conjunto delas. Como visto, os pilares apresentados podem ser pensados em uma mesma proposta, valorizando os momentos em que cada um é desenvolvido.

Entende-se que uma investigação no ensino médio requeira o desenvolvimento de algumas habilidades, com a intenção de que os estudantes consigam acessar conhecimentos obtidos em determinadas áreas e possam aplicá-los em outras circunstâncias. Mais que isso, pensando em uma aprendizagem científica, espera-se que eles sejam colocados a pensar, refletir e questionar sobre como direcionar a solução de problemas e posteriormente apresentar seus resultados respaldados em fundamentos científicos. Dessa forma, a proposta de expandir a investigação para um momento de atividade, onde as habilidades já desenvolvidas são mobilizadas, visa a *edificação* das competências de caráter investigativo. Uma continuidade deste trabalho, mantendo o caráter investigativo na associação de teoria e prática, pode vir a buscar uma definição de competências voltada para essa abordagem e com foco no ensino de Física.

Outro campo promissor onde a estrutura NAED pode ser pensada e com a qual foram realizados alguns ensaios, foi com estudantes em situação de inclusão e que contam com um

currículo adaptado. Com o objetivo de incluí-los nas aulas com os demais estudantes, tem se realizado tentativas com algumas aulas de *nivelamento*, apenas com os alunos com currículo adaptado e em um horário extra, preparando-os para que possam realizar a atividade com toda a classe. Após essas aulas de iniciação, esses alunos integram-se a um grupo de trabalho mais aptos a acompanhar a atividade. O que para os alunos da classe seria o primeiro nivelamento, para os alunos em situação de inclusão já estariam estabelecendo um alicerce, dentro das limitações a eles imposta. Apesar de já estarem nesse segundo pilar o que se nota é que essa etapa se prolonga por muitas outras, ou seja, por mais que a classe já esteja construindo uma edificação, aqueles alunos ainda precisam de mais um tempo para adquirir um alicerce fortalecido. Apesar disso a prática visa incluir esses alunos, fazendo-os pertencer ao grupo e de alguma forma trabalhar de maneira igualitária em algum momento da prática investigativa.

A partir da definição de alguns pilares de execução, estabeleceram-se objetivos característicos para cada etapa: (i) valorização da preparação técnica para o desenvolvimento da prática científica, (ii) contextualização e aplicação de conceitos em fenômenos reais, (iii) mobilização de habilidades desenvolvidas a partir da construção de modelos de análise e possíveis críticas às suas limitações na descrição de fenômenos reais, (iv) promoção da divulgação científica a partir do compartilhamento dos resultados da investigação. Finalmente, com este trabalho espera-se contribuir com novas estratégias de ensino, apresentando um processo de criação de um estilo para se propor atividades investigativas no ensino médio de maneira progressiva.

Referências bibliográficas

- ADÚRIZ-BRAVO, A. Semantic Views on Models: An Appraisal for Science Education. In: BELZEN, A. U. Z.; KRÜGER, D.; DRIEL, J. V. **Towards a Competence-Based View on Models and Modeling in Science Education**. Berlin, Germany: Springer, 2019.
- ADÚRIZ-BRAVO, A.; ARIZA, Y. Una caracterización semanticista de los modelos científicos para la ciencia escolar. **Escritos de la biología y su enseñanza**, 7, n. 13, julho 2014. 25-34.
- AHLAM, A.; MICHAL, T. **Using geogebra to enhance students' inquiry activity**. 13th International Congress on Mathematical Education. [S.l.]: [s.n.]. 2016.
- ALMEIDA, L. M. W. The "practice" of mathematical modeling under a wittgensteinian perspective. **International Journal for Research in Mathematics Education**, 4, n. 2, 2014. 98-113.
- ALMEIDA, L. M. W. D.; SEKI, J. T. P. A 'compreensão' em Wittgenstein: repercussões no ensino de ciências e de matemática. **Acta Scientiarum Education**, Londrina, 43, 2021.
- ANDERSON, T.; SHATTUCK, J. Design-Based Research: A Decade of Progress in Education Research. **Educational Researcher**, 41, 2012. 16–25.
- BALOGOVÁ, B.; JEŠKOVÁ, Z. Impact of inquiry activities in physics teaching on the level of students' inquiry skills. **Journal of Physics**, 2018.
- BALZANO, E. **Inquiry-Based Science Education: perspectives and difficulties**. Atti della Accademia Nazionale dei Lincei, Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali, Rendiconti Lincei Matematica E Applicazioni. [S.l.]: EMS - Publishing House GmbH. 1 set. 2016. p. 11-24.
- BARROS, S. **Experimento Virtual de Rolamento: um estudo das dificuldades apresentadas pelos alunos do curso de licenciatura do IFUSP**. Monografia de conclusão de curso (Licenciatura em Física) - Instituto de Física - Universidade de São Paulo. São Paulo. 2011.
- BELL, P. et al. DBR - Design-Based Research: An Emerging Paradigm for Educational Inquiry. **Educational Researcher**, 32, 2003. 5-8.
- BELZEN, A. U. Z.; DRIEL, J. V.; KRÜGER, D. Introducing a Framework for Modeling. In: BELZEN, A. U. Z.; KRÜGER, D.; DRIEL, J. V. **Towards a Competence-Based View on Models and Modeling in Science Education**. [S.l.]: Springer International Publishing, 2019. p. 3-19.
- BERG, E. V. D. The PCK of teaching in the laboratory: Turning manipulation of equipment into manipulation of ideas. In: JONG, O. D.; HALIM, L. **Teachers'Professional Knowledge in Science and Mathematics Education: Views from Malaysia and Abroad**. [S.l.]: Faculty of Education, Universiti Kebangsaan Malaysia, 2009.
- BORGES, L. D. O.; LEITE, M. D. L.; MAIDANA, N. L. Crítica a la formulación teórica del problema del loop desde el punto de vista experimental. **Revista de Enseñanza de la Física**, 31, n. extra, 2019. 71–77.
- BOY, G. A. **From STEM to STEAM: Toward a Human - Centered Education, Creativity & Learning Thinking**. European Conference on Cognitive Ergonomic s (ECCE 2013). [S.l.]: Université Toulouse le Mirail. 2013.

BRASIL. Lei de Diretrizes e Bases - Lei 9394/96 | Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. **Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional.**, Brasília, DF, 20 dezembro 1996.

BRASIL. Lei nº 13.415 de 16 de fevereiro de 2017. **Altera as Leis n ° 9.394, de 20 de dezembro de 1996, revoga a Lei nº 11.161, de 5 de agosto de 2005, institui a Política de Fomento à Implementação de Escolas de Ensino Médio em Tempo Integral.**, Brasília - DF, 16 fevereiro 2017.

BRASIL. Base Nacional Comum Curricular. **Documento homologado pela Portaria nº 1.570, publicada no D.O.U. de 21/12/2017**, Brasília, DF, 2018.

BRASIL. Parecer homologado CNE/CEB nº3/2018. **Atualização das Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio, observadas as alterações introduzidas na LDB pela Lei nº 13.415/2017.**, Brasília - DF, 2018.

BULTE, A. M. W. et al. A Research Approach to Designing Chemistry Education using Authentic Practices as Contexts. **International Journal of Science Education**, 28, n. 9, 2007. 1063-1086.

BYBEE, R. Teaching science as inquiry. In: MINSTREL, J.; ZEE, E. H. V. **Inquiring into Inquiry Learning and Teaching**. Washington, DC: [s.n.], 2000.

CAPECCHI, M. C. V. D. M. **Aspectos da cultura científica em atividades de experimentação nas aulas de física**. Tese (doutorado) - Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2004.

CARVALHO, A. M. P. D. **Ensino de Ciências por Investigação – Condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage, 2014.

CLEMENT, J. Learning via model construction and criticism. In: GLOVER, J.; REYNOLDS, C.; ROYCE, R. **Handbook of creativity**. Berlin: Germany: Springer, 1989. p. 341–381.

CLEMENT, J. **Creative model construction in scientists and students**. The Netherlands: Springer. Dordrecht: [s.n.]. 2009.

COBB, P. et al. Design experiments in educational research. **Educational Researcher**, 2003. 9 – 13.

COLLINS, A.; JOSEPH, D.; BIELACZYCKATE, K. Design Research: Theoretical and Methodological Issues. **Journal of the Learning Sciences**, v. 13, p. 15-42, 2003.

CONNOR, A. M.; KARMOKAR, S.; WHITTINGTON, A. C. From STEM to STEAM: Strategies for enhancing engineering & technology education. **International Journal of Engineering Pedagogies**, v. 5, n. 2, p. 37-47, 2015.

COOPER, B. S.; GARGAN, A. Rubrics in Education Old Term, New Meanings. **Phi Delta Kappan**, Bloomingtonvol, v. 91, n. 1, p. 54-55, setembro 2009. Disponível em: <<https://facultycenter.ischool.syr.edu/wp-content/uploads/2012/02/Rubrics-in-Education1.pdf>>.

DAVIS, R.; SHROBE, H.; SZOLOVITS, P. What Is a Knowledge Representation? **AI Magazine**, v. 14, p. 17-33, 1993.

DOSTÁL, J. ICT Educational materials supporting the inquiry-based learning. **Palacký University**, Czech Republic, 2016.

- DRIGAS, A.; KONTOPOULOU, M.-T. L. ICTs based Physics Learning. **International Journal of Engineering Pedagogy (IJEP)**, 6, n. 3, 2016.
- EASTERDAY, M. W.; D. R. LEWIS, E. G. Design-Based Research Process: Problems, Phases, and Applications. **Computer Science**, 2014.
- EASTERDAY, M. W.; LEWIS, D. R.; GERBER, E. M. Design-based research process: Problems, phases, and applications. **Proceedings of International Conference of the Learning Sciences, ICLS**, 2013.
- EVAGOROU, M.; JIMENEZ-ALEIXANDRE, M. P.; OSBORNE, J. ‘Should We Kill the Grey Squirrels?’ A Study Exploring Students’ Justifications and Decision-Making. **International Journal of Science Education**, 3, n. 34, 2012. 401-428.
- EXPLORATORIUM. Our History. **Exploratorium**, 1969. Disponível em: <<https://www.exploratorium.edu/about/history>>. Acesso em: 2020.
- EXPLORATORIUM. Inquiry Descriptions. **Exploratorium**, 2020. Disponível em: <<https://www.exploratorium.edu/sites/default/files/pdfs/ifi/InquiryDescriptions.pdf>>.
- EXPLORATORIUM. Pathways to Learning. **Exploratorium**, 2020. Disponível em: <<https://www.exploratorium.edu/sites/default/files/pdfs/ifi/Pathways-to-Learning.pdf>>.
- FERNANDES, D. **Rubricas de Avaliação**. Projeto de Monitorização, Acompanhamento e Investigação em Avaliação Pedagógica (MAIA) - Ministério da Educação. [S.l.]. 2021.
- FIBA, F. I. D. B. REGRAS OFICIAIS DE BASQUETEBOL 2020. **CBB**, Mies, 2020. Disponível em: <<https://www.cbb.com.br/wp-content/uploads/Regras-Oficiais-de-Basketball-FIBA-2020-Traduzida-para-Portugues.pdf>>. Acesso em: 27 setembro 2020.
- FONSECA, M. D. **O laboratório virtual como atividade complementar de disciplinas introdutórias de mecânica: análise a partir da experiência do giroscópio**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências - Universidade de São Paulo. São Paulo. 2015.
- FONSECA, M. et al. O Laboratório Virtual: uma atividade baseada em experimentos para o ensino de mecânica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, 35, n. 4, 2013. 4503.
- FREITAS, E. S. D.; IÊ, E.; SOUZA, A. A. S. L. D. Esboço sobre reflexões gramaticais em Ludwig Wittgenstein: dos jogos de linguagem às formas de vida. **Kalagatos Revista de Filosofia**, 19, n. 1, 2022.
- FURTAK, E. M. et al. Experimental and quasi-experimental studies of inquiry-based science teaching: A meta-analysis. **Review of Educational Research**, 2012. 300-329.
- GIERE, R. N. **Explaining science: a cognitive approach**. Chicago: University of Chicago Press, 1988.
- GIERE, R. N. Using Models to Represent Reality. In: MAGNANI, L.; NERSESSIAN, N. J.; THAGARD, P. **Model-Based Reasoning in Scientific Discovery**. New York: Kluwer / Plenum, 1999. p. 41-57.
- GIERE, R. N.; BICKLE, J.; MAULDIN, R. F. **Understanding scientific reasoning**. 5. ed. Belmont,: CA: Thomson, 2006.
- GILBERT, J. K. .; JUSTI, R. Modelling-based teaching in science education. **Springer**, Cham, Switzerland, 9, 2016.

- GILBERT, J. K.; BOULTER, C. J. **Modelling across the curriculum: the demands and actualities of a unifying theme from science in the primary school**. Paper presented at the 7th Symposium Science and Technology Education in a Demanding Society (De Koningshof Veldhoven, The Netherlands). [S.l.]. 1994.
- GLOCK, H.-J. **Dicionário Wittgenstein**. Rio de Janeiro: RJ: Zahar, 1998.
- GOOGLE. Google Classroom. **Google**, 2014.
- GOTTSCHALK, C. M. C. O papel do método no ensino: da maiêutica socrática à terapia wittgensteiniana. **Educação Temática Digital**, 12, 2010. 64-81.
- GRANDY, R. E. What are models and why do we need them? **Science & Education**, v. 12, n. 8, p. 773–777, 2003.
- GRAVEMEIJER, K.; COBB, P. Design research from a learning design perspective. In: AKKER, J., et al. **Educational design research**. London: Routledge, 2006. p. pp. 45–85.
- GUNSTONE, R. F. Reconstructing theory from practical work. In: KEYNES, M. **Practical science**. England: The Open University: B.E.Woolnough (Ed.), 1991.
- HAMMOND, J.; GIBBONS, P. What is scaffolding? In: BURNS, A.; JOYCE, H. D. S. **Teachers’voices 8: Explicitly supporting reading and writing in the classroom**. Macquarie University: National Centre for English Language Teaching and Research, 2019.
- HECK, A. et al. **Exploring the giant circle on the high bar with ICT tools**. 10th International Conference for Technology in Mathematics Teaching (ICTMT10). Portsmouth,UK: [s.n.]. julho 2011.
- HECK, A.; ELLERMEIJER, T. **Realizing Authentic Inquiry Activities with ICT**. Proceedings of the world conference on physics education. [S.l.]: [s.n.]. 2012. p. 775-786.
- HECK, A.; UYLINGS, P. **A jump forwards with mathematics and physics**. 10th International Conference for Technology in Mathematics Teaching (ICTMT10). Portsmouth,UK: [s.n.]. julho 2011.
- HERRINGTON, J. A. et al. Design-based research and doctoral students: Guidelines for preparing dissertation proposal. **Research Online**, 2007. 4089-4097.
- HODSON, D. A critical look at practical working school science. **School Science Review**, 71, 1990. 33–40.
- HOFSTEIN, A. et al. Developing Students Ability to Ask More and Better Questions Resulting from Inquiry-Type Chemistry Laboratories. **Journal of Research in Science Teaching**, 2005. 791-806.
- IDEO. Human-centered design sits at the intersection of empathy and creativity, 2020. Disponível em: <<https://www.ideo.org/tools>>.
- IZQUIERDO-AYMERICH, M. School chemistry: An historical and philosophical approach. **Science & Education**, v. 22, n. 7, p. 1633–1653, 2013.
- JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P.; DÍAZ DE BUSTAMANTE, J. Discurso de Aula y Argumentación en la Clase de Ciências: Cuestiones Teóricas y Metodológicas. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 21, n. 3, p. 359-370, 2003.
- JOHNSTONE, H. A.; AL-SHUAILI, A. Learning in the laboratory; some thoughts from the literature. **University Chemistry Education**, 2001. 42–91.

JÚNIOR, G. F. D. A. Uso e significação: a compreensão de uma palavra na pragmática wittgensteiniana da linguagem. In: DANILO VAZ-CURADO COSTA, K.-H. E. **Normas, máximas e ação**. Porto Alegre: Editora Fi, 2015. p. 115-132.

KEATING, S. Applying Human-Centered Design Methods to Your Process. **MOONFARMER**, 2019. Disponível em: <<https://dispatch.moonfarmer.com/applying-human-centered-design-methods-to-your-process-27b783147e8>>. Acesso em: 28 julho 2020.

KNEUBIL, F. B.; PIETROCOLA, M. **A pesquisa baseada em design: visão geral e contribuições para o ensino de ciências**. IENCI, Investigações em Ensino de Ciências. [S.l.], p. 1-16. 2017.

KRAJCIK, J.; MCNEILL, K. L. **Designing instructional materials to support students in writing scientific explanations: Using evidence and reasoning across the middle school years**. National Association for Research in Science Teaching. Garden Grove, CA. 2009.

KRELL, M.; UPMEIER ZU BELZEN, A.; & KRÜGER, D. Students' understanding of the purpose of models in different biological contexts. **International Journal of Biology Education**, v. 2, n. 2, p. 1-34, 2012.

KRÜGER, D.; KAUERTZ, A.; UPMEIER ZU BELZEN, A. Modelle und das Modellieren in den Naturwissenschaften [Models and Modeling in Natural Sciences]. In: KRÜGER, D.; PARCHMANN, I.; SCHECKER, H. **Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung**. Berlin/Heidelberg Germany: Springer, 2018. p. 141-147.

LAGUARDIA, J.; PORTELA, M. C.; VASCONCELLOS, M. M. Avaliação em ambientes virtuais de aprendizagem. **Educação e Pesquisa**, São Paulo, v. 3, n. 33, p. 513-530, setembro 2007.

LATOUR, B.; WOOLGAR, S. **A vida de laboratório: a produção dos fatos científicos**. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 1997.

LAWSON, A. E. T. rex, the crater of doom, and the nature of scientific discovery. **Science & Education**, v. 13, n. 1, p. 155-177, 2004.

LAZONDER, A. W.; HARMSSEN, R. Meta-Analysis of Inquiry-Based Learning: Effects of Guidance. **Review of Educational Research**, February 2016.

LEITE, M. L. **Experimentação, modelização e testes de hipóteses em física: da construção às aplicações de um experimento com imagens de mecânica em um curso de licenciatura**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências. Universidade de São Paulo - São Paulo. 2023.

LEITE, M. L. et al. A força de atrito é constante e oposta à velocidade": argumento de autoridade ou fato físico? **XVII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (EPEF)**, Campos do Jordão - SP, 2018.

LEITE, M. L. et al. Teaching friction at university level through an experiment with images. **European Journal of Physics**, 2021.

LEMKE, J. L. **Aprender a hablar ciência. Lenguaje, aprendizaje y valores**. [S.l.]: [s.n.], 1997.

LEMKE, J. L. Investigar para el futuro de la educación científica: Nuevas formas de aprender, nuevas formas de vivir. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 24, n. 1, p. 5-12, 2006.

- LITTLE, D. Language learner autonomy: Some fundamental considerations revisited. **Innovation in Language Learning and Teaching**, v. 1, n. 1, p. 14-29, 2007.
- LITWIN, E. El oficio de enseñar. **Paidós**, 2008.
- LOBATO, A. S. et al. **Aplicando Rubrica para Avaliar Qualitativamente o estudante no LabSQL**. XXXIV Conferencia Latinoamericana de Informática. Santa Fé, Argentina, p. 729-738. 2008.
- LOCATELLI, R. J.; CARVALHO, A. M. P. Uma análise do raciocínio utilizado pelos alunos ao resolverem os problemas propostos nas atividades de conhecimento físico. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 7, n. 3, 2007.
- MACHADO, A. N. **Lógica e forma de vida: Wittgenstein e a natureza da necessidade lógica e da filosofia**. Porto Alegre. RS: Unisinos, 2007.
- MAIDANA, N. L. et al. La velocidad relativa: nuevas contribuciones del laboratorio virtual. **Revista de Enseñanza de la Física**, San Juan, v. 28, n. Extra, p. 101-108, outubro 2016.
- MAIDANA, N. L. et al. La velocidad relativa: nuevas contribuciones del laboratorio virtual. **Revista de Enseñanza de la Física**, v. 28, n. Extra, p. 101-108, 2016.
- MAIDANA, N. L. et al. The rolling with slipping experiment in the virtual physics laboratory—context-based teaching. **Physics Education**, v. 51, n. 4, Abril 2016.
- MAIDANA, N. L.; VANIN, V. R.; ADURIZ-BRAVO, A. An experiment with images on Galilean invariance to throw light on the symetry of Newton´s laws. **The Physics Teacher**, 2023.
- MAJUMDAR, S. Emerging Trends in ICT for Education & Training. **Computer Science**, 2006.
- MÄKI, U. Models are experiments, experiments are models. **Journal of Economic Methodology**, 2005. 303–315.
- MAMLOK-NAAMAN, R. **Comparative Perspectives on Inquiry-Based Science Education**. Weizmann Institute of Science. [S.l.]. 2019.
- MARCHÁN-CARVAJAL, I.; SANMARTÍ, N. Criterios para el diseno de unidades didácticas contextualizadas: aplicación al aprendizaje de un modelo teórico para la estructura atómica. **Educación Química**, 26, julho 2015. 267-274.
- MARCHETI, A. P. D. C. Rubricas: um importante instrumento para correção de desempenho discente. **Revista Eletrônica Científica Ensino Interdisciplinar**, Mossoró, v. 6, n. 16, p. 58-76, 2020. Disponível em: <<http://natal.uern.br/periodicos/index.php/RECEI/article/view/1607/1651>>.
- MARTINS, I. P. Revisitando orientações CTS|CTSA na educação e no ensino de ciências. **Revista APEDUC Journal**, v. 1, n. 1, p. 13-29, 2020.
- MCLOUGHLIN, E.; FINDLAYSON, O.; BRADY, S. The Impact Of Inquiry Based Learning In Pre-service Science Teacher Education - Experiences From ESTABLISH. **AISHE-J**, Dublin, 2014.
- MORENO, A. R. **Wittgenstein: os labirintos da linguagem ensaio introdutório**. 2ª. ed. [S.l.]: Moderna, 2009.
- MORRISON, M. Models as Autonomous Agents. In: MORGAN, M. S.; MORRISON, M. **Models as Mediators**. Cambridge : Cambridge University Press, 1999.

- MORRISON, M.; MORGAN, M. Introduction. In: MORRISON, M. M. & M. **Models as mediators: Perspectives on natural and social science**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1999. p. 1-9.
- MOULINES, C. U. The nature and structure of scientific theories. **Meta**, v. 1, n. 1, 2010.
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. **Inquiry and the National Science Education Standards: A Guide for Teaching and Learning**. Washington, DC: The National Academies Press, 2000. Disponível em: <<https://www.nap.edu/read/9596/chapter/3#37>>.
- NERSESSIAN, N. J. **Creating scientific concepts**. Cambridge: MA: MIT Press, 2008.
- OERS, B. V. FROM CONTEXT TO CONTEXTUALIZING. **Learning and Instruction**, v. 8, n. 6, p. 473-488, 1998.
- ÖRNEK, F. Models in Science Education: Applications of Models in Learning and Teaching. **International Journal of Environmental & Science Education**, 3, n. 2, 2008. 35-45.
- PEDASTEIA, M. et al. Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. **Educational Research**, v. 14, p. 47-61, Fevereiro 2015.
- PEDERSEN, S.; LIU, A. M. Teachers' beliefs about issues in the implementation of a student-centered learning environment. **Educational Technology Research and Development**, v. 51, n. 2, p. 57-76, 2003.
- PIAGET, J. **La explicación en las Ciências**. Barcelona: Martínez Roca, 1977.
- PSYCHARIS, S. The Computerized Models in Physics Teaching: Computational Physics and ICT. **The international journal of learning**, v. 15, n. 9, 2008.
- RITCHEY, T. Outline for a morphology of modelling methods: Contribution to a general theory of modelling. **Acta Morphologica Generalis**, 1, 2012. 1-20.
- RODRIGUES, M.; CARVALHO, P. S. Teaching physics with Angry Birds: exploring the kinematics and dynamics of the game. **Physics Education**, v. 48, n. 4, 2013.
- ROGERS, E. M. **Physics for the Inquiring Mind**. New Jersey: Princeton University Press, 1960.
- ROTH, W. M. “Authentic science”: enculturation into the conceptual blind spots of a discipline. Artigo apresentado no Encontro Anual da AERA, Montreal. [S.l.]. 1999.
- ROTH, W. M. Heeding wittgenstein on “understanding” and “meaning”: a pragmatist and concrete human psychological approach in/for education. **Critical Practice Studies**, 16, n. 1, 2015. 26-53.
- SANDOVAL, W. A. Educational design research in the 21st. In: LUCKIN, R., et al. **Handbook of design in educational technology**. [S.l.]: Taylor & Francis, 2012. p. 388-396.
- SANTOS, M. G. et al. Observando la velocidad desde diferentes sistemas de referencia con una experiencia online. **Revista de Enseñanza de la Física**, 31, n. extra, 2019. 647–652.
- SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. Almejando a alfabetização científica no ensino fundamental: a proposição e a procura de indicadores do processo. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 13, n. 3, p. 333-352, 2008.

- SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. Alfabetização Científica: Uma revisão bibliográfica. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 16, n. 1, 2011.
- SCHEUCHER, B. et al. Colaborative Virtual 3D Environment for Internet-Accessible Physics Experiments. **International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE)**, 5, n. S1, 2009. 65-71.
- SCHWARZ, C. et al. Developing a learning progression for scientific modeling. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 46, n. 6, p. 634-635, 2009.
- SERE, G. M. Towards renewed research questions from outcomes of the European lab-work in science education. **Science Education**, v. 86, p. 624-644, 2002.
- SHARPLES, M. et al. Sociocognitive engineering: a methodology for the design of human-centred technology. **European Journal of Operational Research**, v. 136, n. 2, p. 310-323, Janeiro 2002.
- SOUSA, B. N. P. A. **A Matemática em atividades de modelagem matemática: uma perspectiva wittgensteiniana**. Tese de doutorado - Universidade Estadual de Londrina. Londrina. 2017.
- STUCKEY, M. et al. The meaning of ‘relevance’ in science education and its implications for the science curriculum. **Studies in Science Education**, v. 49, p. 1-34, 2013.
- SUÁREZ, Á. et al. A review of the types of mobile activities in mobile inquiry-based learning. **Computers & Education**, v. 118, p. 38-55, novembro 2017.
- SUPPE, F. Understanding Scientific theories: An assessment of developments. **Philosophy of Science**, v. 67, p. 1969-1998, 2000.
- TORTOLA, E. **Configurações de modelagem matemática nos anos iniciais do Ensino Fundamental**. Tese de doutorado - Universidade Estadual de Londrina. Londrina. 2016.
- TOULMIN, S. E. **Os usos do argumento**. 2ª. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2006.
- TRAN, T. et al. Discovery Learning with the Help of the GeoGebra Dynamic Geometry Software. **International Journal of Learning, Teaching and Educational Research**, v. 7, n. 1, p. 44-57, agosto 2014.
- TRAN, T.-B.; BERG, E. V. D.; ELLERMEIJER, T. Learning to teach inquiry with ICT. **Physics Education**, v. 53, outubro 2017.
- TSEITLIN, M.; GALILI, I. Science Teaching: What Does It Mean? **Science & Education**, v. 15, n. 15, February 2006.
- WITTGENSTEIN, L. **Gramática Filosófica**. São Paulo: Loyola, 2003.
- WITTGENSTEIN, L. **Investigações Filosóficas**. Rio de Janeiro: Vozes, 2005.
- XENOFONTOS, N.; ZACHARIA, Z.; HOVARDAS, T. How Much Guidance Students Need When Designing Experiments in a Computer-Supported Inquiry Learning Environment. **International Journal of Learning and Teaching**, v. 4, n. 1, p. 20-24, March 2018.
- ZAKI, E. **Recursos virtuais em aulas de laboratório de física**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências - Universidade de São Paulo. São Paulo. 2006.

Anexos

1. Roteiro da atividade Experimento do Trem usado em 2018

Nesse experimento virtual estudaremos o movimento de uma bolinha que é lançada da chaminé de um trem em movimento. Em certo ponto do trajeto há um túnel. No exato instante em que o trem está entrando no túnel, a bolinha é lançada verticalmente para cima. Ela passa por cima do túnel e volta a cair na chaminé.

1. Acesse: <http://www.fep.if.usp.br/~fisfoto/translacao/velocidadeRelativaTrem/index.php>. Assista ao vídeo do experimento e observe atentamente os movimentos do trem e da bolinha.
2. Qual o tipo de movimento descrito pela bolinha?
3. Acesse a aba *Filmes e Quadros* e em seguida a sub aba *Quadros*. Clique então na situação **1 A**.

4. Você verá alguns quadros do movimento. Em cada quadro, leremos diretamente o instante de tempo em segundos e a posição da bolinha, nas direções X e Y, a partir de uma escala com espaçamentos de 0,0185 m, como está ilustrado na Figura 1.

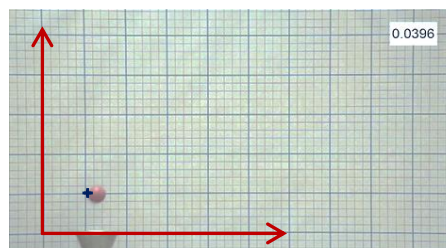


Figura 63: A cruzinha indica o ponto da bolinha que será usado na leitura das posições.

5. Acesse o link <http://www.fep.if.usp.br/~fisfoto/modelosanta> e baixe o modelo de planilha Excel.
6. Preencha a tabela com as da posição da bolinha na direção X ($X_{bolinha}$) e com a posição da bolinha na direção Y ($Y_{bolinha}$), nos tempos selecionados. Na coluna correspondente converta as posições para o **SI**.
7. Observe os quadros disponíveis do movimento da bolinha. Compare a posição da bolinha em relação à chaminé. O que você pode dizer sobre a velocidade do trem?
8. Calcule, na coluna seguinte, a velocidade da bolinha na direção Y ($V_{Y_{bolinha}}$) através da equação da velocidade média $V_{Y_{t_{medio}}} = \frac{(Y_2 - Y_1)}{(t_2 - t_1)}$. A velocidade média nesse intervalo de tempo é, com boa aproximação, igual à velocidade instantânea no tempo médio t . Por isso, calcule na coluna seguinte esse instante de tempo usando a equação $t_{medio} = \frac{(t_2 + t_1)}{2}$.

9. A partir dos dados obtidos até agora, construa gráficos de $X_{bolinha}(m) \times t(s)$ e $Y_{bolinha}(m) \times t(s)$ e responda:

a) Qual o tipo de movimento na referência X? Justifique a partir dos pontos visualizados no gráfico.

b) **Seguindo a orientação dos professores**, ajuste uma linha de tendência aos pontos do gráfico

$X_{bolinha}(m) \times t(s)$. Escreva abaixo o valor da **componente horizontal da velocidade** da bolinha.

$$V_{ox} = \underline{\hspace{2cm}}$$

10. Qual o tipo de movimento na referência Y? Justifique a partir dos pontos visualizados no gráfico.

11. Construa no Excel o gráfico de $V_{Y_{bolinha}} \times t_{médio} (s)$. O gráfico está acordo com o previsto? Justifique.

12. Ajuste uma linha de tendência aos pontos do gráfico $V_{Y_{bolinha}} \times t_{médio} (s)$. Escreva abaixo a função obtida e identifique os valores de cada grandeza física.

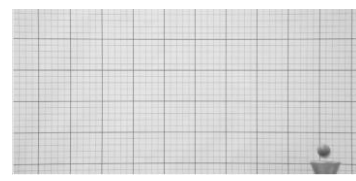
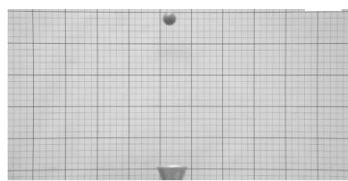
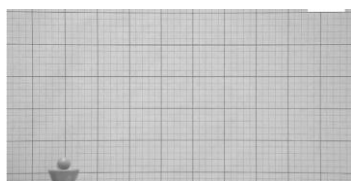
$$y = \underline{\hspace{2cm}} \quad V_{oy} = \underline{\hspace{2cm}} \quad a = \underline{\hspace{2cm}}$$

13. Represente e nomeie, em cada uma das figuras abaixo, o vetor $\vec{V}_{X_{bolinha}}$, $\vec{V}_{Y_{bolinha}}$ e $\vec{V}_{bolinha}$.

Instante do lançamento

Ponto mais alto

Retorno à chaminé



14. A trajetória da bolinha vista a partir do referencial do trem é a mesma vista do referencial do laboratório? Como a bolinha foi disparada em relação ao trem? Qual a funcionalidade do trem? Por que a bolinha retorna para a chaminé após o seu lançamento?

Escreva um parágrafo sintetizando as respostas e justifique a partir da análise dos dados, gráficos e da teoria física envolvida na decomposição do movimento no lançamento oblíquo. Explícite todo o raciocínio.

15. A partir dos dados obtidos até aqui e usando as ferramentas aprendidas no Excel, determine, do ponto de vista do referencial do laboratório o **ângulo de lançamento da bolinha com a horizontal**. Explícite todo o raciocínio e cálculos.

Ângulo: _____

16. O que aconteceria se a bolinha fosse **disparada** formando um ângulo com a horizontal, em relação ao referencial horizontal? Justifique.

2. Roteiro do Experimento do Trem e do Simulador de lançamentos (2019)

Essa atividade tem por objetivo desenvolver habilidades no uso de planilhas computacionais. A partir de um conjunto de dados será possível efetuar cálculos, construir gráficos e ajustar funções a eles.

Para isso, estudaremos o movimento de uma bolinha que é lançada da chaminé de um trem em movimento. Em certo ponto do trajeto há um túnel. No exato instante em que o trem está entrando no túnel, a bolinha é lançada verticalmente para cima. Ela passa por cima do túnel e volta a cair na chaminé.

Ouçã as instruções dadas pelos professores antes de iniciar o trabalho.

1. Acesse: <http://www.fep.if.usp.br/~fisfoto/translacao/velocidadeRelativaTrem/index.php>. Assista ao vídeo do experimento e observe atentamente os movimentos do trem e da bolinha.

2. Qual o tipo de movimento descrito pela bolinha?

3. Acesse a aba *Filmes e Quadros* e em seguida a sub aba *Quadros*.

Clique então na situação **1 A**.

4. Você verá alguns quadros do movimento. Em cada quadro, leremos diretamente o instante de tempo em segundos e a posição da bolinha, nas direções X e Y, a partir de uma escala com espaçamentos de **0,0185 m**, como está ilustrado na Figura 1.

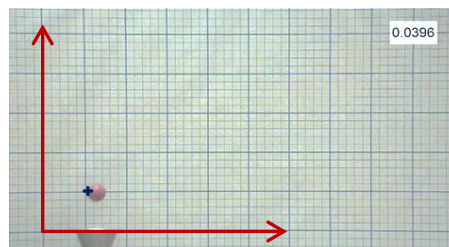


Figura 1: A cruzinha indica o ponto da bolinha que será usado na leitura das posições.

5. Acesse e baixe o modelo de planilha disponível no ambiente online do curso.

6. Preencha a tabela com a posição da bolinha na direção X (S_x) e com a posição da bolinha na direção Y (S_y), nos tempos selecionados. Na coluna correspondente converta as posições para o **SI**.

7. Observe os quadros disponíveis do movimento da bolinha. Compare a posição da bolinha em relação à chaminé. O que você pode dizer sobre a **velocidade do trem** em relação ao solo ?

8. Calcule, na coluna seguinte, aquela construída no item 6, a velocidade da bolinha na direção Y (V_y) através da equação da velocidade média $V_{Y_{t_{\text{méd}}}} = \frac{(Y_2 - Y_1)}{(t_2 - t_1)}$. A velocidade

média nesse intervalo de tempo é, com boa aproximação, igual à velocidade instantânea no tempo médio t . Por isso, calcule na coluna seguinte esse instante de tempo usando a equação

$$t_{\text{médio}} = \frac{(t_2+t_1)}{2} .$$

9. A partir dos dados obtidos até agora, construa gráficos de $S_x (m) \times t(s)$ e $S_y(m) \times t(s)$ e responda:

a) Qual o tipo de movimento na **direção horizontal**? Justifique a partir dos pontos visualizados no gráfico.

b) **Seguindo a orientação dos professores**, ajuste uma linha de tendência aos pontos do gráfico $S_x (m) \times t(s)$. Escreva abaixo o valor da **componente horizontal da velocidade** da bolinha.

$$V_{ox} = \underline{\hspace{2cm}}$$

10. Qual o tipo de movimento na **direção vertical**? Justifique a partir dos pontos visualizados no gráfico.

11. Construa na planilha o gráfico de $V_y \times t_{\text{médio}} (s)$. O gráfico está acordo com as expectativas, tendo em vista o conteúdo teórico visto em classe? Justifique.

12. **Seguindo a orientação dos professores**, ajuste uma linha de tendência aos pontos de cada um dos gráficos construídos. Escreva abaixo as funções obtidas e identifique cada um de seus termos.

$$S_x = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$S_y = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$V_y = \underline{\hspace{2cm}}$$

S_{oy} (m)	S_{ox} (m)	V_{oy} (m/s)	V_x (m/s)	g (m/s ²)

13. Abra a aba “Simulador” da planilha. A ideia será construir um simulador onde teremos a trajetória descrita pela bolinha real e outras trajetórias possíveis caso alterássemos as velocidades V_x e V_{oy} .

Considerando o tempo total de voo, preencha na planilha uma nova coluna com pelo menos 15 instantes de tempo diferentes e igualmente espaçados entre si. Para facilitar os cálculos seguintes, preencha os espaços correspondentes na planilha com os dados da tabela anterior.

Seguindo a orientação dos professores escreva os valores de S_x e S_y a partir das funções horárias obtidas no item 12.

Nas colunas seguintes, S_{xteste} e S_{yteste} , repetiremos o mesmo procedimento, no entanto usaremos os valores de V_x e V_{oy} preenchidos na planilha.

14. Com os valores calculados anteriormente, construa um gráfico das posições S_y em função das posições S_x . Acrescente no mesmo sistema de eixos o gráfico de $S_{y_{\text{teste}}}$ em função do $S_{x_{\text{teste}}}$. O que esse gráfico representa?
15. Altere na planilha os valores da velocidade V_x da bolinha e descreva o que acontece no gráfico anterior.
16. Altere na planilha o valor da velocidade V_{oy} da bolinha e descreva o que acontece no gráfico anterior.
17. A trajetória da bolinha vista a partir do trem é a mesma vista desde um observador parado no chão? Explique.
18. Por que a bolinha retorna para a chaminé após o seu lançamento? Qual deve ser o ângulo de lançamento da bolinha, **se você estiver na locomotiva (em relação ao trem)**, para que isso seja possível? Esse ângulo é o mesmo para uma pessoa parada no chão que vê o lançamento? Explique.

3. Roteiro da atividade Lançamento do Zezé usado em 2019

Problema – Salvando o Zezé

Durante uma viagem de férias, o trem em que Helena Pêra, a Mulher Elástica, viajava com Zezé foi atacado subitamente pelo Síndrome, que queria explodir o trem e raptar seu bebê incrível. Na tentativa de salvar os passageiros do trem e ainda com Zezé em seu colo, numa atitude heroica ela levou a batalha para fora do trem, ficando cara a cara com seu inimigo em cima de um dos vagões com o trem ainda em movimento. Num ato imprevisível, a Mulher Elástica lança Zezé para o alto, nocauteia seu oponente, que cai do trem, e ainda consegue recuperar seu bebê sem usar seus poderes. Desenvolva estratégias para descrever qual foi a velocidade de lançamento de Zezé bem como a trajetória descrita por ele ao longo de seu movimento. O ideal é que essa descrição possa ser feita para qualquer velocidade de lançamento do Zezé.



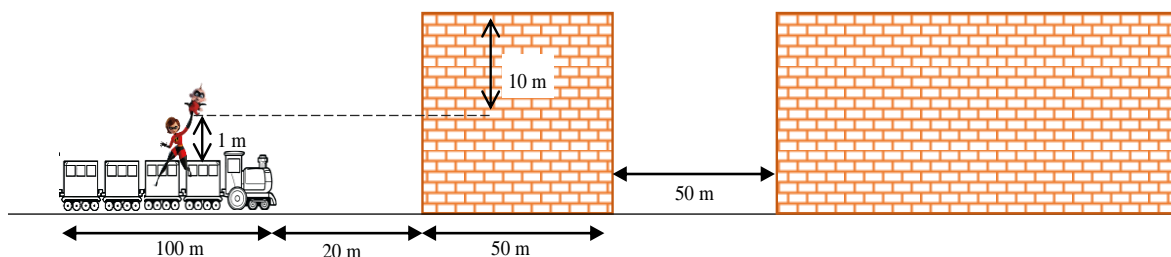
Condições para resolução do problema:

Considere as dimensões do trem e do túnel, bem como suas distâncias, conforme o esquema abaixo.

Atenção! Você deverá definir a posição da Mulher Elástica sobre o Trem.

Defina um valor constante para a velocidade do trem entre 90 km/h e 270 km/h.

O trem está prestes a entrar numa sequência de túneis. Zezé deve ser lançado antes do primeiro túnel e recolhido antes do próximo túnel. Despreze a resistência do ar.



Você deverá entregar:

– Questionamentos levantados antes de iniciar a resolução do problema;

– Simulador do movimento descrito por Zezé. Seu simulador deve possibilitar que os professores testem suas respostas (será entregue como uma tarefa no portal de atividades da escola).

– Discussão baseada nos resultados simulados na planilha.

Importante: Sua discussão deverá conter necessariamente a função horária da posição do Zezé em cada direção (vertical e horizontal), bem como o seu ângulo de lançamento para uma pessoa que vê o movimento de Zezé desde o chão. Faça um esquema da situação com as posições, velocidade do trem e a velocidade de lançamento.

4. Roteiro da atividade Experimento do trem usado em 2020

Experimento do trem

Objetivos

As atividades propostas nesta parte do curso têm como objetivo ilustrar aspectos mais específicos de cada disciplina nos processos de investigação científica. Continuaremos a utilizar as ferramentas e métodos de estudo desenvolvidos no primeiro módulo, mas cada atividade trará especificidades da disciplina envolvida na metodologia de investigação e análise do problema. Essa atividade tem por objetivo desenvolver habilidades no uso de planilhas computacionais. A partir de um conjunto de dados será possível efetuar cálculos, construir gráficos e ajustar funções a eles.

Arranjo experimental

Estudaremos o movimento de uma bolinha que é lançada da chaminé de um trem em movimento. Em certo ponto do trajeto há um túnel. No exato instante em que o trem está entrando no túnel, a bolinha é lançada verticalmente para cima. Ela passa por cima do túnel e volta a cair na chaminé. Em um laboratório, o movimento do trem foi filmado na frente de um painel quadriculado. Esse painel permite a determinação das posições da bolinha ao longo do tempo. A experiência foi filmada e o vídeo gerado foi repartido em quadros (frames) para permitir uma análise quantitativa do fenômeno. Acesse os links das páginas indicadas abaixo para conferir mais detalhes sobre o arranjo experimental.

Materiais utilizados:

<http://www.fep.if.usp.br/~fisfoto/translacao/velocidadeRelativaTrem/materiais.php>

Vídeos da experiência:

<http://www.fep.if.usp.br/~fisfoto/translacao/velocidadeRelativaTrem/videos.php>

Procedimentos

1. Assista ao vídeo do experimento e observe atentamente os movimentos do trem e da bolinha. Qual o tipo de movimento descrito pela bolinha? Você já viu uma situação dessas antes? Como faria para estudar esse movimento?
2. Acesse a aba **Filmes e Quadros** e em seguida a sub aba **Quadros**.
3. Você verá alguns quadros do movimento. Em cada quadro, leremos diretamente o instante de tempo **em segundos** e a posição da bolinha, nas direções X e Y, a partir de uma escala com espaçamentos de **0,0185 m**, como está ilustrado na Figura 1 abaixo.

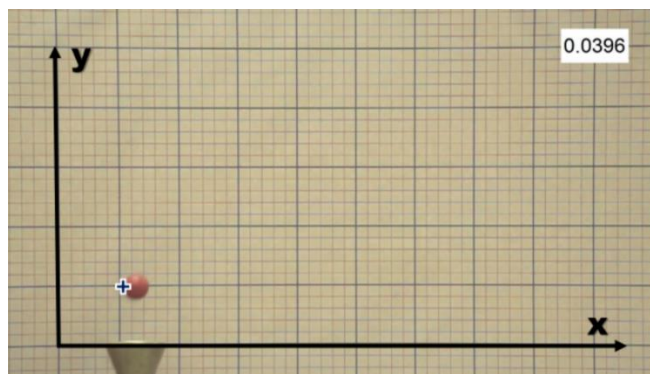


Figura 1. A cruzinha indica o ponto da bolinha que será usado na leitura das posições

4. Preencha a tabela disponível na aba **Planilha de Dados**, com a posição da bolinha na direção X (S_x) e com a posição da bolinha na direção Y (S_y), em cada instante de tempo, para todas as imagens disponíveis no conjunto. Na coluna correspondente, converta as posições para o **SI**. Para tanto, siga as dicas disponíveis no tutorial linkado abaixo.

Coleta de dados: https://www.youtube.com/watch?v=VwB_JRI9yVQ

5. Observe os quadros disponíveis do movimento da bolinha. Compare a posição horizontal da bolinha em relação à chaminé. O que você pode dizer sobre a **velocidade do trem**?

6. Calcule, na coluna seguinte, o instante de tempo médio e a velocidade da bolinha na direção Y (V_y). Para tanto, siga a metodologia de cálculo explicada no vídeo linkado abaixo.

Cálculo de $t_{MÉDIO}$ e V_y : <https://www.youtube.com/watch?v=vON8Ctb0UsU>

7. A partir dos dados obtidos, construa na aba **Planilha de Dados** os gráficos $S_x(m) \times t(s)$ e $S_y(m) \times t(s)$. Para tanto, siga a metodologia de construção de gráficos explicada no vídeo linkado abaixo.

Construção de gráficos: <https://www.youtube.com/watch?v=0vXRBxJdme4>

Análise de dados

8. Com base nos gráficos construídos, responda às questões abaixo.

a) Qual o tipo de movimento na **direção horizontal**? Justifique a partir dos pontos visualizados no gráfico. Retome sua resposta à questão 1 e comente se isso era esperado.

b) Ajuste uma linha de tendência aos pontos do gráfico $S_x(m) \times t(s)$, seguindo a metodologia de ajuste explicada no vídeo linkado abaixo. Escreva abaixo o valor da **componente horizontal da velocidade** da bolinha:

$$V_x = \underline{\hspace{2cm}}$$

Ajuste de funções: <https://www.youtube.com/watch?v=Mc8vqFXIcSs>

c) Qual o tipo de movimento na **direção vertical**? Justifique a partir dos pontos visualizados no gráfico. Retome sua resposta à questão 1 e comente se isso era esperado.

9. Construa na aba **Planilha de Dados** o gráfico de $V_y(\text{m/s})$ x $t_{\text{MÉDIO}}(\text{s})$. O gráfico está de acordo com a expectativa do que já havia sido visto nas aulas teóricas? Justifique.

10. Ajuste uma linha de tendência aos pontos de cada um dos gráficos construídos. Escreva abaixo as funções horárias obtidas e identifique cada um dos seus termos:

$S_x =$ _____	S_{0x} (m)	S_{0y} (m)	V_x (m/s)	V_{0y} (m/s)	g (m/s ²)
$S_y =$ _____					
$V_y =$ _____					

11. A partir da análise cinemática já realizada, como você faria para **representar em um gráfico a trajetória da bolinha**? Explique. (Dica: a trajetória é o conjunto de pontos do espaço que a bolinha ocupou enquanto se movia). Na aba **Planilha de dados** há um espaço reservado para você construir o gráfico baseando-se na ideia proposta!

5. Roteiro da atividade Simulador de lançamentos usado em 2020

Simulador de Lançamentos

Introdução

Na primeira parte da atividade, aprendemos a construir gráficos e ajustar funções horárias que descreviam o movimento da bolinha. Além disso, pensamos sobre como poderíamos representar graficamente a trajetória dela, não é mesmo? Nesta nova etapa, tentaremos reproduzir sua trajetória a partir de todos os dados experimentais obtidos. Até então, nas aulas de física, acostumamo-nos a representar trajetórias desenhando a situação inicial, o sentido de movimento e as posições em alguns instantes. Aqui, aprenderemos a **construir** e **manipular** um gráfico completo da **trajetória da bolinha**, contemplando todo o conjunto de pontos que ela ocupou no espaço ao longo de seu movimento. Além disso, poderemos **simular** como seria a trajetória da bolinha alterando a velocidade do trem ou do seu lançamento!

Procedimentos

1. Preencha a aba *Planilha do Simulador* com os dados obtidos a partir dos ajustes de funções feitos na aula passada. Para tanto, siga as instruções e dicas disponíveis no tutorial abaixo. **ATENÇÃO:** no vídeo, as partes 1 e 2 estão em abas dentro da mesma planilha, você, no entanto, terá duas abas na atividade da aula passada (Parte 1) e duas abas nesse arquivo. Para seguir as instruções do vídeo, deixe a planilha da aula passada aberta também. Há um espaço também para você posicionar as representações construídas.

Preparando o simulador: <https://www.youtube.com/watch?v=u6LjHHZrQtM&feature=youtu.be>

2. Quais são as semelhanças e diferenças entre o gráfico $S_y \times S_x$ construído agora e o gráfico $S_y \times t$ da aula passada?

3. Um simulador é um recurso que nos permite prever os desdobramentos de um fenômeno a partir de certos parâmetros e condições iniciais a ele inerentes. Para efetivamente construirmos essa ferramenta, repetiremos os procedimentos anteriores, mas alterando inicialmente duas das condições iniciais: V_x e V_{oy} . Siga os passos iniciais e sugestões do tutorial abaixo, com **muita atenção**; pequenos erros procedimentais podem comprometer os resultados!

Construindo o simulador: <https://www.youtube.com/watch?v=oNxT6r55-1M&feature=youtu.be>

Análise e discussão

4. Agora, com o simulador estruturado e programado, reunimos condições de testar diferentes combinações de parâmetros e condições iniciais para entender que trajetória para a bolinha a física prevê em cada caso. Vamos embarcar nessa aventura? Realize os testes propostos e responda às questões a seguir.

a) Simule como a trajetória da bolinha se comporta para diferentes valores de velocidade do trem (V_{xteste}), aumentando e diminuindo seu respectivo valor na planilha. O que acontece com o gráfico em cada caso? Explique as variações ocorridas e identifique suas implicações para a trajetória.

b) De maneira análoga, simule como a trajetória da bolinha se comporta para diferentes valores de velocidade de lançamento da bolinha ($V_{0yteste}$). O que acontece com o gráfico em cada caso? Explique as variações ocorridas e identifique suas implicações para a trajetória da bolinha.

c) Você deve ter notado que aumentando demais os valores de alguma dessas velocidades ou de ambas, ficamos impossibilitados de observar a trajetória da bolinha em sua totalidade. Nessa circunstância, que outra(s) grandeza(s) (*que não tais velocidades*) poderíamos ajustar, e como, para visualizarmos a trajetória completa?

d) Lembre-se do fenômeno que vimos no vídeo da aula anterior e reflita sobre como seria o movimento da bolinha visto por diferentes observadores, um no trem e outro no solo. A trajetória da bolinha vista a partir do referencial do trem é a mesma vista desde um observador parado no chão? Explique o raciocínio usado.

e) Apesar dessas diferenças identificadas na trajetória para cada referencial, o fato físico é um só: a bolinha foi lançada do trem. Valendo-se desse fato, responda: qual deve ser o ângulo de lançamento da bolinha, no referencial do trem, para que seja possível a trajetória descrita no item anterior? Esse ângulo é o mesmo para o observador parado no chão? Justifique suas respostas.

f) Com as de informações obtidas e noções desenvolvidas, responda: por que a bolinha retorna para a chaminé do trem após ser lançada?

Aquecimento para investigação da próxima aula

5. Retome todo o trabalho realizado e reflita sobre as facilidades e dificuldades encontradas pelo grupo ao lidar com o simulador de movimento. Elaborem um comentário crítico,

especificando quais cuidados precisaram ser tomados na elaboração do simulador e identificando quais são as vantagens e desvantagens de se utilizar esse tipo de ferramenta.

6. Assista ao vídeo com arremessos em um jogo de basquete (linkado abaixo). Temos uma situação parecida com o lançamento da bolinha pelo trem, no entanto nesse caso temos um jogador de basquete que tenta acertar uma cesta de 3 pontos, fazendo o lançamento da bola enquanto corre. Observando o vídeo pense sobre o que diferencia os dois movimentos (trem e jogador de basquete) em relação às grandezas que trabalhamos na primeira parte da atividade. Pense sobre o tipo de movimento do jogador e da bola de basquete e como é realizado o lançamento. Quais grandezas seriam necessárias para estudar esse novo movimento? Como poderíamos obtê-las a partir do vídeo assistido?

Arremessos do basquete: <https://www.youtube.com/watch?v=2dnhFO-m5gc>

6. Roteiro da atividade Lançamento nos esportes usado em 2020

Lançamento nos esportes

Nessa proposta de investigação, retomaremos o estudo de sistemas reais (tal como na Parte I) e o uso de um simulador de movimento (tal como na Parte II) para investigarmos a respeito de situações um pouco mais desafiadoras: os lançamentos nos esportes! Será que conseguimos simular lançamentos de dardos no atletismo ou encestamentos de longa distância no basquete? Como podemos fazer para levar em conta não só o lançamento do dardo ou da bola, mas também o fato de que, durante o lançamento, o atleta ou jogador em geral também está se movendo em relação ao solo?

Introdução

Nossa situação-problema envolverá um vídeo de um movimento real de lançamento, num cenário não controlado, tal como é o de um laboratório. Imagine que você é da equipe técnica de atletismo **ou** de basquete e que você gostaria de testar cenários para entender em que ocasiões são possíveis os melhores lançamentos - lembrando, claro, que os objetivos de cada esporte são bem específicos! A partir das habilidades desenvolvidas na construção do simulador do movimento da bolinha na Parte II, seu grupo construirá um simulador de movimento para a bola de basquete **ou** para o dardo, dependendo do esporte atribuído a você! Por isso, de antemão é preciso refletir sobre as particularidades dessas novas situações físicas, de modo que o simulador a ser construído dê conta de prever possíveis trajetórias a partir de certas grandezas inerentes ao movimento do atleta e ao lançamento do objeto. A estrutura da atividade é similar àquela dos outros relatórios que já fizemos ao longo do semestre.

Descrição do problema

Assista com atenção ao vídeo atribuído a você e descreva os movimentos apresentados, tanto do atleta quanto do objeto arremessado. Atenção: a descrição do movimento **não** se resume a um *simples* lançamento oblíquo! Reflitam, debatam e levantem questionamentos iniciais sobre os movimentos e também sobre as grandezas de possível análise a partir deles. Para ilustrar a sua descrição você **deve** inserir abaixo uma imagem representando a situação: faça uma captura da tela do instante de lançamento e edite-a, acrescentando sobre a imagem esquemas de análise que forem relevantes.

Metodologia de análise do vídeo

Como vimos nas aulas anteriores, para construir o simulador de movimento são necessárias algumas grandezas, relativas às condições iniciais do lançamento. Neste início da análise, a ideia é calcular ou estimar essas grandezas a partir do vídeo disponibilizado, para que elas componham os *parâmetros do primeiro cenário* de teste do simulador que será construído! Lembre-se que algumas grandezas possuem valores oficiais e podem ser pesquisadas! Faça tais cálculos ou estimativas, explicitando em sua resposta que metodologia foi usada nesse processo. Dica: não bastam o V_{ox} e o V_{oy} do objeto lançado, pois o atleta *também* está em movimento em relação ao solo!

Preparação do simulador

A partir das considerações feitas para o tipo de movimento, organize na aba *Simulador do Atleta* as grandezas necessárias para a construção do simulador. Clique [aqui](#) para conferir algumas dicas! Monte, para o movimento do dardo ou da bola de basquete em cada direção, as funções horárias das posições S_x e S_y . Explique e justifique abaixo a escolha adotada para as referências e para os instantes de tempo, apresentando esquematicamente as mesmas em uma nova captura de tela do instante inicial do lançamento.

Resultado e discussão

1. Retome a situação de lançamento apresentada no vídeo e prepare-se para explorar o simulador! Teste diversos cenários simulando valores diversos (porém, realistas) para cada uma das velocidades (parâmetros do lançamento). Observe quais efeitos sobre a trajetória são causados por aumentos ou diminuições de cada parâmetro. A partir dessas observações, explique o que acontece com o alcance, a altura máxima e o tempo de voo, conforme cada parâmetro é alterado.
2. Após a realização dos testes, proponha a *condição de melhor lançamento* para o esporte que você está estudando, considerando o jogador no centro da quadra, no sentido longitudinal, (no caso do basquete) ou o atleta no fim da pista de corrida (no caso do lançamento de dardo). Para ilustrar essa situação você pode inserir abaixo uma imagem com a representação esquemática da situação física; pode ser uma foto do desenho feito no caderno ou no computador. Explique seus encaminhamentos, destacando que parâmetros foram considerados no raciocínio e narre o processo de elaboração das conclusões levando em conta o uso do simulador.
3. A longa bateria de testes permitiu que você obtivesse as condições ótimas para o lançamento perfeito. Grave um breve vídeo, de no máximo 2 minutos, mostrando o seu

simulador em funcionamento (gravação de tela). Apresente, no mínimo, a situação inicial (tal qual mostrada no vídeo atribuído a você) e o efeito de alteração dos parâmetros (S_{ox} , S_{oy} , V_{ox} e V_{oy}) para a obtenção do lançamento perfeito. Nesse vídeo é necessária a narração explicativa do processo para que fique claro que o seu simulador funciona. Faça upload do seu vídeo em alguma plataforma ou repositório e insira abaixo o respectivo link.

7. Relatórios dos alunos

No link abaixo encontra-se uma pasta subdividida nos três anos das iterações: 2018, 2019 e 2020.

<http://fep.if.usp.br/~fisfoto/AnexosTeseMonaliza>

Em cada uma delas estão disponibilizados os relatórios dos estudantes com as devidas correções. No ano de 2018 as fichas da atividade foram entregues em papel, por isso eles foram escaneados. Em 2019, os arquivos da primeira parte foram entregues como um arquivo *.xls* e a segunda parte foi feita à mão, por isso esses relatos também foram escaneados. Em 2020 todas as atividades foram realizadas no Google Sala de Aula. As três partes da atividade foram entregues de maneira online, por isso os arquivos foram baixados e estão disponíveis em formato *.xls*.

As aulas gravadas no ano de 2020 estão disponibilizadas nos links abaixo:

- Coleta de dados e conversão (Experimento do Trem): https://youtu.be/VwB_JRI9yVQ
- Cálculo do t_{medio} e V_y (Experimento do Trem): <https://youtu.be/vON8Ctb0UsU>
- Construção de gráficos (Experimento do Trem): <https://youtu.be/0vXRBxJdme4>
- Ajuste de funções (Experimento do Trem): <https://youtu.be/Mc8vqFXIcSs>
- Preparando o simulador de lançamentos: <https://youtu.be/u6LjHHZrQtM>
- Construindo o simulador de lançamentos: <https://youtu.be/oNxT6r55-1M>
- Preparação para a investigação: <https://youtu.be/d44zEMJ9sKw>
- Investigação: O lançamento perfeito: <https://youtu.be/6RPCT0ZqFCg>