

TECNOLOGIAS DIGITAIS COMO RECURSOS SEMIÓTICOS EM ATIVIDADES DE MODELAGEM MATEMÁTICA COM EXPERIMENTAÇÃO INVESTIGATIVA

Paulo Henrique Hideki Araki
Universidade Estadual de Maringá
phh.araki@gmail.com

Karina Alessandra Pessoa da Silva
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
karinasilva@utfpr.edu.br

Resumo

Neste artigo temos como objetivo apresentar reflexões acerca da questão: como a tecnologia se configura enquanto recurso semiótico no desenvolvimento de atividades de Modelagem Matemática com experimentação investigativa? Com esse propósito, procedemos à análise de um conjunto de sete atividades desenvolvidas por alunos dos anos finais do Ensino Fundamental, matriculados em uma instituição de ensino localizada no estado do Paraná. A análise qualitativa dessas atividades repousa sobre os alicerces teóricos da Modelagem Matemática, da experimentação investigativa, das tecnologias digitais e da Semiótica, mais especificamente voltada aos recursos semióticos, empregados pelos alunos durante a produção de signos no decorrer das atividades. Por meio do processo analítico, evidenciamos que a utilização das tecnologias digitais enquanto recursos semióticos se efetiva no âmbito da produção de signos relativos à problemática investigada e à investigação experimental nos momentos pré-laboratório, laboratório e pós-laboratório sob diferentes circunstâncias: inteiração e delimitação da situação-problema, abordagem experimental e coleta de dados, interpretação de dados, dedução do modelo matemático e validação.

Palavras-chave: Educação Matemática. Anos finais do Ensino Fundamental. Semiótica.

Introdução

Ao longo dos últimos anos, muito tem se debatido acerca do potencial das tecnologias digitais inseridas no contexto educacional, sendo consideradas elementos fundamentais em reformas educacionais em todo o mundo. Essa discussão abrange desde uma reflexão direta sobre os modos como as tecnologias têm alterado as atividades humanas (PERRENOUD, 2000), até, mais recentemente, a sua aplicação de forma emergencial, conforme evidenciado durante a pandemia de Covid-19. Independentemente do contexto em que são empregadas, as tecnologias vêm desempenhando papéis variados no campo da educação.

Nesta conjuntura, as atividades de investigação realizadas no contexto escolar têm se beneficiado da incorporação de tecnologias digitais, em virtude da capacidade de “ensinar e aprender, oferecendo novas e variadas formas para que esses processos ocorram” (MALTEMPI, 2008, p. 60).

Entre essas atividades, merecem destaque a Modelagem Matemática, no contexto da Educação Matemática, e a experimentação investigativa, no âmbito da Educação Científica.

Modelagem¹, experimentação investigativa e tecnologias digitais são conceitos amplamente teorizados por pesquisadores que investigam as diferentes configurações dos ambientes educacionais. No presente estudo, a partir de dados obtidos por meio de uma pesquisa conduzida com alunos dos anos finais do Ensino Fundamental, nos propomos a explorar a articulação entre esses conceitos. Para tal análise, empregamos uma abordagem que busca a compreensão dos processos de significação resultantes dessa articulação, embasando-nos na teoria semiótica de Peirce, a qual fornece um arcabouço conceitual sólido para explorar a natureza e a dinâmica dessas relações.

Com base no exposto, debruçamo-nos em investigar a questão: “Como a tecnologia digital se configura enquanto recurso semiótico no desenvolvimento de atividades de Modelagem Matemática com experimentação investigativa?” Para tanto, apresentamos, em seções próprias, os entendimentos adotados neste trabalho acerca da Modelagem, experimentação investigativa, Semiótica Peirceana e tecnologias digitais; o percurso metodológico da pesquisa; as análises feitas a partir das atividades desenvolvidas; e finalizamos apresentando algumas considerações advindas do movimento analítico.

Sobre o quadro teórico

A Modelagem Matemática, em sua essência, compreende a abordagem de situações-problema do mundo real por intermédio da linguagem matemática, por meio da elaboração e subsequente validação de um modelo matemático. De modo geral, a dedução de um modelo matemático tem como objetivo estabelecer uma descrição de um sistema, fenômeno ou processo da realidade, buscando simplificar e abstrair os elementos fundamentais de uma situação complexa.

Considerando suas potencialidades no tratamento de conceitos matemáticos diversos, vários autores apontam para a incorporação da Modelagem sob o viés da Educação Matemática. De maneira geral, essa perspectiva visa “potencializar a presença da reflexão, do diálogo e da crítica nas aulas de Matemática, por favorecer que os estudantes passem a integrar, por meio da matemática, situações da sua vivência e interesse” (SCHRENK; VERTUAN, 2022, p. 197).

Nesse contexto, a concepção central de uma atividade de Modelagem Matemática reside na formulação e resolução, em ambiente de sala de aula, de problemas matemáticos correlacionados a contextos da realidade. Alicerçados nessa definição, Almeida, Silva e Vertuan (2012) definem uma

¹ Para fins textuais, empregamos o termo “Modelagem” com o mesmo sentido que “Modelagem Matemática”.

atividade de Modelagem Matemática como sendo um ciclo composto por cinco fases distintas: *inteiração, matematização, resolução, interpretação de resultados e validação*.

Segundo esses autores, a fase de *inteiração* consiste no primeiro contato entre o modelador e a situação original, com base em uma busca sistemática por informações que viabilizem a compreensão de uma situação-problema e a apreensão do modelo real subjacente à situação em questão. A fase de *matematização* encontra-se intrinsecamente relacionada à busca e elaboração de uma representação matemática, mediada por inter-relações entre as características da situação em análise e os conceitos, técnicas e procedimentos matemáticos apropriados. A fase de *resolução* do problema envolve a dedução do modelo matemático capaz de capturar e expressar adequadamente as complexidades inerentes à situação original. A *interpretação de resultados* implica na avaliação sistemática realizada pelos participantes engajados na atividade. Tal avaliação não apenas fornece uma *validação* da representação matemática associada ao problema, mas também verifica sua pertinência e adaptação ao contexto específico que está sendo estudado.

A tecnologia pode dar suporte em diferentes fases da Modelagem. Para Greefrath e Siller (2017), o potencial das ferramentas digitais tem importância particular na descoberta de relações matemáticas, na promoção da compreensão das relações matemáticas, em possibilitar diferentes formas de visualização, no processamento de grandes quantidades de dados, entre outros. Para esses autores, com respeito à descoberta de relações matemáticas, ferramentas digitais são especialmente importantes em experimentos realizados em um modelo real ou matemático (GREEFRATH; SILLER, 2017).

Dada a sua natureza heurística, a Modelagem possibilita a abordagem de temas oriundos de diversas áreas do conhecimento. Dentre elas, o presente trabalho lança um olhar aos tópicos advindos das Ciências da Natureza, tomando como princípio a condução de experimentos investigativos.

No âmbito da Educação Científica, a metodologia de ensino investigativo por meio de práticas experimentais envolve uma abordagem pedagógica que abarca diversas estratégias voltadas para as habilidades cognitivas dos alunos, rompendo com o tradicional modelo em que o conteúdo é transmitido pelo professor. Esse enfoque estimula a autonomia dos alunos, promovendo a sua independência no processo de aprendizado (CARVALHO, 2020).

Sobre o processo de delineamento da experimentação investigativa enquanto metodologia, Delizoicov e Angotti (2000, p. 22) esclarecem que:

Considera-se mais conveniente um trabalho experimental que dê margem à discussão e interpretação de resultados obtidos (quaisquer que tenham sido), com o professor atuando no sentido de apresentar e desenvolver conceitos, leis e teorias envolvidas na experimentação. Desta forma o professor será um orientador crítico

da aprendizagem, distanciando-se de uma postura autoritária e dogmática no ensino e possibilitando que os alunos venham a ter uma visão mais adequada do trabalho em ciências.

No contexto da sala de aula, segundo Silva (2011), a experimentação investigativa pode abarcar três momentos distintos: o *momento pré-laboratório*, ancorado na apresentação do problema (contextualizado) a ser investigado e na evocação dos conhecimentos a respeito do tema; o *momento laboratório*, tendo como base a condução da investigação experimental e que propicie ao aluno analisar os dados obtidos empiricamente, sobretudo no que diz respeito à percepção de mudanças e estabelecimento de relações; e o *momento pós-laboratório*, com as analisar os dados obtidos empiricamente e o estabelecimento de conclusões acerca do problema.

Considerando as contribuições advindas da interligação entre os processos de modelagem e investigação experimental, a análise da natureza simbólica resultante desse empreendimento revela-se como um campo prolífico de análise. Tal situação nos direciona à estrutura conceitual da Semiótica Peirceana, que se dedica ao estudo dos signos.

Segundo Nöth e Santaella (2017, p. 7), a Semiótica pode ser entendida como sendo “a ciência dos signos e dos processos sígnicos na cultura e na natureza”. Enquanto campo do conhecimento destinado ao estudo dos signos, dentre as definições encontradas na literatura, embasamos o nosso entendimento à concepção adotada por Charles S. Peirce. Peirce (2017) afirma que a Semiótica, enquanto uma doutrina formal dos signos, pode ser constituída a partir de uma relação triádica entre signo (ou representámen), objeto e interpretante. Em linhas gerais, um signo é algo que, para uma pessoa (o seu intérprete), toma o lugar de outra coisa (o seu objeto), não em todos os seus aspectos, mas em certa capacidade. Dessa relação entre o signo e o objeto emerge o interpretante, um processo racional evocado na mente do intérprete. A produção de interpretantes é permeada pela aplicação de uma diversidade de recursos.

Para Mavers (2004), esses recursos, selecionados e empregados no processo de produção de interpretantes, podem ser classificados como recursos semióticos. Para a autora, a mobilização de um recurso semiótico permite destacar os significados que são atribuídos a determinado objeto. Para elucidar, no contexto da produção de interpretantes acerca de objetos matemáticos, um aluno tem a capacidade de incorporar diversos recursos semióticos, com base em suas preferências e motivações. Esses recursos podem abranger gestos, esquemas, fórmulas, diagramas, materiais manipulativos, *softwares*, dentre outros.

Especificamente no que se referem às tecnologias digitais, Silva e Soares (2018, p. 642) afirmam que a sua utilização enquanto recursos semióticos possibilitam a mobilização de um

“conjunto de signos capazes de impressionar a estrutura cognitiva do sujeito”, apontando para o potencial de sua utilização em processos de significação e, conseqüentemente, de constituição de conhecimento.

Aspectos metodológicos

De modo a investigar como a tecnologia digital se configura enquanto recurso semiótico no desenvolvimento de atividades de Modelagem Matemática com experimentação investigativa, nas linhas a seguir, descrevemos e analisamos atividades de Modelagem Matemática a partir de dados coletados experimentalmente. Para o presente artigo, de modo a alinhar ao foco do evento, lançamos mão de uma análise à luz das tecnologias digitais mobilizadas na produção de signos no decorrer dessas atividades.

Nesse sentido, 15 alunos matriculados no 9º ano do Ensino Fundamental de uma escola do norte do Paraná participaram do desenvolvimento e/ou planejamento de sete atividades de Modelagem Matemática, seguindo os momentos de familiarização caracterizados por Almeida e Dias (2004). Para essas autoras, inicialmente, no *primeiro momento* de familiarização, o professor apresenta e estabelece uma situação-problema, enquanto a formulação de hipóteses e a exploração do problema ocorrem de forma colaborativa, envolvendo todos os alunos em conjunto com o professor. No *segundo momento*, o professor apresenta uma situação-problema, acompanhada de um conjunto de informações e os alunos, em grupos, encarregam-se de elaborar hipóteses e deduzir o modelo matemático correspondente. No *terceiro momento*, os alunos, divididos em grupos, são incentivados a definir e conduzirem a investigação de uma situação-problema, ficando responsáveis pela coleta de dados, busca de informações, elaboração de hipóteses, dedução e interpretação de um modelo matemático.

Ao todo, cada aluno participou efetivamente de quatro atividades. O Quadro 1 apresenta uma síntese das ações empreendidas em cada momento de desenvolvimento das atividades.

Quadro 1 – Síntese das atividades desenvolvidas

Atividade	Alunos	Síntese dos momentos de desenvolvimento
1. Calorímetro	Todos	<i>Momento pré-laboratório:</i> <ul style="list-style-type: none">• Identificação de conhecimentos prévios dos alunos por meio de questionário aberto;• Apresentação de um vídeo² da internet acerca da construção de um calorímetro;• Determinação da situação problema a ser investigada e delimitação das etapas experimentais;

² Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=-FM-ZIWxakM>>. Acesso em: 13 ago. 2023.

		<p><i>Momento laboratório:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Construção de um calorímetro de acordo com as etapas delimitadas no momento anterior; • Investigação experimental com amostras de alimentos diversos;
		<p><i>Momento pós-laboratório:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Análise e interpretação dos dados obtidos experimentalmente; • Dedução do modelo matemático com base na determinação do valor energético do amendoim; • Resolução da situação problema e validação do resultado;
2. Velocidade de reação	Todos	<p><i>Momento pré-laboratório:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Apresentação da situação e discussão acerca da reação de efervescência de uma pastilha; • Determinação da situação problema a ser investigada e delimitação das etapas experimentais;
		<p><i>Momento laboratório:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Investigação experimental acerca de variáveis que influenciam a velocidade de reação de efervescência (volume de água, massa de comprimido, temperatura da água, dimensões do recipiente);
		<p><i>Momento pós-laboratório:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Análise e interpretação dos dados obtidos experimentalmente; • Dedução do modelo matemático por meio da construção de gráficos; • Resolução da situação problema e validação experimental do modelo matemático deduzido;
3. Canhão de vórtex	Todos	<p><i>Momento pré-laboratório:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Apresentação de um vídeo³ da internet acerca da construção e funcionamento de um canhão de vórtex; • Determinação da situação problema a ser investigada e delimitação das etapas experimentais;
		<p><i>Momento laboratório:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Construção de canhões de vórtex com diferentes diâmetros de saída de ar (3 cm, 6 cm, 9 cm e 12 cm) de acordo com as etapas delimitadas no momento anterior; • Investigação experimental e coleta de dados empíricos por meio da gravação em vídeo;
		<p><i>Momento pós-laboratório:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Análise e interpretação dos dados obtidos experimentalmente com o auxílio do <i>software</i> Tracker; • Dedução do modelo matemático com o auxílio do <i>software</i> Microsoft Excel; • Resolução da situação problema e validação experimental do modelo matemático deduzido;
4. Slime	A ₁ , A ₄ , A ₁₀ , A ₁₁	<p><i>Momento pré-laboratório:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Investigação prévia acerca do tema;
		<p><i>Momento laboratório:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Confecção de sete <i>slimes</i> a partir de diferentes proporções de reagentes (cola branca e solução de ácido bórico e bicarbonato de sódio); • Coleta de dados empíricos por meio da gravação em vídeo;
		<p><i>Momento pós-laboratório:</i></p>

³ Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=Qp7UgQ4TBkg>>. Acesso em: 13 ago. 2023.

		<ul style="list-style-type: none"> • Análise e interpretação dos dados obtidos experimentalmente com o auxílio do <i>software</i> Tracker; • Dedução do modelo matemático com o auxílio do <i>software</i> CurveExpert; • Resolução da situação problema e validação experimental do modelo matemático deduzido;
5. Efeito crioscópico do sal	A ₂ , A ₃ , A ₈ , A ₁₄	<i>Momento pré-laboratório:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Investigação prévia acerca do tema;
		<i>Momento laboratório:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Determinação experimental da temperatura de sistemas contendo água destilada, gelo e diferentes massas de sal de cozinha (2 g, 4 g, 6 g, 8 g e 10 g);
		<i>Momento pós-laboratório:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Dedução do modelo matemático com o auxílio do <i>software</i> Microsoft Excel; • Resolução da situação problema e validação experimental do modelo matemático deduzido;
6. Plano inclinado	A ₉ , A ₁₃ , A ₁₅	<i>Momento pré-laboratório:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Investigação prévia acerca do tema;
		<i>Momento laboratório:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Determinação de um plano com diferentes inclinações (15°, 30°, 45° e 60°), com base em conceitos de trigonometria em triângulo retângulo • Coleta de dados empíricos por meio da gravação em vídeo;
		<i>Momento pós-laboratório:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Análise e interpretação dos dados obtidos experimentalmente com o auxílio do smartphone; • Resolução da situação problema e validação experimental do modelo matemático deduzido;
7. Pilha de limão	A ₅ , A ₆ , A ₇ , A ₁₂	<i>Momento pré-laboratório:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Investigação prévia acerca do tema;
		<i>Momento laboratório:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Construção de pilhas confeccionadas a partir de diferentes quantidades de limões (1, 2, 3 e 4); • Coleta de dados experimentais;
		<i>Momento pós-laboratório:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Dedução do modelo matemático por meio do <i>software</i> Microsoft Excel; • Resolução da situação problema e validação experimental do modelo matemático deduzido;

Fonte: adaptado de Araki (2020).

De um ponto de vista metodológico, trata-se de uma pesquisa qualitativa de cunho interpretativo. Para Lüdke e Andre (2013), esse tipo de pesquisa possibilita a coleta de dados predominantemente descritivos, tomando o ambiente natural como fonte direta de dados. Desse modo, os dados que subsidiaram nossas análises foram provenientes do contato direto com os alunos inseridos naquele contexto, abrangendo registros escritos, gravações em áudio e vídeo e fotografias.

Tecnologias digitais enquanto recursos semióticos

Visando atribuir um olhar global às atividades de Modelagem Matemática com experimentação investigativa desenvolvidas, apresentamos, a seguir, as análises e discussões pertinentes às ações empreendidas em cada momento das atividades. Tal empreendimento visa identificar similaridades e potencialidades ao se considerar as tecnologias digitais enquanto recursos semióticos.

Momento pré-laboratório: inteiração e delimitação da situação-problema

Ao analisarmos os recursos semióticos mobilizados no momento pré-laboratório das sete atividades de Modelagem Matemática com experimentação, percebemos a sua utilização na produção de signos acerca da *situação-problema* a ser investigada. Isso é corroborado pelo fato de se tratar de ações destinadas à inteiração dos alunos, ou seja, “com a finalidade de conhecer as características e especificidades da situação” (ALMEIDA; SILVA; VERTUAN, 2012, p. 15). Dentre os recursos semióticos empregados nesse momento, podemos destacar a utilização de vídeos da internet e de ferramentas de busca.

A utilização de vídeos da internet se mostrou presente nas atividades 1 e 3, como evidenciado na Figura 1. Dentre os critérios utilizados para a seleção dos vídeos a serem transmitidos nessas atividades, destacamos: a presença de uma linguagem de fácil entendimento para os alunos e a demonstração da construção e funcionamento dos aparatos experimentais a serem construídos nas atividades.

Figura 1 – Captura de tela dos vídeos apresentados na atividade 1 (à esquerda) e na atividade 3 (à direita)



Fonte: Gomes (2016) e Manual do Mundo (2012).

Dessa forma, na atividade 1, a apresentação do vídeo acarretou a produção de signos acerca da *situação-problema*, uma vez que evidenciou a construção do calorímetro a partir de materiais de fácil acesso, tanto no cotidiano (caixa de leite, prendedor de roupa, vela) como no ambiente do laboratório escolar (termômetro, tubo de ensaio), bem como a sua operacionalização. Quanto à

atividade 3, a apresentação do vídeo também contribuiu para que os alunos pudessem perceber como um canhão de vórtex poderia ser construído e operado.

É válido destacar que os signos produzidos por meio dos vídeos da internet não se restringiram ao momento pré-laboratório da atividade, acompanhando os alunos no decorrer de toda a atividade. Isso se mostra evidente ao percebermos que os alunos recorreram aos conteúdos desses vídeos no decorrer da construção dos próprios aparatos experimentais, no momento laboratório. A título de comparação, nas atividades 2 e 5, as quais não recorreram a esse recurso semiótico, a construção e manipulação do aparato experimental, por vezes, foi passível de dúvidas, o que culminou em uma atuação mais constante por parte do professor.

Para além da construção e manipulação dos aparatos experimentais, os signos produzidos a partir dos vídeos da internet também podem estar relacionados à formulação de hipóteses. Na atividade 3, ao discutir acerca do conteúdo dos vídeos, os alunos puderam levantar uma hipótese a ser testada no decorrer da atividade: quanto menor o diâmetro do orifício do canhão de vórtex, maior a velocidade de saída do ar.

Outro recurso semiótico que se mostrou presente durante o momento pré-laboratório das atividades veio a ser as ferramentas de busca na internet. Essa utilização ocorreu, com maior frequência, nas atividades de terceiro momento de familiarização do aluno com a Modelagem, uma vez os alunos “são incentivados a conduzirem um processo de Modelagem, a partir de um problema escolhido por eles” (ALMEIDA; DIAS, 2004, p. 25).

Nesse sentido, as ferramentas de busca possibilitaram a produção de signos acerca de uma *situação-problema* de interesse, sobretudo no que diz respeito à busca por métodos experimentais: na atividade 4, o grupo recorreu às ferramentas de busca para a escolha de uma “receita” de *slime*; na atividade 7, buscou-se definir os materiais necessários para a construção de uma pilha de limão.

Momento laboratório: abordagem experimental e coleta de dados

No que se refere aos recursos semióticos mobilizados no momento laboratório das atividades, evidenciamos a sua utilização na produção de signos acerca da *investigação experimental* conduzida, com base na construção e manipulação dos aparatos experimentais. Dentre eles, destacamos a recorrência do *smartphone* e da filmadora nas atividades.

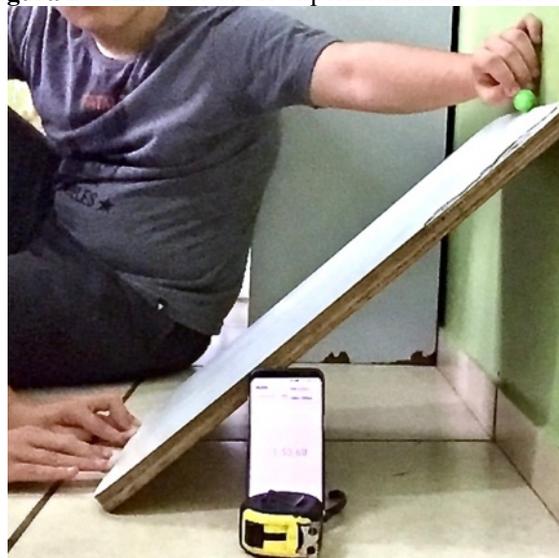
O *smartphone* foi utilizado de forma mais extensiva nas atividades 2, 5 e 6, de modo a produzir signos acerca do experimento. Na atividade 2, os alunos fizeram uso da funcionalidade “cronômetro”, para a aferição do tempo de reação da pastilha efervescente. O mesmo recurso foi utilizado na atividade 5, de modo a determinar um tempo padrão de experimento (1 min) necessário para a aferição

da temperatura de um sistema contendo água, gelo e sal, e na atividade 6, para indicar o tempo necessário para que bola maciça percorresse toda a extensão de um plano inclinado. A opção pela utilização do *smartphone* se deu enquanto um recurso semiótico disponível no repertório semiótico dos alunos (MAVERS, 2004).

No caso da filmadora, a gravação em vídeo da realização dos experimentos foi empregada nas ações empreendidas no momento pós-laboratório das atividades 3 e 4. Na atividade 3, a gravação do manuseio de canhões de vórtex construídos com diferentes diâmetros possibilitou a produção de signos acerca do *experimento*; de maneira similar, a gravação da ação da gravidade sob os *slimes*, na atividade 4, também teve esse intuito.

Inicialmente, o grupo da atividade 6 também havia se programado para utilizar a filmadora, visando obter o tempo exato que a bola percorria o plano inclinado. Todavia, apenas a gravação em vídeo não foi suficiente, uma vez se tratar de um fenômeno que ocorria em frações de segundo. De modo a contornar isso, os alunos recorreram novamente ao *smartphone*, desta vez, à função de gravação em câmera lenta, constituindo um sistema conforme evidenciado na Figura 2.

Figura 2 – Coleta de dados experimentais na atividade 6



Fonte: dos autores.

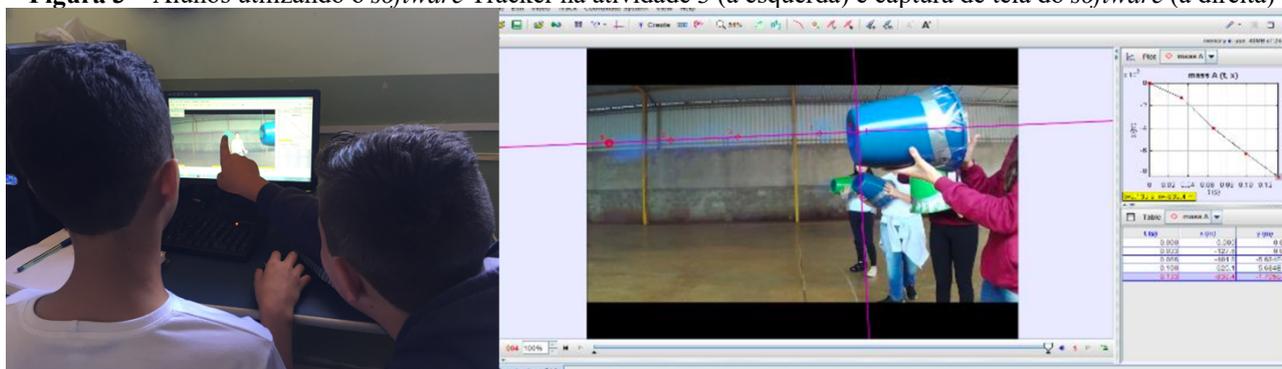
Assim, a opção pelo *smartphone* em detrimento à filmadora contemplou uma aplicação criativa de mobilização de um recurso semiótico que estava disponível aos alunos (YOON; MISKELL, 2016). Neste caso, o mesmo recurso semiótico serviu para a produção de signos diferentes, acerca de um mesmo objeto, isto é, acerca do *experimento*, contribuindo para uma compreensão global a partir dos signos individuais produzidos (VAN LEEUWEN, 2005).

Momento pós-laboratório: interpretação de dados, dedução do modelo matemático e validação

No momento pós-laboratório, a utilização dos recursos semióticos parece estar relacionada à interpretação dos dados obtidos experimentalmente, indicando uma produção de signos tanto acerca da *investigação experimental* como acerca da *situação-problema*. Dentre esses recursos, destacamos os *softwares* de videoanálise e os *softwares* de ajuste de curvas.

O *software* de videoanálise Tracker foi utilizado nas atividades 3 e 4, como indicado na Figura 3. Na atividade 3, esse recurso possibilitou acompanhar a distância percorrida pelo ar expelido pelo canhão de vórtex. Já na atividade 4, os alunos optaram por utilizar o *software* para observar a distância vertical percorrida pelo *slime* em um intervalo de tempo de cinco segundos.

Figura 3 – Alunos utilizando o *software* Tracker na atividade 3 (à esquerda) e captura de tela do *software* (à direita)



Fonte: dos autores.

Em ambos os casos, o Tracker se constituiu enquanto um recurso semiótico para a produção de signos acerca da *investigação experimental*, uma vez que possibilitou aos alunos identificarem relações que não poderiam ser constatadas no momento laboratório. No caso do grupo que desenvolveu a atividade 4, percebemos que a utilização desse recurso se deu com base no conhecimento que tinham acerca de sua utilização prévia. Tal constatação corrobora com o entendimento adotado por Manechine e Caldeira (2006, p. 3), ao argumentarem que “na medida em que o educando vai se familiarizando e aprendendo determinados signos universais, esses vão se tornando objetos referenciais para a conexão, relação e apropriação de novos signos”. Desta forma, o contato prévio estabelecido no decorrer da atividade 3 contribuiu para a sua escolha e utilização na atividade 4.

No que se refere aos *softwares* de ajuste de curvas, eles foram utilizados na dedução dos modelos matemáticos, indicando uma produção de signos acerca da *situação-problema*. Dentre esses *softwares*, observamos a mobilização do Microsoft Excel (atividades 3, 5, 6 e 7) e do CurveExpert, (atividade 4). Na atividade 3, os alunos recorreram ao Microsoft Excel para a obtenção da relação matemática existente entre a distância do ar expelido pelo canhão de vórtex em função do tempo; na

atividade 5, os alunos buscaram identificar a relação entre a temperatura de um sistema contendo água, sal e gelo em função da massa de sal adicionada; na atividade 6, o *software* foi empregado para determinar a relação entre o tempo que a bola levava para percorrer um plano inclinado em função do ângulo de inclinação; e na atividade 7, os alunos recorreram ao recurso semiótico para estabelecer uma relação entre a tensão elétrica liberada por uma pilha de limões em função da quantidade de limões.

É válido destacar que a utilização desse recurso semiótico também havia sido programada pelos alunos da atividade 4. Todavia, dadas as limitações provenientes do *software*, o professor sugeriu ao grupo a utilização do *software* CurveExpert, que apresentava mais possibilidades de ajustes. Nesse sentido, a seleção de “recursos semióticos apropriados de acordo com a adequação para a tarefa em mão” (MAVERS, 2004, p. 59) pode ser contemplada.

A utilização desses recursos semióticos possibilitou a produção de signos acerca da *situação-problema*, contribuindo para o desenvolvimento da atividade. Dessa forma, podemos traçar um comparativo com as atividades 1 e 2, as quais não empregaram os *softwares* de ajuste de curva na dedução do modelo matemático.

Na atividade 1, os alunos evocaram o conceito de proporcionalidade para relacionar o valor energético do amendoim em função da temperatura da água no interior do calorímetro; já na atividade 2, os grupos recorreram à construção manual de gráficos acerca das variáveis em análise. Dessa forma, percebemos que a utilização desses recursos semióticos contribuiu para que o trabalho matemático se tornasse facilitado, uma vez que, nas duas primeiras atividades, os alunos encontraram algumas dificuldades para a dedução do modelo matemático.

Por fim, para a validação experimental (atividades 2 a 7), percebemos que os alunos acabaram recorrendo aos mesmos recursos semióticos utilizados no momento laboratório, visando a realização de um novo experimento. Nesse caso, percebemos que os signos produzidos por meio desses recursos, antes referentes a aspectos do *experimento*, passam a ser destinados à *situação-problema*, uma vez se tratar da avaliação do modelo matemático deduzido para solucioná-la.

Considerações Finais

Levando em consideração nosso interesse em investigar como a tecnologia digital se configura enquanto recurso semiótico no desenvolvimento de atividades de Modelagem Matemática com experimentação investigativa, partimos da premissa que a tecnologia é uma aliada para essa tendência da Educação Matemática. Para isso, lançamos um olhar na produção de signos por alunos de uma turma de 9º ano do Ensino Fundamental segundo as etapas da experimentação investigativa.

Ao se envolverem com, pelo menos quatro atividades de experimentação investigativa, os alunos lançaram mãos do uso de diferentes tecnologias digitais para: a inteiração e delimitação da situação-problema, no momento pré-laboratório, em que o uso de vídeos disponibilizados em sites da internet subsidiaram uma aproximação do que seria necessário para o desenvolvimento da atividade; a abordagem experimental e coleta de dados, no momento laboratório, em que o *smartphone* e a filmadora se configuraram como essenciais na produção de signos sobre a investigação experimental; a interpretação de dados, a dedução do modelo matemático e a validação, no momento pós-laboratório, em que *softwares* de videoanálise e de ajuste de curvas foram fundamentais para a visualização do comportamento dos dados coletados.

Assim, podemos considerar que a tecnologia se configurou como recurso semiótico, em certa medida, para possibilitar aos alunos examinar os princípios das situações-problema, definir os problemas a ser investigados, visualizar os fenômenos mais de uma vez, produzir dados, observar o comportamento dos dados, proporcionando a obtenção, interpretação e validação de uma solução para os problemas.

Há de se considerar, todavia, que no desenvolvimento das atividades de Modelagem de primeiro e segundo momentos de familiarização, as diferentes tecnologias foram apresentadas ou requeridas pelo professor, de modo que os alunos se familiarizassem com os seus procedimentos e que fossem utilizadas de forma natural nas atividades de terceiro momento.

Referências

ALMEIDA, L. M. W.; DIAS, M. R. Um estudo sobre o uso da modelagem matemática como estratégia de ensino e aprendizagem. **Bolema**, v. 17, n. 22, p. 19-35, 2004.

ALMEIDA, L. M. W.; SILVA, K. A. P.; VERTUAN, R. E. **Modelagem matemática na educação básica**. São Paulo: Contexto, 2012.

ARAKI, P. H. H. **Atividades experimentais investigativas em contexto de aulas com modelagem matemática: uma análise semiótica**. 2020. 169 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Matemática) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2020.

CARVALHO, A. M. P. O ensino de Ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. In: CARVALHO, A. M. P. (Org.). **Ensino de Ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, 2020, p. 1-20.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. P. **Metodologia do ensino de Ciências**. 6 ed. São Paulo: Cortez, 2000.

GOMES, I. **Experiência de Calorimetria do Amendoim**. Youtube, 3 abr. 2016. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=-FM-ZIWxakM>>. Acesso em: 13 ago. 2023.

GREEFRATH, G.; SILLER, H.-S. Modelling and simulation with the help of digital tools. In STILLMAN, G. A.; BLUM, W.; KAISER, G. (eds.). **Mathematical modelling and applications** (pp. 529–539). Dordrecht: Springer, 2017.

LÜDKE, M.; ANDRE, M. E. D. A. **A pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. 2 ed. Rio de Janeiro: E.P.U., 2013.

MALTEMPI, M. V. Educação matemática e tecnologias digitais: reflexões sobre prática e formação docente. **Acta Scientiae**, v. 10, n. 1, p. 59-67, 2008.

MANECHINE, S. R. S.; CALDEIRA, A. M. A. A significação e ressignificação da linguagem gráfica na compreensão de fenômenos naturais. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO MATEMÁTICA, 3., 2006, Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia: SBEM, 2006, 1-16.

MANUAL DO MUNDO. **Canhão de ar** (vortex cannon – EXPERIÊNCIA de FÍSICA). Youtube, 27 mar. 2012. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=Qp7UgQ4TBkg>>. Acesso em: 13 ago. 2023.

MAVERS, D. E. **Multimodal design: the semiotic resources of children's graphic representation**. Tese (Doutorado em Educação) – Institute of Education, University of London, Londres, 2004.

NÖTH, W.; SANTAELLA, L. **Introdução à semiótica** – passo a passo para compreender os signos e a significação. São Paulo: Paulus, 2017.

PEIRCE, C. S. **Semiótica**. 4 ed. São Paulo: Perspectiva, 2017.

PERRENOUD, P. **Dez novas competências para ensinar**. Porto Alegre: Artmed, 2000.

SCHRENK, M. J.; VERTUAN, R. E. Modelagem matemática como prática pedagógica: uma possível caracterização em Educação Matemática. **Educação Matemática Pesquisa**, v. 24, n. 1, p. 194-224, 2022.

SILVA, D. P. **Questões propostas no planejamento de atividades experimentais de natureza investigativa no ensino de química: reflexões de um grupo de professores**. 2011. 212 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

SILVA, V. A.; SOARES, M. H. F. B. O uso das tecnologias de informação e comunicação no ensino de Química e os aspectos semióticos envolvidos na interpretação de informações acessadas via web. **Ciência & Educação**, v. 24, n. 3, p. 639-657, 2018.

VAN LEEUWEN, T. **Introducing social semiotics**. Nova Iorque: Routledge, 2005.

YOON, C.; MISKELL, T. Visualising cubic reasoning with semiotic resources and modeling cycles. In: SÁENZ-LUDLOW, A.; KADUNZ, G. (Eds.). **Semiotics as a tool for learning**

mathematics: how to describe the construction, visualization, and communication of mathematical concepts. Dordrecht: Sense Publishers, 2016, p. 89-109.