

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE EDUCAÇÃO**

ESDRAS GARCIA ALVES

Utilizando o eye-tracking para caracterizar os caminhos
de leitura em textos multimodais de Física

BELO HORIZONTE

2020

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE EDUCAÇÃO**

ESDRAS GARCIA ALVES

Utilizando o eye-tracking para caracterizar os caminhos
de leitura em textos multimodais de Física

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Educação: Conhecimento e Inclusão Social, da Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Educação.

Linha de pesquisa: Educação e Ciências

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Fleury Mortimer

Belo Horizonte
2020

A474u
T

Alves, Esdras Garcia, 1980-

Utilizando o eye-tracking para caracterizar os caminhos de leitura em textos multimodais de Física [manuscrito] / Esdras Garcia Alves. - Belo Horizonte, 2020. 211 f., enc.; il.
Inclui bibliografia e apêndices

Tese -- (Doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Educação.

Orientador: Eduardo Fleury Mortimer

1. Educação -- Teses. II. Textos -- Estudo e ensino -- Teses. III. Leitura - Compreensão -- Teses. IV. Comunicação e educação -- Teses. 5. Semiótica -- Teses. 6. Semiótica e comunicação -- Teses. 7. Compreensão na leitura -- Teses. 8. Linguagem e educação -- Teses.

I. Mortimer, Eduardo Fleury. II. Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Educação. III. Título.

CDD- 410

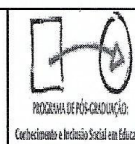
Catálogo da Fonte* : Biblioteca da FaE/UFGM (Setor de referência)

Bibliotecário: Ivaney Duarte. CRB6 2409

(Atenção: É proibida a alteração no conteúdo, na forma e na diagramação gráfica da ficha catalográfica[†].)

* Ficha catalográfica elaborada com base nas informações fornecidas pelo autor, sem a presença do trabalho físico completo. A veracidade e correção das informações é de inteira responsabilidade do autor, conforme Art. 299, do Decreto Lei nº 2.848 de 07 de Dezembro de 1940 - "Omitir, em documento público ou particular, declaração que dele devia constar, ou nele inserir ou fazer inserir declaração falsa ou diversa da que devia ser escrita..."

† Conforme Art. 297, do Decreto Lei nº 2.848 de 07 de Dezembro de 1940: "Falsificar, no todo ou em parte, documento público, ou alterar documento público verdadeiro..."



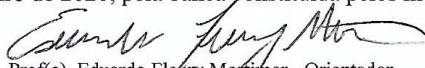
FOLHA DE APROVAÇÃO

Os caminhos de leitura trilhados por diferentes leitores em interação com um texto multimodal de Física

ESDRAS GARCIA ALVES

Tese submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em EDUCAÇÃO - CONHECIMENTO E INCLUSÃO SOCIAL, como requisito para obtenção do grau de Doutor em EDUCAÇÃO - CONHECIMENTO E INCLUSÃO SOCIAL.

Aprovada em 20 de fevereiro de 2020, pela banca constituída pelos membros:


Prof(a). Eduardo Fleury Mortimer - Orientador
UFMG


Prof(a). Marcelo Giordan Santos
USF

PARTICIPACÃO POR VÍDEO
CONFEREN
CIA


Prof(a). Orlando Gomes de Aguiar Junior
UFMG


Prof(a). Ana Luiza de Quadros
UFMG


Prof(a). Rodrigo Fernando Bianchi
UFOP

Belo Horizonte, 20 de fevereiro de 2020.

Agradecimentos

Agradeço,

à Deus, pois quanto mais o tempo passa, mais creio que todas as coisas foram feitas por ele, e sem ele nada do que foi feito se fez (*Job 1:3*);

à Andreza, minha esposa, pelo amor, apoio e auxílio em todos, todos os sentidos, para que eu tivesse condições de realizar esse trabalho. Não há palavras para agradecê-la; esse trabalho é seu também;

à Beatriz, minha pequetita, que embora não muito satisfeita, concordava com o distanciamento, principalmente nesses últimos meses, quando passei dias e dias a fio no escritório;

ao prof. Dr. Eduardo Fleury Mortimer, meu orientador, pelos momentos de orientação, pelo apoio, pela convivência ao longo desse tempo e pela confiança depositada;

à profa. Dra. Ana Luiza de Quadros e aos profs. Dr. Marcelo Giordan Santos, Dr. Orlando Gomes de Aguiar Júnior e Dr. Rodrigo Fernando Bianchi, por aceitarem o convite para participar da banca examinadora e pelas importantes contribuições fornecidas para a ampliação deste trabalho;

ao prof. Dr. Helder de Figueiredo e Paula, pelas importantes discussões sobre as questões utilizadas nos testes aplicados aos participantes da pesquisa;

aos profs. Dr. Pablo Juan Greco, Dr. Gibson Moreira Praça e Dr. Juan Carlos Pérez Morales, do CECA-EEFFTO-UFMG, pela acolhida no laboratório, pelas orientações e pela disponibilização do equipamento para a realização do rastreamento ocular;

a todos aqueles que aceitaram o convite para participar como voluntários nessa pesquisa, professores e estudantes, pela disponibilização de parte de seu tempo para contribuir conosco;

à Mariana Barroso, do FOCO-FAE-UFMG, pelo auxiliou nas transcrições das entrevistas;

aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Educação da FAE/UFMG, sem os quais nosso trabalho não poderia ser realizado;

enfim, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Resumo

Neste trabalho investigamos como leitores realizam a leitura de um texto multimodal, retirado de um livro didático de Física destinado ao Ensino Superior. Mais precisamente, procuramos avaliar os caminhos de leitura trilhados pelos leitores em interação com esse texto.

O livro didático de Física é um importante objeto mediador utilizado por professores e alunos, dentro e fora da sala de aula. Pelo fato de suas páginas serem compostas por diferentes modos semióticos de comunicação, como fotografias, desenhos, esquemas, gráficos, equações e textos verbais, sua leitura demanda a integração das informações advindas desses diferentes modos.

Seria sensato admitir que, para um leitor em processo de enculturação nas práticas da ciência escolar, uma forma de educar a atenção desse leitor para a leitura coordenada desses modos, isto é, uma orientação para ajudá-lo a integrar as informações comunicadas pelos diferentes modos deveria ser fornecida pelo texto. Em certa medida isso parece ser feito, com as indicações que o remetem a uma figura, ou aos detalhes de uma equação. No entanto, ele pode escolher seguir ou não tais orientações.

Neste trabalho nos ocupamos em acompanhar leitores em interação com um texto multimodal de Física. Reproduzimos um texto de um livro didático na tela de um computador com um sistema de *eye-tracking*. O *eye-tracking* permite o rastreamento ocular do leitor durante a leitura do texto na tela e possibilita a reconstrução de todo o caminho de leitura trilhado por ele na interação com o texto.

Os dados fornecidos pelo rastreamento ocular indicam que os caminhos de leitura são muito variados. Alguns leitores promovem uma forte integração dos diferentes modos de comunicação que compõem uma página, ao passo que outros ignoram até mesmo as indicações de integração presentes no texto. Outro ponto interessante que observamos foi a predominância do modo escrita no direcionamento da leitura de boa parte dos participantes. Ao acompanharmos os leitores na resolução de questões, vimos que a não integração dos modos implica em dificuldades na resolução e que o tipo de modo, se mais icônico ou mais esquemático, interfere na atenção dada ao modo. As formas de interação dos leitores com os textos, que observamos nesse trabalho, podem oferecer oportunidades de reflexão para professores, formadores de professores e produtores de materiais didáticos que lidam com textos didáticos multimodais de Física.

Palavras-chave: multimodalidade, eye-tracking, caminhos de leitura, semiótica social, educação da atenção.

Abstract

In this work we investigate how people read a multimodal text, taken from a university level Physics textbook. More precisely, we seek to evaluate the reading paths followed by readers in interaction with this text.

The Physics textbook is an important resource used by teachers and students, in and out of the classroom. Reading this text demands to integrate different modes of information because its pages are composed by different semiotic modes of communication, such as photographs, drawings, diagrams, graphs, equations and verbal texts.

For a reader in the enculturation process in the practices of school science it should be provided a way of educating your attention to coordinate reading of these modes. For this reader it should be provided an orientation to help his or her to integrate the information communicated by different modes in the text. To some extent this seems to be done with the indications that refer to a figure, or a details of an equation. However they can choose to follow these guidelines or not.

In this investigation we accompany readers in interaction with a multimodal Physics text. We reproduce a text from a Physics textbook on a computer screen with an eye-tracking system. Eye-tracking system permits to monitorate the reader gaze on the screen. With this system it is possible to rebuild the entire reading path followed by readers in the interaction with the text.

The results provided by eye-tracking indicates that the reading paths are very varied. Some readers promote a strong integration of the different modes of communication on the page while others ignore even the integration indications present in the text. Another interesting point that we observed was the predominance of verbal text mode in reading targeting of most of participants. As we accompanied readers in resolving questions, we saw that the non-integration of modes implies difficulties in solving them and that the type of mode, whether more iconic or more schematic, interferes with the attention given to the mode. The schematic modes are considered be more important. Our results about the ways in which readers interact with the texts can offer opportunities for reflection for teachers, teacher trainers and producers of teaching materials that deal with multimodal didactic texts in Physics. It is needed to reflect about the use and the characteristics of the multiple modes commonly used in the teaching Physics.

Key words: multimodality, eye-tracking, reading path, social semiotics, education of attention

Sumário

Introdução e questões de pesquisa	1
Capítulo 1 - Referencial teórico	8
1.1 Modos de comunicação e multimodalidade	8
1.2 Linguagem, matemática e imagens: a construção do discurso da Física ...	12
1.2.1 Linguagem	17
1.2.2 Matemática	21
1.2.3 Imagens e gráficos	29
1.3 O caminho de leitura em textos multimodais	37
1.4 A educação da atenção e a leitura de textos multimodais	40
Capítulo 2 - Metodologia	46
2.1 O material de leitura e os participantes	46
2.2 Instrumentos e etapas da coleta dos dados	55
2.3 <i>Eye-tracking</i>	61
Capítulo 3 - Aspectos da leitura multimodal revelados pelos movimentos dos olhos dos leitores panoram a geral e leitura das páginas 148 e 149.....	71
3.1 Avaliando a leitura entre professores e estudantes	71
3.2 O texto multimodal das páginas 148 e 149	78
3.3 A interação dos leitores com os modos das páginas 148 e 149	85
Capítulo 4 - Aspectos da leitura multimodal revelados pelos movimentos dos olhos dos leitores leitura das páginas 150 e 151.....	106
4.1 A Figura 5.19 e o texto multimodal das páginas 150 e 151	106
4.2 A interação dos leitores com os modos das páginas 150 e 151	119
Capítulo 5 - Leitura e manipulação de equações e gráficos	139
5.1 As equações para as forças de atrito cinético e estático	139
5.2 Acompanhando a leitura da Equação 5.5	143
5.3 A leitura da Figura 5.17	153
5.4 Percepções dos leitores sobre os gráficos	156
Capítulo 6 - Interação entre modos na resolução das questões na tela	171
6.1 As Questões nº 1 e nº 5	171
6.2 A Questão nº 2	173
6.3 A Questão nº 3	176
6.4 As Questões nº 4 e nº 6	180
Capítulo 7 - Considerações finais	188
Referências bibliográficas	194
Apêndices	199

Introdução e questões de pesquisa

O livro didático (LD) é um importante objeto mediador utilizado nas atividades de ensino e aprendizagem que ocorrem dentro e fora das salas de aula. Freitas e Martins (2008) afirmam que a organização do trabalho no espaço escolar está muito vinculada ao uso do livro didático. Além disso, esse objeto, nas últimas décadas, tem sido distribuído em larga escala, em função do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD), tanto para o Ensino Fundamental, quanto para o Ensino Médio. El-Hani et al. (2011) comentam que, não fosse o PNLD, muitos estudantes de escolas públicas não teriam acesso a esse objeto, pois não teriam condições de adquiri-lo.

Investigações sobre a importância do livro didático têm explicitado pontos de vista, em certa medida, opostos sobre ele. Enquanto alguns professores o têm como único recurso para auxiliar suas atividades de ensino, outros o veem como um empecilho à aprendizagem dos estudantes (Mendonça et al., 2004). Apesar dessas visões tão distintas, a relevância dos LD no cenário educacional brasileiro, e também no internacional, não deixam dúvida que é um objeto mediador importante, que tem atraído a atenção de pesquisadores.

A percepção dessa importância no Brasil está fortemente relacionada ao PNLD. Muitos trabalhos justificam a necessidade de se debruçar sobre o livro didático, no sentido de melhor conhecer e aprimorar esse objeto, pois ele chega às mãos de milhões de estudantes, em todas as regiões do país (Aituso et al., 2019; Garcia, 2009). Em nossa dissertação de mestrado (Alves, 2011) também tomamos o livro didático como objeto de estudo.

Em Alves (2011), nos debruçamos sobre os livros didáticos de Física para o Ensino Médio selecionados pelo PNLD 2012. Naquela ocasião, investigamos a construção da coerência e da coesão multimodais nos textos sobre o Efeito Fotoelétrico presentes em duas obras com características bastante distintas. Nossas análises nos levaram a concluir que nem sempre os diferentes modos empregados contribuem para a construção de um texto coeso e coerente do ponto de vista multimodal. Mais que usar a multimodalidade, justapondo múltiplos modos na composição de uma página de texto, é preciso considerar a forma como esses diversos modos são integrados uns aos outros.

Em âmbito internacional, além dos trabalhos publicados em periódicos, podemos citar as ações da IARTEM (*International Association for Research on Textbooks and Educational Media*), como a Conferência Internacional sobre Pesquisas em Livros Didáticos e Mídia Educacional, que tem periodicidade de dois anos e teve sua 15ª edição no ano de 2019, onde diversos trabalhos exploraram os mais diferentes aspectos do livro didático.

Portanto, trata-se de um objeto que tem atraído a atenção da pesquisa em educação no Brasil e no mundo.

Nos últimos anos vem crescendo o número de pesquisadores que têm empregado uma metodologia denominada *eye-tracking* em investigações envolvendo a leitura de livros didáticos. Essa metodologia consiste em rastrear o olhar do leitor enquanto ele lê um texto na tela de um computador, ou mesmo em um livro. Um sensor capta os movimentos dos olhos e um software, posteriormente, desenha o caminho trilhado pelo leitor. Essa metodologia permite a obtenção de dados sobre a leitura de uma forma que não era possível com protocolos de entrevistas ou leitura em voz alta.

Ishimaru et al. (2016; 2018), por exemplo, utilizam o *eye-tracking* para comparar como leitores de 11 – 12 anos (6-grade) distribuem sua atenção visual na leitura de um texto sobre fenômenos básicos de acústica e na resolução de algumas questões. De acordo com os autores, a partir do estudo da distribuição da atenção, será possível desenvolver um livro digital que possa antecipar as possíveis perdas de interesse do leitor. Por meio dessa antecipação, o texto poderia se modificar automaticamente, de forma a cativar a atenção do leitor. Naturalmente é preciso verificar de que forma isso seria feito, pois uma modificação drástica do texto poderia afetar a memória que o leitor estava construindo a partir da leitura. Embora pareça uma proposta bastante ousada, ela nos serve como exemplo da diversidade de problemas que podem ser abordados com o uso dessa metodologia.

O trabalho de Susac et al. (2019) tem outro foco. Esses autores utilizam o *eye-tracking* para investigar o papel dos diagramas no auxílio à resolução de problemas de Física. Segundo os autores, a presença dos diagramas tem um efeito positivo sobre o número de acertos dos estudantes nas questões. Essa metodologia tem se mostrado muito frutífera em possibilitar o acesso ao caminho real do olhar do leitor sobre o texto lido. Neste trabalho, nós utilizamos o *eye-tracking* como parte de nossas escolhas metodológicas.

Outra mudança que temos percebido nos últimos anos, em relação às pesquisas sobre livros didáticos, é uma ampliação do interesse dos pesquisadores para outros níveis de ensino. Em se tratando de nossa área de formação, a Física, era muito comum encontrar pesquisas sobre os livros destinados ao Ensino Médio (Peralez e Jiménez, 2002; Silva e Martins, 2008; Rego e Gouvêa, 2013, Artuso et al., 2019). Trabalhos como o de Otero e Greca (2004), que se debruçavam sobre aspectos dos livros do Ensino Superior, eram escassos. Contudo, nos últimos anos, temos observado uma tendência de crescimento nos trabalhos voltados para as obras desse nível de ensino.

De Mello (2017), por exemplo, utiliza mapas conceituais para analisar a construção de conceitos de Física Moderna em livros de nível universitário. Com essa ferramenta o autor afirma que é possível verificar como os conceitos foram introduzidos, distribuídos ao longo do texto e como se relacionam a outros conceitos. Barros e Soares (2016) avaliam a

forma como os autores de livros didáticos destinados ao Ensino Superior abordam o conteúdo histórico referente ao efeito fotoelétrico. Esses autores analisam as obras com respeito à fidelidade das abordagens em relação aos trabalhos originais e também quanto à presença de concepções inadequadas. Doige e Day (2012) se debruçam sobre as definições de calor apresentadas em livros do Ensino Superior de disciplinas variadas: Física, Química, Biologia Geral, Anatomia e Fisiologia, Geologia, entre outras. Após encontrar uma tipologia diversificada de definições sobre o calor nesses livros, as autoras recomendam atenção para os conteúdos de uma disciplina que podem afetar outras áreas do currículo.

Karam (2018) analisa as características que tornam as *Lectures on Physics*, as palestras de Richard Feynman que foram compiladas na forma de livros, profundamente diferentes dos tradicionais livros usados no Ensino Superior. Para ele, a forma de uso da matemática, as discussões epistemológicas da Física e a presença de muito texto verbal nas páginas, são elementos de destaque nessa diferenciação. Karam (2018) afirma que Feynman faz uso de muito texto porque prioriza uma abordagem mais conceitual da Física. Ele diz que dificilmente são apresentadas equações algébricas desacompanhadas de parágrafos de textos explicativos.

Lima et al. (2017) utilizam o referencial de Bakhtin para analisar o discurso dos livros de Física. Mais especificamente, esses autores procuram determinar, a partir do conceito de fóton apresentado nos livros, a concepção de física quântica que emerge das enunciações. Embora muito apropriado à investigação, pois o referencial bakhtiniano permite uma análise precisa dos enunciados e suas relações dialógicas com outros textos, ele nos parece limitado. Considerando que os significados nos textos didáticos de Física são construídos em conjunto com figuras, esquemas, equações e gráficos, uma caracterização mais apropriada desses enunciados deveria envolver esses outros elementos.

Em outro trabalho, Lima et al. (2020) contrapõem a visão da dualidade onda-partícula apresentada por livros de Física do Ensino Superior, com aquela proposta nos trabalhos originais de Luis de Broglie. Um dos pontos que os autores chamam a atenção é que nos livros de Física, diferentemente dos trabalhos do cientista, não são apresentadas as derivações matemáticas que levaram de Broglie ao importante resultado $\lambda = h/p$. Para Lima et al. (2020), essa postura contribui para reforçar o mito do gênio e não explica o significado da dualidade.

Os três últimos trabalhos citados abordam aspectos dos livros didáticos que evidenciam o que chamamos de multimodalidade do texto. O texto do livro didático de Física é uma produção multimodal, composto por diferentes modos semióticos (Kress, 2009), tais como, texto verbal, gráficos, fotografias, figuras esquemáticas e icônicas, equações algébricas e tabelas. Além disso, não são raras as páginas do livro onde são empregados

vários modos distintos de forma conjunta, na composição de um mesmo texto. Essa utilização conjunta de diferentes modos parece ter relações tanto com as potencialidades e limitações de cada modo, quanto com as demandas de comunicação das comunidades onde tais textos são produzidos e utilizados.

Kress (2003) afirma que diferentes modos semióticos possuem potencialidades e limitações distintas para a comunicação, o que implica que determinados modos são mais adequados para comunicar certas informações que outros. Imagens, por exemplo, são modos apropriados para comunicar significados topológicos, como relações de proximidade. Por outro lado, não são muito eficientes para tratar do desdobramento sequencial de ações. Nesse caso, a fala ou a escrita se prestam melhor.

As potencialidades e limitações dos modos resultam tanto de suas características intrínsecas quanto do trabalho que determinada cultura realiza sobre eles ao longo do período em que os utilizam, afinal, os modos são elementos trabalhados, desenvolvidos e moldados de forma muito própria por comunidades particulares. Dentro de cada cultura esses modos são trabalhados de forma a atender às demandas comunicativas dos sujeitos que os utilizam, como ocorre com os modos comumente empregados por cientistas (Latour e Woolgar, 1997; Lemke, 1998) e educadores em ciências (Kress et al., 2001).

De acordo com Silva e Mortimer (2010), uma atividade central às ciências naturais é a construção de modelos do mundo físico, que nos permitem pensar sobre os fenômenos, explicá-los e prever eventos e consequências de ações a eles relacionados. Tais modelos são constituídos por entidades e processos pertencentes ao mundo dos objetos e eventos – um mundo empírico, vivido, relacionado à experiência – e ao mundo das teorias e modelos – um mundo teórico, concebido pela Física (Tiberghien, 2000). A Física, portanto, precisa ser capaz de construir esse mundo concebido, mas, ao mesmo tempo, transitar entre os dois mundos, estabelecendo relações entre fenômenos e modelos. Doran (2018) afirma que a Física alcança essas capacidades por meio do uso da linguagem (fala e escrita), da Matemática e das imagens. A utilização conjunta desses três elementos permite à Física elaborar teorias gerais e abrangentes, que integram um grande número de fenômenos, aparentemente distintos, sob um mesmo modelo teórico, e ao mesmo tempo, se manter em contato com o mundo empírico.

Se por um lado, conforme aponta Doran (2018), a utilização de vários modos contribui para a organização e o desenvolvimento do conhecimento na Física, por outro, ela aumenta o trabalho semiótico a ser realizado pelo interlocutor (Kress, 2003), pois ele precisa integrar as informações advindas de cada modo em um todo coerente. A utilização conjunta dos diferentes modos coloca a necessidade de pensar a forma como eles são integrados um ao outro, afinal, a presença de um modo afeta a maneira como os demais são empregados (Moro et al., 2015). Esse aspecto parece bastante pertinente quando pensamos sobre os

textos dos livros didáticos de Física, pois a utilização de diversos modos em uma mesma página implica a disponibilização de múltiplos caminhos de leitura para os leitores (Kress, 2003).

Os caminhos de leitura são os deslocamentos realizados pelos leitores quando leem um texto e podem ser muito variados, dependendo dos modos presentes em uma página. Se o texto é puramente verbal, o caminho de leitura é mais bem definido (da esquerda para a direita e de cima para baixo, no caso da escrita ocidental). Se o texto apresenta vários modos distintos, os leitores poderiam, em princípio, se mover aleatoriamente entre eles, realizando um caminho bastante idiossincrático. Considerando que os estudantes – principais destinatários dos livros – se encontram em um processo de aprendizado sobre como ler e interpretar os textos multimodais de Física, parece necessário auxiliá-los em sua tarefa por meio da indicação de um caminho de leitura explícito.

A definição de um caminho de leitura, onde o autor guia o olhar do leitor para os aspectos importantes que devem ser percebidos e focados, pode contribuir para facilitar a compreensão. Guiar o olhar do leitor significa educar sua atenção (Ingold, 2001), significa ensiná-lo a interagir com esses modos da maneira como o fazem os membros das comunidades que comumente os elaboram e os utilizam (como os professores e os autores de livros).

Bakhtin (2006) afirma que a enunciação é o produto da interação de dois indivíduos socialmente organizados e, mesmo que não haja um interlocutor real, este pode ser substituído pelo representante médio do grupo social ao qual pertence o locutor (p. 114). A forma como o autor concebe o leitor pode ter uma influência direta sobre a aprendizagem a partir da leitura do texto. Se o autor concebe o leitor como alguém já introduzido em certas práticas e discursos da ciência escolar, ele pode escolher suprimir alguns detalhes do texto, ou deixar de explicitar alguns elementos e caminhos, que seriam fundamentais para um leitor não iniciado. Dessa forma, as lacunas deixadas pelo autor podem implicar em dificuldades de compreensão para o leitor pouco experiente. Ao contrário, se o autor concebe o leitor como alguém que necessita de auxílio para integrar as informações advindas dos diferentes modos, pode optar por realizar integrações explícitas, sinalizando-as para o leitor.

Considerando que a Física se constrói pelo uso, necessariamente conjunto, da linguagem, da matemática, dos gráficos e dos diagramas (Doran, 2018), parece sensato assumir que a compreensão dos textos didáticos de Física implique em orquestrar as informações advindas desses diferentes modos em um todo coerente. Essa consideração nos leva à nossa questão geral de pesquisa: como ocorre a interação dos leitores com os múltiplos modos que compõem um texto multimodal de Física destinado ao Ensino

Superior? Certos que essa questão é por demais ampla, elencamos algumas questões mais específicas que a operacionalizam.

- Ao ler um texto multimodal de Física, que caminhos de leitura os leitores privilegiam?
- Os leitores de um texto multimodal de Física promovem a integração dos múltiplos modos presentes em uma página?
- Como os leitores avaliam a importância dos diferentes modos na comunicação das informações a respeito de fenômenos, modelos e teorias?
- Na resolução de questões, os leitores percebem a necessidade de utilizar vários modos em conjunto?

O texto desta tese encontra-se dividido em sete capítulos, além desta introdução. No capítulo 1 apresentamos os referenciais teóricos que empregamos na análise dos caminhos de leitura seguidos pelos participantes durante a leitura do texto e na resolução das questões. Esse capítulo se encontra dividido em quatro seções. Na primeira seção trazemos discussões sobre o conceito de modos de comunicação e sobre a multimodalidade. Na segunda, procuramos mostrar como a Física se constitui de forma multimodal, tanto para construir, quanto para comunicar seus conhecimentos. A terceira seção é dedicada à abordagem das especificidades dos caminhos de leitura em textos multimodais e, na quarta, trazemos a noção de educação da atenção para nos ajudar a compreender os direcionamentos do olhar do leitor realizados pelos textos didáticos.

No segundo capítulo apresentamos as escolhas metodológicas que adotamos na realização deste trabalho. Esse capítulo está dividido em três seções. Na primeira descrevemos os processos de escolha do texto empírico e de convite aos leitores para participar da pesquisa. Na segunda, tratamos sobre os instrumentos e as etapas da coleta de dados. Na terceira seção dedicamos especial atenção ao *eye-tracking*. Discutimos o uso do equipamento na pesquisa, incluindo as saídas que seu software fornece e que são nossas fontes de dados para o estudo dos caminhos de leitura.

Os capítulos três a seis são dedicados às análises das interações dos leitores com os diferentes modos presentes no material de leitura. No capítulo 3 o foco é na leitura das páginas 148 e 149 do texto do livro. Esse capítulo está dividido em três seções. Na primeira trazemos alguns dados gerais sobre o que observamos a respeito da leitura entre os participantes. Na segunda, focamos nossa atenção na descrição dos modos presentes nas páginas 148 e 149 e na terceira analisamos como os leitores interagem com esses modos.

O quarto capítulo está dividido em duas seções e diz respeito à leitura das páginas 150 e 151. Nessas páginas há uma figura de grande importância na discussão sobre o atrito, cuja integração com o texto verbal é discutida na primeira seção deste capítulo. Na

segunda seção analisamos a interação dos leitores com o texto verbal e a figura presente na página 150.

No quinto capítulo voltamos a nossa atenção para a presença da Matemática na Física. Ele está dividido em quatro seções. Na primeira abordamos a construção dos significados de maneira conjunta pelos textos verbais e pelas equações para as forças de atrito estático e cinético. Na segunda discutimos aspectos da leitura das equações pelos participantes da pesquisa. A terceira seção é destinada à análise da forma como os leitores interagiram com a Figura 5.17, a primeira que apresenta uma representação vetorial no texto lido pelos participantes. Por fim, dedicamos a última seção deste capítulo para a abordagem das particularidades sobre a leitura e a manipulação de gráficos pelos leitores.

O capítulo 6 é inteiramente dedicado a análises envolvendo as questões de um teste que os participantes responderam na tela do computador. São, ao todo, quatro seções neste capítulo. Na primeira apresentamos uma dificuldade que tivemos com as questões nº 1 e nº 5. Na segunda abordamos o rastreamento dos leitores ao responderem a questão nº 2. A questão nº 3 é objeto da terceira seção e, na quarta seção, discutimos alguns aspectos do comportamento dos leitores na resolução das questões nº 4 e nº 6.

Por fim, no capítulo 7 apresentamos nossas considerações finais retomando nossas questões de pesquisa e apontando possíveis implicações dessa tese para a pesquisa em educação, para os formadores de professores e para o ensino da Física.

Capítulo 1 - Referencial teórico

A Física tem por objeto de estudo o mundo natural e os fenômenos que nele ocorrem. Pensar sobre esses fenômenos, comunicar com outras pessoas acerca deles, explicá-los e prever sua ocorrência, demanda a construção de modelos para esse mundo físico. Tais modelos são constituídos por entidades e processos pertencentes ao mundo dos objetos e eventos – um mundo empírico, vivido, relacionado à experiência – e ao mundo das teorias e modelos – um mundo teórico, concebido pela Física (Silva e Mortimer, 2010; Tiberghien, 2000).

Esse processo intenso de construção de modelos para o mundo físico também é encontrado nas salas de aulas de ciências. Nas interações discursivas que se dão nesses espaços, ora os enunciados se baseiam em aspectos observáveis ou mensuráveis de um determinado sistema em análise, pertencentes ao mundo dos objetos e eventos, ora fazem referência a entidades concebidas pelas ciências, como linhas de campo, elétrons, vetores etc., se situando no mundo das teorias e modelos (Silva e Mortimer, 2010). A Física, portanto, seja como ciência, seja como disciplina escolar, precisa de elementos para construir o mundo das teorias e modelos, mas, ao mesmo tempo, se conectar com o mundo dos objetos e eventos, estabelecendo relações entre empiria e teoria. Doran (2018) defende que ela realiza isso por meio do uso conjunto da linguagem, da Matemática e das imagens.

Esse aspecto multifacetado da construção e da comunicação do conhecimento nas ciências naturais foi apontado por Lemke (1998). Nesse trabalho, Lemke analisa diversos artigos de periódicos de grande prestígio na comunidade científica, como o *Physical Review Letters*, *Science*, *Nature* e *Bulletin of the New York Academy of Medicine* e constata que nos artigos, além do texto verbal, é comum a presença de desenhos esquemáticos, gráficos, fotografias e equações algébricas, em maior ou menor quantidade, conforme o periódico. Em nosso referencial teórico esses diferentes elementos utilizados na representação e na comunicação de informações são denominados de modos semióticos.

1.1 Modos de comunicação e multimodalidade

Kress (2009) define um modo semiótico como um elemento socialmente moldado, e culturalmente dado, para a construção de significados. Como alguns exemplos de modos empregados na representação e na comunicação de informações esse autor cita a imagem, a escrita, o *layout*, a música, o gesto, a fala, a imagem em movimento e a trilha sonora. Esses diferentes modos se valem de recursos semióticos diversos para a produção de significados. A escrita, por exemplo, utiliza recursos como o negrito e o tamanho da fonte

para significar ênfase. A fala, por outro lado, embora compartilhe alguns elementos com a escrita, confere ênfase por meio do emprego de pausas ou da variação da intensidade sonora e da frequência. Os diferentes recursos disponíveis a cada modo para a produção e comunicação de significados são também resultantes do trabalho realizado pelas culturas onde tais modos são utilizados.

Aderir a essa perspectiva da semiótica social, de que os modos são recursos trabalhados, desenvolvidos e moldados de forma muito própria por comunidades específicas, implica que a definição do que vem a ser especificamente um modo é algo fluido e de contornos imprecisos. Isso decorre tanto do fato que os modos estão em constante transformação por seus usuários, quanto pelo fato que, ao longo do tempo, certos modos deixam de existir, ao passo que novos são criados, tudo isso de forma a atender às demandas comunicativas das culturas onde são utilizados (Jewitt, 2008). Isso significa que diferentes comunidades podem divergir quanto ao que consideram como um modo. Vamos utilizar, novamente, a escrita para exemplificar esse aspecto.

Kress (2009) afirma que o modo escrita utiliza diferentes recursos semióticos para produzir significados, como se organizar em palavras, orações, períodos e parágrafos. Além disso, utiliza recursos gráficos como o tipo e tamanho da fonte, negrito, espaçamento, dentre outros. Kress e Bezemer (2009) defendem que, para um usuário “comum” da escrita, a fonte é simplesmente um recurso do modo da escrita, ao passo que para um tipógrafo ou designer gráfico, a fonte pode constituir um modo, uma vez que esses últimos utilizam esses elementos para a produção de significados específicos. Obviamente, para os usuários que percebem a fonte comunicando significados específicos, ela também se tornou um modo (Kress, 2010).

Sobre esse aspecto sociocultural dos modos queremos realizar aqui três reflexões que julgamos importantes para o ensino das ciências naturais, principalmente, para a Física. A primeira parte da proposição de Kress et al. (2001) de que

... educadores em ciências podem ter desenvolvido modos de comunicação e representação que não são considerados como tais por outras comunidades. A consequência disso é que aprender ciência é, em parte, aprender a reconhecer os modos daquela comunidade. (p. 43)

Kress et al. (2001) mostram que a construção do conhecimento em uma sala de aula de ciências é uma atividade multimodal, em que o professor escolhe e orquestra diferentes modos, com o objetivo de atingir certos propósitos retóricos junto aos estudantes. Nesse sentido, vemos como necessário envolver os estudantes em práticas específicas de produção e utilização desses modos de forma a levá-los a interagir com eles da maneira como o fazem os professores que os utilizam. Algumas pesquisas têm apontado para as

dificuldades dos estudantes em lidar com a escrita, com as imagens e com os gráficos e equações algébricas. Assumir que os modos empregados na construção do conhecimento científico são transparentes aos estudantes é um equívoco. Se os modos são trabalhados pelas culturas onde são utilizados, então a iniciação de novatos na utilização desses modos deve passar por formas culturais de compartilhamento das informações.

A segunda reflexão está relacionada ao conceito de *affordances* dos modos (Kress, 2003; Kress 2009), que vamos traduzir aqui como potencialidades e limitações. Diferentes modos, tanto em função do trabalho semiótico que uma determinada cultura estabelece como procedimento de produção e significação do modo, quanto em função de sua materialidade e meio de circulação, apresentam diferentes potencialidades e limitações para a produção de significados. Isso implica que alguns modos são muito bons para comunicar certas informações, ao passo que outros nem tanto. Por exemplo, se um atendente em uma loja de viagens deseja lhe vender um pacote turístico, é melhor ele utilizar belas fotografias das paisagens para tentar convencê-lo a comprar o pacote, que tentar descrever o local verbalmente.

As fotografias são socialmente aceitas como retratos da realidade. Por possuírem muitos elementos contextuais que as ligam a uma situação específica, as pessoas creem que estão diante de uma representação muito próxima do mundo vivido. Gráficos cartesianos, por outro lado, podem estar completamente afastados de situações contextuais, mas se prestam muito bem para representar a covariação contínua entre duas grandezas, em formas que a linguagem verbal não pode fazê-lo. A fala ou a escrita não podem representar os significados topológicos realizados por gráficos ou fotografias, mas constituem modos que podem comunicar significados sequenciais com precisão, dada a dependência que esses modos têm do tempo (Lemke, 1998).

As potencialidades e limitações dos modos têm, de acordo com Kress (2003), duas implicações importantes para a comunicação: i) cada modo é capaz de carregar apenas uma parte dos significados que estão sendo comunicados, isto é, nenhum modo é completo em si mesmo; ii) cada modo será usado em conformidade com suas potencialidades e limitações, em situações específicas, no sentido de melhor atender às demandas da comunidade que o está empregando.

Por fim, a terceira reflexão, estreitamente relacionada à anterior, está baseada em Kress (2003), que defende o ponto de vista de que não existe arbitrariedade do signo; todo signo é motivado. Para esse autor, o produtor do signo escolhe a forma mais apta para representar aquilo que deseja comunicar em função da situação comunicacional na qual se encontra. Tal escolha passa pelas potencialidades e limitações de cada modo, bem como pelas motivações do produtor do signo.

Dado o amplo espectro de atividades sociais nas quais os seres humanos se engajam, essas motivações podem ter origens bastante diversas. Por exemplo, professores e guardas de trânsito utilizam gestos em função de suas atividades laborais. Os últimos utilizam gestos convencionais, descritos em manuais e reconhecidos por aqueles que passaram por uma autoescola. Os primeiros, como mostram Mortimer e Quadros (2018), utilizam gestos diversificados, que podem se tornar gestos convencionais à medida que o professor interage com a turma nas atividades de ensino. Esses autores mostram como um movimento específico, realizado pela mão de uma professora de Química, passou a significar o movimento de elétrons nas interações com os estudantes. Mortimer e Quadros (2018) também discutem que o gesto de apontar, denominado gesto dêitico, é usado de forma tradicional, mas também de formas bastante idiossincráticas em função da interação da professora com outros modos desenhados no quadro e de sua posição frente à turma.

É possível que a experiência da professora citada no parágrafo anterior, seu histórico de interação com o conteúdo da Química e suas representações, sua percepção das dificuldades de aprendizagem dos estudantes e da forma como percebem esses gestos, os resultados obtidos com a aprendizagem dos alunos, dentre outros fatores, a tenham levado a optar por uma forma idiossincrática de produzir um gesto específico. Embora tenhamos consciência de que um amplo espectro de fatores possa motivar a produção de um signo, queremos destacar um deles que, em nosso ponto de vista, tem implicações importantes para nossas discussões: a concepção que o produtor do signo tem de sua audiência.

Bakhtin (2006) afirma que a enunciação é o produto da interação de dois indivíduos socialmente organizados e, mesmo que não haja um interlocutor real, este pode ser substituído pelo representante médio do grupo social ao qual pertence o locutor (p. 114). A enunciação “congelada” nas páginas de um livro é apenas um elo em uma cadeia de comunicação, que surgiu de enunciações anteriores e dará origem a outras enunciações. Essa perspectiva dialógica concebe o texto como um tecido de muitas vozes, que coloca em interação autores e seus possíveis leitores, detentores de horizontes sociais e conceituais distintos, que conversam, concordam, discordam etc (Martins, 2006).

Essa discussão sobre dialogia e multimodalidade parece ter implicações importantes para o estudo da forma como ocorre a leitura de textos didáticos multimodais. A forma como o autor do texto concebe o leitor pode ter uma influência direta sobre a aprendizagem a partir da leitura do texto, uma vez que os modos empregados, bem como a forma como são integrados um ao outro, partem de escolhas do produtor do signo.

A escolha por um ou outro modo, bem como a orquestração dos diferentes modos pelo produtor de um texto visa produzir determinado efeito retórico sobre a audiência a que o texto se destina. Isso foi mostrado por Kress et al. (2001) ao descrever a forma como um

professor de ciências orchestra determinados conjuntos de modos de forma a modificar a visão de mundo dos estudantes sobre determinados temas estudados na sala de aula.

Dadas as potencialidades e limitações de cada modo, bem como sua diversidade, não são poucas as situações nas quais é comum a utilização conjunta de diferentes modos. A multimodalidade é um fenômeno muito comum nas mais diversas esferas de comunicação humana. Ela se faz presente em uma simples conversa, que costuma ser acompanhada por gestos e expressões faciais dos interlocutores, em um manual de montagem de um equipamento, que apresenta desenhos de suas partes entre meio a textos verbais, nas salas de aula das mais diferentes disciplinas do Ensino Superior (conforme mostra Mortimer e Quadros, 2018), nos livros didáticos de Física (Alves, 2011), dentre muitos outros exemplos. Nesses processos de comunicação, nos quais são utilizados múltiplos modos, os significados não emergem da contribuição individual de cada modo apenas, mas resultam da interação de todos os modos, produzindo o que Lemke (1998) chamou de multiplicação dos significados.

No caso específico da Física, essa ampliação da gama de significados que o uso conjunto de diversos modos possibilita fica muito evidente no trabalho de Yaegan John Doran, que mostra como o uso da linguagem, da Matemática e das imagens permite à Física construir sua área de conhecimento específico como disciplina. Na próxima seção daremos uma atenção especial a esse trabalho.

1.2 Linguagem, matemática e imagens: a construção do discurso da Física

Como nosso interesse está voltado para compreender a interação de leitores com um objeto mediador comumente empregado na física escolar – os livros didáticos de Física para o Ensino Superior – voltamos a nossa atenção para as especificidades do conteúdo presente nesse objeto, isto é, para a Física como objeto de conhecimento escolar.

Uma primeira forma de compreender as especificidades da Física é olhando para suas particularidades em relação a outros conhecimentos e a outras disciplinas. Bernstein (1999) propõe uma primeira distinção entre os discursos que constroem os conhecimentos ditos do senso comum e aqueles associados à academia. O discurso horizontal está associado ao conhecimento do senso comum, que é acessível a todos, e tende a ser oral, local, dependente de um contexto específico, tácito, coerente em um determinado contexto mas contraditório entre contextos diferentes. De modo oposto, o discurso vertical, associado ao conhecimento acadêmico, tem a forma de uma estrutura coerente, sistematicamente baseada em princípios, hierarquicamente organizada, como nas ciências naturais, ou toma a forma de uma série de linguagens especializadas com modos específicos de investigação e

critérios específicos para a produção e a circulação de textos como nas ciências sociais e humanidades (p. 159).

Aprofundando essa diferenciação inicial, Bernstein (1999) propõe uma divisão do discurso vertical em estruturas de conhecimento hierárquico, associadas às ciências naturais, e estruturas de conhecimento horizontal, associadas às ciências sociais e humanidades. A Figura 1.1, inspirada em Bernstein (1999), nos ajuda a compreender essas distinções.

As estruturas de conhecimento hierárquico podem ser representadas por um triângulo, onde a ponta representa o número de axiomas ou proposições e a base o amplo espectro de fenômenos empíricos que podem ser explicados a partir das teorias baseadas em tais axiomas (Maton, 2014, p. 120). Em disciplinas com essa estrutura de conhecimentos há um movimento em busca de teorias cada vez mais gerais, abstratas, que não estão presas a fenômenos específicos, mas dão conta de uma diversidade de situações. Quanto mais geral for o alcance de uma teoria, isto é, quanto mais fenômenos distintos ela for capaz de abordar, mais valorizada é.

As estruturas de conhecimento horizontal, por outro lado, consistem de uma série de linguagens especializadas, com formas específicas de interrogação e de critérios para a construção e a circulação de textos (Bernstein, 1999, p. 162). Por isso podem ser representadas como um conjunto igualmente valorizado de várias linguagens ($L_1, L_2 \dots L_n$). As estruturas de conhecimento horizontal envolvem uma multiplicidade de diferentes métodos de interpretação e modelos teóricos que não são necessariamente integrados em uma teoria mais geral e contam com princípios de descrição baseados em diferentes (e até opostas) suposições (Bernstein, 1996, apud Maton, 2014).

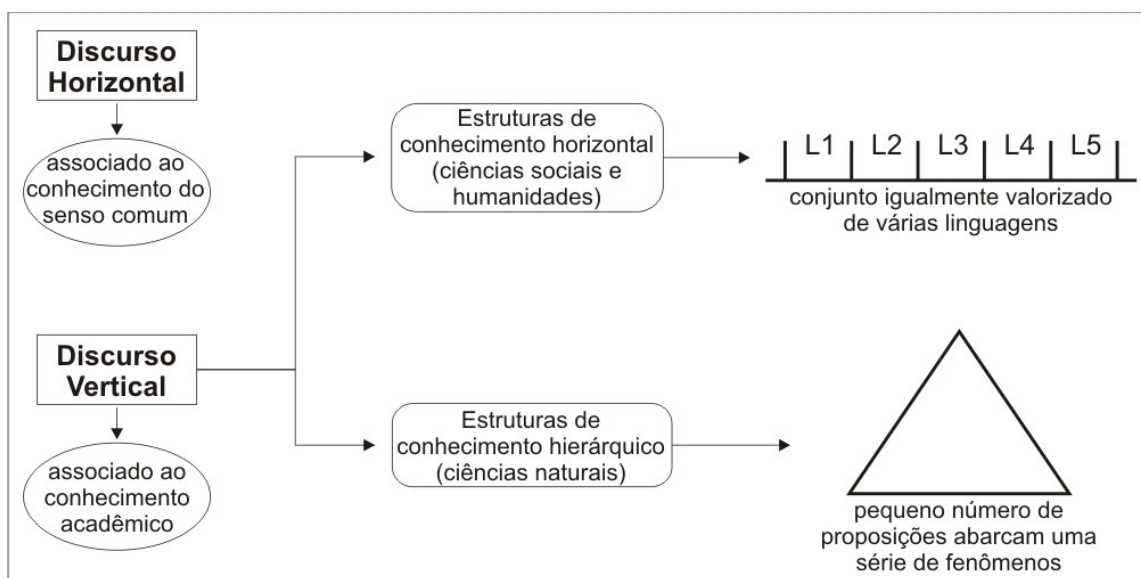


Figura 1.1: representação das estruturas de conhecimento segundo Bernstein (1999)

Por essa proposição de Bernstein, a Física, mais que a Química e a Biologia, pode ser caracterizada como uma estrutura de conhecimento hierárquico. As teorias elaboradas pela Física buscam explicar uma diversidade de fenômenos com base em alguns poucos princípios tomados como axiomas. A mecânica Newtoniana, por exemplo, pode ser aplicada com sucesso a inúmeras situações envolvendo a ação de forças sobre corpos, seja na superfície da Terra, ou entre corpos celestes no espaço.

Além disso, ao longo da história da evolução das ideias da Física, ocorreram vários episódios onde houve uma unificação de áreas que se desenvolveram isoladamente. Esse é o caso da eletricidade e do magnetismo. Tanto os fenômenos elétricos, quanto os magnéticos, eram vistos como manifestações distintas da natureza. Contudo, ao longo do século XIX, com as contribuições de Oersted, Faraday e Ampère, esses dois campos foram unificados no que hoje denominamos eletromagnetismo. Mais tarde, ainda no século XIX, Maxwell demonstrou que o eletromagnetismo e a óptica estavam intimamente relacionados. Esse movimento continua até hoje. A busca por partículas fundamentais é uma tentativa de alcançar uma teoria básica da qual todos os fenômenos possam ser derivados.

Se por um lado as proposições de Basil Bernstein ajudam em uma primeira diferenciação da Física com relação a outros conhecimentos, por outro elas não permitem compreender como se dá a estruturação desse conhecimento, ou nos termos de Doran (2018), com quais elementos e de que maneiras a Física constrói o seu discurso para se constituir como uma estrutura de conhecimento altamente hierarquizada. Para tratar desse problema Doran estuda as características dos elementos da linguagem, da Matemática e das imagens usadas na Física. Porém, antes de discutirmos as proposições de Doran (2018), precisamos fazer um pequeno parêntese a respeito da terminologia utilizada por esse autor.

Doran (2018) utiliza a Semiótica Social de Michael Halliday como estrutura básica de suas proposições, contudo, ele não emprega as palavras modo e multimodalidade, no sentido que estamos utilizando em nosso trabalho. Diferentemente, ele usa o termo linguagem (*language*), para se referir aos textos escritos (em livros didáticos, no quadro branco, nos exames dos estudantes) e aos textos orais (fala do professor e dos estudantes) que circulam na sala de aula. Em nosso caso fazemos uma distinção clara entre fala e escrita por compreendermos, com base em Kress (2010), que, devido a suas diferentes materialidades, esses recursos possuem potencialidades e limitações distintas para a comunicação.

Doran (2018) emprega o termo matemática (*mathematics*) para se referir a equações e expressões algébricas, deduções de relações matemáticas e resoluções numéricas de problemas, comumente presentes nas salas de aula de Física. Embora ele não utilize a palavra modo para se referir ao uso da matemática, fica evidente por suas discussões que a

matemática se constitui como um modo, pois constrói e comunica significados nas comunidades onde é utilizada.

Por fim, Doran utiliza o termo imagens (*images*) para se referir a diagramas (*diagrams*) e gráficos (*graphs*) empregados nas aulas de Física. Apesar de nomear ambos os modos de imagens, ele os trata como recursos distintos, explicitando suas diferenças na construção dos significados na Física. Essa é também a nossa posição nesse trabalho, uma vez que gráficos e diagramas possibilitam a comunicação de diferentes tipos de informações. O termo diagrama é usado por ele para se referir apenas a figuras (ilustrações) com elementos esquemáticos e icônicos. Portanto, ao nos referirmos ao trabalho de Doran (2018), utilizaremos a terminologia que ele emprega, mas temos um compromisso em manter as distinções entre os modos da fala e da escrita, bem como em nomear distintamente gráficos e diagramas, uma vez que se constituem como modos semióticos distintos.

A preocupação de Doran (2018) é em mostrar como a Física se organiza como uma estrutura de conhecimento coerente e multifacetada e como esse conhecimento é construído e distribuído por meio da linguagem e de outros modos semióticos como a matemática e as imagens. De acordo com ele, a Física constrói seu discurso pela utilização da matemática, de imagens, de simbolismo nuclear, de gestos, de aparatos de demonstração, e muitos outros recursos semióticos que trazem sua própria funcionalidade e sua própria interpretação particular do conhecimento (p. 21). Tratar de todos esses elementos constitui um imenso trabalho e ele dirige sua atenção para três deles: a linguagem (textos verbais orais e escritos), a matemática (equações e expressões algébricas) e as imagens (diagramas e gráficos). Esses modos são analisados sob duas perspectivas: i) de forma descritiva, procurando analisar os modos, suas características intrínsecas e seu potencial para construir significados; ii) a partir dos elementos descritivos, investigar como a integração dos diferentes modos contribui para que a Física construa teorias altamente abstratas e gerais, ao mesmo tempo em que se mantém conectada ao mundo empírico. Para realizar sua empreitada, ele se baseia na linguística sistêmico funcional de Michael Halliday.

Fontaine (2013) afirma que, para Halliday, a linguagem é um sistema semiótico, ou seja, ela se organiza na forma de um sistema, e possibilita aos interlocutores criar significados. Mas as formas pelas quais os significados são criados por meio da linguagem emergem de seu uso social. Diante de todo um conjunto de possibilidades, os usuários da linguagem escolhem as opções que julgam mais apropriadas, dentro de certos padrões de uso, para produzir os sentidos desejados. O exemplo oferecido por Fontaine (2013), apesar de simples, nos ajuda a entender esse aspecto.

Suponha que você esteja conversando com uma pessoa e, de repente, avista um amigo. Você pode falar para essa pessoa sobre seu amigo, se referindo a ele de várias maneiras: i) Marcos trabalha no laboratório; ii) Aquele moço trabalha no laboratório; iii) Ele trabalha no laboratório. A escolha por uma ou outra maneira envolve detalhes da interação social na qual os interlocutores se encontram, a proximidade e a intimidade dos interlocutores, dentre outros aspectos. A partir desse pequeno exemplo, pode parecer, a princípio, que as opções disponíveis na linguagem, enquanto sistema de signos, são tão numerosas quanto as culturas e as demandas específicas de comunicação criadas em seu interior, tomando difícil alguma generalização. Contudo, Halliday (1976) afirma:

... quando examinamos o sentido potencial da própria linguagem, observamos que numerosas opções nela englobadas, se combinam numas poucas “redes” relativamente independentes; e estas redes de opções correspondem a certas funções básicas da linguagem (p. 136).

Segundo Halliday (1976, 1985) são três as funções básicas que a linguagem deve exercer em todo ato comunicativo: i) ideacional; ii) interpessoal; iii) textual. Como Halliday considerava essas três categorias como gerais e presentes em todo ato comunicacional completo, ele as denominou metafunções da linguagem.

A metafunção ideacional da linguagem nos permite criar, semioticamente, nossa experiência do mundo à nossa volta e no nosso interior. Ela costuma ser dividida em um componente experiencial, relacionada às nossas experiências no mundo, e um componente lógico, que nos permite construir redes de significados encadeados. A metafunção interpessoal nos fornece os recursos para estabelecer e manter relações sociais, isto é, acessar o mundo dos papéis e relações sociais como significado (Caffarel, 2006). Por fim, quanto à metafunção textual, Halliday (1976) afirma que

... cumpre à linguagem possibilitar o estabelecimento de vínculos com ela própria e com as características da situação em que é usada. Podemos chamar a este aspecto função textual, pois é a que capacita o falante e o escritor a construir “textos”, ou passagens encadeadas de discurso que sejam situacionalmente apropriadas; outrossim, ela capacita o ouvinte ou o leitor a distinguir um texto de um conjunto aleatório de orações. (p. 137)

Embora Halliday tenha se ocupado em aplicar estas categorias apenas à linguagem verbal, oral e escrita, diversos pesquisadores as utilizaram para caracterizar outros modos como a Matemática (O'Halloran, 2005), as imagens dos mais diversos tipos (Kress e van Leeuwen, 2006), as imagens e os gráficos presentes em periódicos científicos (Lemke,

1998), dentre outros. Seguindo essa linha, Doran (2018) procura mostrar, a partir da análise de textos empíricos, como essas metafunções desempenham papéis importantes na construção do discurso da física. Por meio de uma análise minuciosa, esse autor procura demonstrar que certas funções não emergem de um único modo, mas de um uso coordenado da linguagem, da Matemática, das imagens e dos gráficos.

1.2.1 Linguagem

O texto verbal é, de acordo com Doran (2018), o recurso mais antigo e regularmente utilizado pela Física na construção de seu conhecimento. *A linguagem é o recurso padrão para interpretar os significados construídos na matemática, nas imagens e nos outros recursos* (p. 21). A linguagem permite à Física construir cadeias de significados complexos a partir de elementos tomados do cotidiano, tornando esses significados mais acessíveis. Nesse processo, ela pode realizar um movimento de distanciamento das situações cotidianas em direção a uma generalização. O uso da metáfora gramatical e da tecnicidade são fatores essenciais para esse último movimento. Vamos discutir esses pontos utilizando um exemplo fornecido pelo próprio Doran, retirado de um livro de escola primária. Doran (2018) reproduz apenas o texto verbal, mas afirma que juntamente com o texto são apresentados desenhos dos objetos citados.

*Você empurra um carrinho. Você empurra um balanço.
 Você puxa uma escova pelo seu cabelo. Você puxa um livro da sua bolsa.
 Você puxa ou empurra suas meias?
 Uma escavadora empurra pedras em um monte. Um carro de brinquedo precisa de um empurrão para se deslocar.
 Michael aperta as teclas para tocar uma música [referindo-se a um teclado de piano].
 Alex empurra a bola quando ele chuta.
 ...
 Mais sobre puxões. Um motor puxa um trem Um trator puxa um trailer.
 Um cachorro puxa sua coleira. Você pode pensar em mais três coisas que puxam outras?
 ...
 Você usa uma força toda vez que move alguma coisa, muda sua direção ou muda sua forma. Um empurrão é uma força. Um puxão é uma força. (p. 23)*

O primeiro ponto que Doran (2018) chama a atenção a respeito desse texto é para o fato de que, ao congregar várias situações como o ações envolvendo os atos de puxar ou empurrar, a linguagem está criando, a partir de situações cotidianas, um significado que está além do senso comum. Somado a isso, o texto está congregando sob um mesmo termo específico (força) um espectro amplo de eventos muito distintos, que vão desde empurrar um carinho, tocar um piano ou a ação de um trator ao puxar um trailer. Dessa forma, o texto aumenta o leque de significados associados ao termo força, na medida em que congrega uma diversidade de fenômenos como tendo algo em comum. A linguagem, portanto, desde

as séries iniciais trabalha para modificar as visões de mundo dos estudantes referentes aos fenômenos

Em seguida Doran (2018) explicita o uso da metáfora gramatical (Halliday e Martin, 1993) pelo texto. A metáfora gramatical envolve substituir uma classe, ou estrutura gramatical, por outra. Mais precisamente, é comum a utilização de nomes, ou grupos nominais (que geralmente designam objetos, coisas, pessoas, lugares) para se referir a processos, e de verbos (geralmente usados para designar ações e estados), para estabelecer relações entre os grupos nominais. No momento em que o texto diz que um puxão é uma força, e um empurrão é uma força, as ações de puxar e empurrar são convertidas em coisas. Já não é necessário considerar um agente que realiza a força (o ato de puxar ou empurrar) ou um objeto sobre o qual a força atua. Assim, a linguagem contribui para deslocar o discurso da Física de situações mais contextuais, para situações mais gerais.

Por fim, a frase final do texto *Um empurrão é uma força. Um puxão é uma força*, contribui para formar uma categoria de tipos de forças, pois reúne todos os exemplos citados no texto sob um mesmo termo. Esse movimento amplia o significado do termo força. Doran (2018) afirma que a linguagem é utilizada na Física para criar amplas e precisas taxonomias de classificação e composição, bem como séries organizadas de eventos denominadas sequências de atividades. As taxonomias organizam itens específicos por meio de relações parte-todo (taxonomia de composição) ou tipo-subtipo (taxonomia de classificação). A frase “Toda matéria é constituída por átomos e esses são formados por prótons, nêutrons e elétrons.” constrói uma taxonomia de composição, pois trata das partes (prótons, nêutrons e elétrons) que constituem o todo (o átomo). De modo diferente, a frase “Existem, basicamente, quatro forças fundamentais na natureza: gravitacional, eletromagnética, nuclear fraca e nuclear forte”, apresenta uma taxonomia de classificação, onde as quatro forças são sub-tipos da categoria *força fundamental*.

As sequências de atividade são muito empregadas na Física em textos relacionados à realização de processos experimentais, sejam em atividades ou em relatos históricos (Doran, 2018), como no caso do experimento de Thomson da descoberta do elétron. Essas sequências mostram a progressão, ou o desdobrar, de processos e eventos no campo da Física.

As taxonomias e sequências de atividades construídas pela linguagem na Física podem tomar como referentes entidades e processos pertencentes ao mundo dos objetos e eventos, ou ao mundo das teorias e modelos (Silva e Mortimer, 2010). Essa particularidade da Física, de ser capaz de transitar entre os mundos concebido e vivido, é abordada por Doran (2018) por meio da Teoria dos Códigos de Legitimação (*Legitimation Code Theory* -

LCT), de Karl Maton (2014). Vamos apresentar alguns elementos da teoria de Maton, pois Doran os utiliza em grande medida em suas proposições.

A Teoria dos Códigos de Legitimação é um *quadro teórico que permite que as práticas de conhecimento sejam analisadas, que seus princípios organizadores sejam conceituados e que seus efeitos sejam explorados* (Maton, 2014, p. 22). Esse autor reforça que sua teoria tem a ver com o conhecimento como objeto (o conhecimento da Física, o conhecimento da Química, o conhecimento da Sociologia), isto é, o que está sendo aprendido (*what is being learned*) e não o conhecimento como o processo de conhecer. Para abordar o conhecimento em suas múltiplas facetas Karl Maton propõe cinco dimensões: Autonomia, Densidade, Especialização, Semântica e Temporalidade. Doran (2018), no entanto, utiliza apenas as categorias Especialização e Semântica.

A especialização trata das relações entre o conhecimento, objetos e sujeitos, uma vez que as práticas que envolvem os conhecimentos são a respeito de, ou direcionadas a, algo ou alguém. Essa categoria permite analisar as relações epistêmicas entre o conhecimento e seus objetos de estudo, e as relações sociais entre conhecimento e seus autores ou atores (Maton, 2014). Utilizando a estrutura conceitual de Karl Maton, Doran (2018) classifica a Física como uma área de conhecimento que valoriza e reforça, enormemente, as relações epistêmicas com seu objeto de estudo, ao mesmo tempo em que minimiza o papel dos atributos dos atores envolvidos, conferindo pouco valor às relações sociais entre ator e conhecimento. Em um extremo oposto estariam áreas como as Artes, em que os atributos do ator (*feeling*, sensibilidade, “dom”) são altamente valorizados.

A força dessas relações epistêmicas com o objeto de estudo pode ser percebida na organização teórica integrada e coesa que procura descrever e explicar o mundo físico com precisão. Essas relações sustentam a estrutura de conhecimento hierárquico da Física, dando-lhe condições de desenvolver teorias cada vez mais gerais, que englobam uma gama crescente de fenômenos empíricos.

A semântica trata da forma como o conhecimento se relaciona ao seu contexto e a outros significados. Maton (2014) trata essa categoria com duas variáveis: a gravidade semântica – que descreve o grau em que os significados se relacionam com seu contexto – e a densidade semântica – que descreve o grau de condensação de significados em um termo. Quanto mais atrelado a um contexto específico estiver o conhecimento, maior a gravidade semântica, e quanto mais geral, menor a gravidade semântica. Observe a Figura 1.2.

Na Figura 1.2A está representado um circuito particular, com uma lâmpada, uma chave e uma pilha muito específicas. O contexto também é específico: o circuito sobre uma mesa de madeira e uma criança manipulando sua chave. Em B, por mais que a figura se aproxime dos elementos representados em A, boa parte dos elementos contextuais já não

existem. Esse circuito é, portanto, mais genérico que o representado em A. Na Figura 1.2C temos a forma mais geral de representar um circuito. Os símbolos presentes nessa figura não se assemelham em nada àqueles usados nas figuras A e B. Sua significação é puramente convencional e demanda uma base de conhecimentos compartilhados entre produtor e leitor dos signos. Caminhando da esquerda para a direita na Figura 1.2 temos uma diminuição dos elementos contextuais que ligam o fenômeno a uma situação particular, o que significa que há uma redução na gravidade semântica.

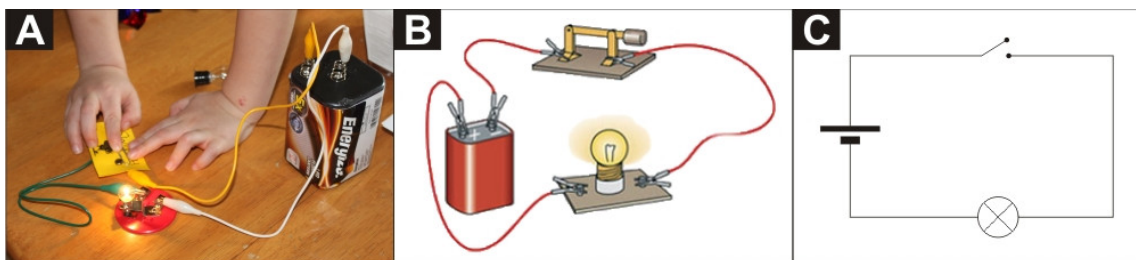


Figura 1.2 representações de um circuito com muitos elementos contextuais em fotografia (A), por meio de ícones (B) e de forma simbólica (C). Fontes: Figura 1.2A - <https://fugalfun4boys.com/electricity-experiments-for-kids>, Figura 1.2B - <https://sites.google.com/site/joabaptista1201/instalacoes-eletricas/circuitos-eletricos>.

O contexto ao qual nos referimos no parágrafo anterior diz respeito aos detalhes mostrados na fotografia que nos remetem à ideia de um circuito em uma situação muito particular. Note que o foco da fotografia nas mãos da criança, sem mostrar o ambiente em torno dela, não nos permite dizer se ela se encontra em sua casa, brincando com o circuito, ou em uma sala de aula, explorando o circuito como uma atividade didática. Esses detalhes fazem parte do que Edwards e Mercer (1987) denominam de contexto não linguístico (o tempo, o lugar, a situação social, as pessoas envolvidas, seus comportamentos, gestos e outros aspectos).

No caso da densidade, quanto mais significados estiverem condensados em determinado símbolo, termo, conceito, expressão, gesto etc, maior sua densidade semântica, e quanto menos significados associados, menor a densidade semântica. Nas ciências naturais, o termo “energia” é um bom exemplo de conceito com alta densidade semântica. Na Física, por exemplo, esse termo está associado com realização de trabalho, movimento, variação de temperatura, transformações em circuitos elétricos. Na Química ele está presente em discussões sobre mudanças de estado físico, combustão, estados atômicos. Na Biologia o termo energia é empregado em processos relacionados à manutenção da vida como a fotossíntese e o metabolismo celular. Por fazer parte de uma teia de relações que se estende por várias disciplinas, e participa de muitos e variados processos, o termo energia condensa um amplo espectro de significados.

Utilizando essas dimensões da LCT, juntamente com o exemplo do texto sobre puxar e empurrar, Doran resume o papel da linguagem na Física: a linguagem possibilita a elaboração de taxonomias de classificação e composição, bem como a construção de sequências de atividade. À medida que o estudante progride na escolarização, a linguagem, pouco a pouco, amplia os significados dos termos técnicos e os integra àqueles previamente estabelecidos. Disso resulta uma condensação de significados em um simples nome, ou grupo nominal, que pode ser eficientemente relacionado com outros significados, devido a sua forma compacta. O termo elétron, por exemplo, para um estudante do Ensino Superior, apresenta uma gama de significados condensados em si muito mais ampla que para um estudante do 9º ano do Ensino Fundamental. Ao evocar esse nome, seja em uma aula, ou na leitura de um livro, toda essa gama de significados se manifesta pois ela constitui o termo elétron. Assim, a linguagem reforça a densidade semântica da Física por meio da condensação de significados nos termos.

O uso da metáfora gramatical (Halliday e Martin, 1993) diminui a gravidade semântica, uma vez que os objetos de conhecimento se afastam das situações particulares de ação de um ator sobre um objeto. Mas a linguagem também pode ser usada para reforçar a gravidade semântica, como ocorreu no exemplo do texto sobre puxar e empurrar, ocasião em que o conceito força foi estabelecido sobre atividades do dia a dia. A linguagem, dessa forma, oferece à Física a possibilidade de transitar entre o mundo dos objetos e eventos e o mundo das teorias e modelos, perfazendo uma ampla faixa de gravidade semântica.

Portanto, a linguagem confere à Física condições para construir seus discursos sobre os mundos dos objetos e eventos e das teorias e modelos, para se relacionar com o outro e com o seu objeto de conhecimento de forma a reforçar as relações epistêmicas e para comunicar esse conhecimento construído de forma compreensível (considerando, naturalmente, uma base de conhecimentos socialmente compartilhados que permitam aos interlocutores a comunicação). A linguagem também fornece as condições necessárias para integrar/condensar significados e generalizar seus modelos e teorias, de maneira que poucos princípios possam abranger muitos fenômenos, e ao mesmo tempo estabelecer relações entre esses modelos e os fenômenos empíricos do mundo vivido.

1.2.2 Matemática

Essas mesmas categorias foram aplicadas por Doran à matemática empregada na Física. Doran (2018) apresenta uma descrição pormenorizada da gramática da Matemática com o objetivo de entender porque ela é usada na Física. Embora a descrição e a explicação dos fenômenos físicos possam ser realizadas por meio do modo verbal e de imagens, a matemática se faz muito presente na Física. Nos livros didáticos analisados por

esse autor ela começa a aparecer nos anos finais da *Primary School* (10 – 12 anos), se torna cada vez mais presente ao longo da *Middle* e *High School* (12 – 18 anos) e se constitui em um modo fundamental para a construção de significados na *Undergraduate University Physics*.

Uma equação algébrica pode ser descrita a partir do esquema mostrado na Figura 1.3. A menor unidade com significado na Matemática é o símbolo, que pode se combinar ou não com outros e formar complexos de símbolos. Uma equação é definida quando duas expressões (sejam elas formadas por símbolos únicos ou por complexos) são relacionadas por meio de um sinal de igualdade, denominado relacionador, pois estabelece a relação entre as expressões (veja a Equação 1 na Figura 1.3). Além do sinal de igualdade, existem outros relacionadores como identidade (\equiv), diferente (\neq), maior ($>$), menor ($<$), proporcional (\propto), dentre outros, que estabelecem outras relações entre grandezas na Matemática e na Física.

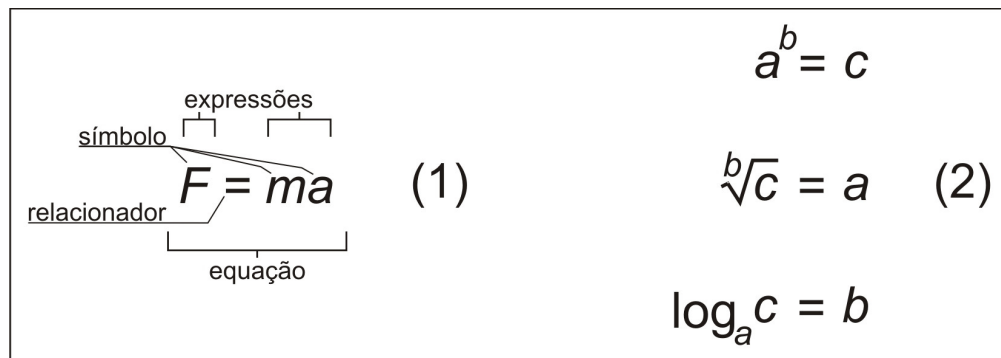


Figura 1.3: definições dos elementos constituintes de uma equação (1) e relações de identidade entre potência, raiz quadrada e logaritmo (2).

Doran (2018) observa, ao analisar ocorrências da matemática em livros texto de Física, que o texto verbal nomeia os símbolos. No texto que acompanha a Equação 1, F é nomeado como força, m como massa e a como aceleração. O fato de a Física dar nomes diferentes às constantes e variáveis em uma equação, utilizar símbolos para representar ideias em vez de quantidades, diminuir/ofuscar as diferenças entre constantes e variáveis e investir os símbolos com significados complexos, leva Redish (2008, apud Karam e Pietrocola, 2009) a pontuar que é como se a Matemática usada na Física tivesse características diferentes daquela ensinada pelos matemáticos. Operar com equações na física não é simplesmente operar com números, é operar com conceitos carregados de significados. Mesmo quando aparentam a mesma estrutura matemática, como nas equações $V = Ri$, $E = hf$ e $v = \lambda f$, seus significados e interpretações físicas diferem completamente (Karam, 2012).

Os símbolos podem se relacionar com outros por meio de operadores binários - que realizam operações entre dois símbolos. Eles são classificados por Doran (2018) em aritméticos (adição, subtração, divisão e multiplicação) e de exponenciação (potência, raiz quadrada e logaritmo). Doran justifica a classificação conjunta dos últimos sob um mesmo grupo devido às relações de identidade que existem entre eles e pelo fato de constituírem uma perspectiva diferente sobre a mesma relação entre três números ou variáveis (veja as Equações 2 na Figura 1.3). O operador multiplicação, mesmo quando não é registrado, se faz presente na expressão, como na Equação 1, onde ma deve ser entendido como o $m \times a$.

Há alguns operadores que atuam somente sobre os símbolos que os acompanham, não estabelecendo relações entre dois símbolos. Esses operadores são denominados unários (*unary*), como o Δ na Equação 1, e o **cos** na Equação 2 da Figura 1.4. O Δ atua somente sobre o símbolo E_C e o **cos** sobre o argumento $(kx - \omega t)$. Mas o argumento entre parênteses, na Equação 2, é tratado como uma unidade. Se os parênteses forem retirados o operador **cos** atuará somente sobre o argumento kx , e o resultado da equação mudará completamente.

Os operadores unários são usados como formas condensadas de representar operações pré-definidas. Por exemplo, o operador Δ carrega consigo a operação ($Grandeza_{final} - Grandeza_{inicial}$). Outros exemplos de operadores unários comumente usados na física são seno (**sen**), fatorial (!), derivada (d/dx), somatório (Σ) etc. Todos esses símbolos quando usados nos textos representam operações bem determinadas.

$$\Delta E_C = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2 \quad (1) \qquad y(x,t) = A \cos(kx - \omega t) \quad (2)$$

Figura 1.4: exemplos de operadores unários, subscrito e potência em equações da Física.

Esses operadores unários podem ser organizados em cadeias de significados, onde uns estão contidos nos outros. O operador $(\partial/\partial x)$ representa a operação derivada parcial aplicada a uma função. O operador nabla (∇) implica em várias operações que envolvem a derivada parcial de uma função, como mostra a Figura 1.5A. Esse recurso oferecido pela Matemática é usado em grande medida na Física, pois constitui uma forma sintética de expressar relações e operações. Para alguns autores, as Equações de Maxwell, um marco no desenvolvimento da Física, se mostram mais elegantes quando apresentadas na sua forma diferencial, onde se emprega o operador nabla (veja a Figura 1.5B).

gradiente	$\vec{\nabla} f = \vec{i} \frac{\partial f}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial f}{\partial y} + \vec{k} \frac{\partial f}{\partial z}$	A	$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$	B
divergente	$\vec{\nabla} \cdot \vec{F} = \frac{\partial F_1}{\partial x} + \frac{\partial F_2}{\partial y} + \frac{\partial F_3}{\partial z}$		$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$	
rotacional	$\vec{\nabla} \times \vec{F} = \vec{i} \left(\frac{\partial F_3}{\partial y} - \frac{\partial F_2}{\partial z} \right) + \vec{j} \left(\frac{\partial F_1}{\partial z} - \frac{\partial F_3}{\partial x} \right) + \vec{k} \left(\frac{\partial F_2}{\partial x} - \frac{\partial F_1}{\partial y} \right)$		$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$	
			$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$	

Figura 1.5: operadores diferenciais em (A) e as Equações de Maxwell na forma diferencial em (B).

O'Halloran (2005) aponta que não há limite para esse encadeamento de relações e símbolos na matemática. Há regras que devem ser seguidas para que sejam realizados esses encadeamentos de modo correto, mas o número de suas parcelas não é limitado por nenhuma delas. Essa característica a Matemática compartilha com a linguagem. Tanto na linguagem, como na Matemática, o componente lógico da metafunção ideacional trabalha para que seja possível o encadeamento de sequências de enunciados.

Outro aspecto apontado por O'Halloran (2005) é o fato de que não há um símbolo que possua *status* mais importante que os outros em uma equação; todos são igualmente significativos. Mas o posicionamento dos símbolos e sua relação com os símbolos anteriores e posteriores em uma equação, são elementos empregados pela Matemática para atribuir diferentes sentidos aos símbolos. Na Equação 1 da Figura 1.4, o sobrescrito indica uma potência, isto é, uma operação pré-definida (multiplicar o argumento da potência por ele mesmo, o número de vezes indicado pela potência). O subscrito, de forma diferente, pode ter significados distintos dependendo do símbolo ou complexo de símbolos que o precede. No caso do logaritmo, na Equação 2 da Figura 1.3, o subscrito denota a base; acompanhando os símbolos \mathbf{E} e \mathbf{v} , na Equação 1 da Figura 1.4, ele é uma forma de discriminar ocorrências distintas do mesmo símbolo, que correspondem a valores diferentes da mesma grandeza física nas duas ocorrências.

Para que fosse possível discutir alguns aspectos dos símbolos matemáticos de uma equação, selecionamos algumas e as reproduzimos isoladamente nas figuras anteriores. Contudo, elas não aparecem dessa forma nos livros de Física. Doran (2018) afirma que há uma forte interação entre a matemática e a linguagem nos textos científicos, o que possibilita a multiplicação dos significados para além daqueles comunicados por cada modo isoladamente. Essa interação produz o que ele chama de gêneros matemáticos da Física, que são produções onde aparecem a linguagem e a Matemática juntos.

Há duas principais ocorrências de gêneros matemáticos nos textos de Física: as quantificações e as derivações (Doran, 2018). Nas quantificações o objetivo é o alcance de um resultado numérico (veja a Figura 1.6). Ao longo da resolução da equação, os símbolos literais são substituídos por números. Após a realização dos cálculos chega-se a um número que expressa o valor de uma grandeza física. As quantificações permitem que se obtenha

um valor de uma grandeza em uma situação específica. Em geral, são usados valores condizentes com situações empíricas para as grandezas nas quantificações, de modo que o leitor tenha uma noção acerca da magnitude dessas grandezas em situações práticas. Esse tipo de gênero é muito comum nos exemplos de exercícios resolvidos, nos textos didáticos de Física, onde o autor mostra para o estudante como proceder para aplicar os modelos teóricos tratados no texto.

EXEMPLO 25.3 DEPENDÊNCIA DA RESISTÊNCIA EM RELAÇÃO À TEMPERATURA	
Suponha que a resistência de um fio de cobre seja igual a $1,05 \Omega$ a 20°C . Calcule a resistência a 0°C e a 100°C .	$R = (1,05 \Omega) \{1 + [0,00393 (\text{C}^\circ)^{-1}][100^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}]\}$ $= 1,38 \Omega \text{ a } T = 100^\circ\text{C}$
<p>SOLUÇÃO</p> <p>IDENTIFICAR E PREPARAR: sabemos que a resistência é $R_0 = 1,05 \Omega$ a uma temperatura de referência $T_0 = 20^\circ\text{C}$. Pela Equação 25.12 determinamos as resistências a $T = 0^\circ\text{C}$ e $T = 100^\circ\text{C}$ (as incógnitas deste problema), usando o coeficiente de temperatura da resistividade, dado na Tabela 25.2.</p> <p>EXECUTAR: de acordo com a Tabela 25.2, $\alpha = 0,00393 (\text{C}^\circ)^{-1}$ para o cobre. Portanto, pela Equação 25.12,</p> $R = R_0[1 + \alpha(T - T_0)]$ $= (1,05 \Omega) \{1 + [0,00393 (\text{C}^\circ)^{-1}][0^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}]\}$ $= 0,97 \Omega \text{ a } T = 0^\circ\text{C}$	<p>AVALIAR: a resistência a 100°C é maior que a 0°C por um fator de $(1,38 \Omega)/(0,97 \Omega) = 1,42$. Em outras palavras, aumentar a temperatura do fio de cobre de 0°C para 100°C aumenta sua resistência em 42%. Pela Equação 25.11, $V = IR$, o que significa que é necessário 42% a mais de voltagem V para produzir a mesma corrente I a 100°C do que a 0°C. Essa enorme variação da resistência deve ser levada em consideração nos projetos de circuitos elétricos destinados a operar entre intervalos grandes de temperatura.</p>

Figura 1.6: exemplo de quantificação no livro de Young e Freedman (2015, p. 156).

Nas derivações, mesmo após a manipulação das equações algébricas, o resultado permanece na forma literal (veja a Figura 1.7). O objetivo das derivações é o desenvolvimento de novas relações entre os símbolos. Ao longo da etapa de desenvolvimento ocorre um rearranjo dos termos nas equações com vistas a explicitar a nova relação entre as grandezas. Elas aparecem mais tarde na escolarização e demandam um grande conhecimento de equações tratadas anteriormente, que muitas vezes são empregadas como o ponto de partida nas derivações. Há casos em que partes das derivações são omitidas nos livros textos, o que traz dificuldades para a aprendizagem a partir da leitura.

Os autores do texto da Figura 1.7 iniciam realizando uma substituição na Equação 26.10¹ (não mostrada na figura) e, a partir de uma série de operações sobre os símbolos, alcançam as equações para a carga no capacitor (Equação 26.12) e para a corrente (Equação 26.13). Os passos que envolvem a realização das integrais e das derivadas foram omitidos, sendo explicitados apenas os resultados finais, como se pode ver na Figura 1.7. São a esses resultados finais que o texto do livro voltará a se referir em momentos posteriores, seja em discussões no próprio corpo do texto, ou na resolução de algum exemplo de exercício.

¹ $i = \mathcal{E}/R - q/RC$

Podemos deduzir expressões gerais para a corrente i e para a carga q em função do tempo. Considerando nossa escolha do sentido positivo da corrente (Figura 26.20b), i é a taxa com a qual a carga positiva chega à placa esquerda (positiva) do capacitor; logo, $i = dq/dt$. Fazendo essa substituição na Equação 26.10, obtemos

$$\frac{dq}{dt} = \frac{\mathcal{E}}{R} - \frac{q}{RC} = -\frac{1}{RC}(q - C\mathcal{E})$$

Podemos reagrupar a expressão na forma

$$\frac{dq}{q - C\mathcal{E}} = -\frac{dt}{RC}$$

e, a seguir, integrando ambos os membros da equação, encontramos q e t' , portanto podemos usar q e t para os limites superiores. Os limites inferiores são $q' = 0$ e $t' = 0$:

$$\int_0^q \frac{dq'}{q' - C\mathcal{E}} = -\int_0^t \frac{dt'}{RC}$$

Quando fazemos a integração, obtemos

$$\ln\left(\frac{q - C\mathcal{E}}{-C\mathcal{E}}\right) = -\frac{t}{RC}$$

Tomando a função exponencial de ambos os membros da equação (ou seja, tomando a função inversa do logaritmo neperiano) e explicitando q , encontramos

$$\frac{q - C\mathcal{E}}{-C\mathcal{E}} = e^{-t/RC}$$

Circuito R-C, capacitor em carga:

$$q = C\mathcal{E}(1 - e^{-t/RC}) = Q_f(1 - e^{-t/RC}) \quad (26.12)$$

Labels: Carga do capacitor, Capacitância, Carga final do capacitor = $C\mathcal{E}$, fem da bateria, Tempo após fechamento da chave, Resistência.

A corrente instantânea i nada mais é que a derivada da Equação 26.12 em relação ao tempo:

Circuito R-C, capacitor em carga:

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{\mathcal{E}}{R}e^{-t/RC} = I_0e^{-t/RC} = \frac{\mathcal{E}}{R} \quad (26.13)$$

Labels: Corrente, fem da bateria, Tempo após fechamento da chave, Taxa de variação da carga do capacitor, Resistência, Capacitância, Corrente inicial = \mathcal{E}/R .

Figura 1.7: exemplo de derivação no livro de Young e Freedman (2015, p. 198).

Um detalhe importante ressaltado por Doran é que, nas derivações, pode ocorrer de um resultado simbólico ser interpretado com novos significados na linguagem. Um exemplo pode ser visto na Figura 1.8, em que a nova relação alcançada a partir da derivação é nomeada como a grandeza **densidade de corrente**.

Essa interação entre linguagem e Matemática também é necessária, segundo Doran (2018), porque não há uma estrutura intrínseca na Matemática que realize a metafunção interpessoal. A conclusão a que ele chegou a partir da análise de textos empíricos é que nos casos em que a Matemática se relaciona com o interlocutor ela o faz por meio da linguagem. Nas quantificações, por exemplo, é o texto verbal que orienta o leitor a substituir determinado valor em uma equação “faça $a = 2 \text{ m/s}^2$ ” ou a determinar o valor de uma grandeza “Calcule o valor de E ”.

Resumindo, portanto, as análises de Doran (2018) sobre a matemática, por meio da interação com a linguagem, cada símbolo matemático pode ser investido de significado na Física. A cada nova relação, esses termos vão formando cadeias intrincadas de significados. Por exemplo, a grandeza **aceleração** é definida como a taxa de variação da velocidade no tempo, que pode, inclusive, ser expressa pela equação algébrica mostrada na Figura 1.9. A linguagem nomeia o símbolo a como aceleração. Esse novo símbolo, investido de significado pela linguagem, pode ser relacionado a diversos outros símbolos em uma simples equação (como $F = ma$, ou $v = v_0 + at$) estabelecendo novas relações entre diversas grandezas. Dessa forma, a matemática contribui em grande medida para ampliar a densidade semântica da Física, condensando em simples relações, complexos de significados de valor muito abrangente.

$$a = \frac{dv}{dt}$$

Figura 1.9: equação algébrica que expressa a aceleração como a taxa de variação da velocidade no tempo.

Corrente, velocidade de arraste e densidade de corrente

Podemos expressar uma corrente com base na velocidade de arraste das cargas que se movem. Vamos considerar novamente a situação indicada na Figura 25.3: um condutor com seção reta de área A e um campo elétrico \vec{E} orientado da esquerda para a direita. Em princípio, suponhamos que as cargas livres do condutor sejam positivas; então a velocidade de arraste possui o mesmo sentido do campo elétrico.

Imagine que existam n partículas carregadas por unidade de volume. A grandeza n denomina-se **concentração** das partículas; sua unidade SI é m^{-3} . Suponha que todas as partículas se movam com a mesma velocidade de arraste com módulo v_a . Em um intervalo de tempo dt , cada partícula se desloca uma distância $v_a dt$. As partículas que fluem para fora da extremidade direita do cilindro sombreado de comprimento $v_a dt$ durante o tempo dt são as partículas que estavam no interior desse cilindro no início do intervalo dt . O volume do cilindro é dado por $Av_a dt$, e o número de partículas em seu interior é $nAv_a dt$. Se cada partícula possui uma carga q , a carga dQ que flui para fora da extremidade direita do cilindro durante o tempo dt é dada por

$$dQ = q(nAv_a dt) = nqv_a A dt$$

e a corrente é

$$I = \frac{dQ}{dt} = nqv_a A$$

A **densidade de corrente** J é definida como a corrente que flui por unidade de área da seção reta:

$$J = \frac{I}{A} = nqv_a$$

As unidades de densidade de corrente são ampères por metro quadrado (A/m^2).

Figura 1.8: exemplo de relação, obtida por meio de uma derivação, que recebe o nome de uma nova grandeza (Young e Freedman, 2009, p. 138).

Quando usada em derivações, a Física emprega o grande potencial combinatório da Matemática para estabelecer relações que não estavam dadas a princípio e ao fazê-lo, desenvolve novos conhecimentos no campo. Quando usada nas quantificações, a Matemática ajuda a Física a se aproximar do mundo dos objetos e eventos, na medida em que trata de exemplos cuja ocorrência empírica é possível. Isso abre a possibilidade para a Física testar suas teorias contra os dados empíricos e, principalmente, de fazer previsões sobre eventos futuros se forem conhecidas as relações específicas entre as grandezas consideradas.

Nos termos da LCT, a Matemática é uma ferramenta para reforçar a densidade semântica, por meio das derivações e da condensação de significados em um único símbolo, bem como para reforçar a gravidade semântica, por meio das quantificações. A Matemática contribui para a estrutura de conhecimento hierárquico da Física na medida em que oferece uma ferramenta para o desenvolvimento de teorias gerais, que integram um grande número de fenômenos sob um mesmo arcabouço teórico, sendo capaz de se ligar ao mundo empírico por meio de exemplos específicos de situações envolvendo o mundo dos objetos e eventos.

Usando novamente o exemplo da equação $F = ma$, nessa forma, ela se aplica a um amplo espectro de situações (um carro que parte do repouso, uma bola de futebol que recebe um chute de um jogador, a um paraquedas que reduz a velocidade de um paraquedista no ar, dentre muitos outros) sendo, portanto, muito geral. Mas quando recebe os valores da massa de um carro de 1500 kg, que experimenta uma aceleração de $2,5 \text{ m/s}^2$, ela nos informa que nesse carro atuou uma força resultante de 3750 N (valores comuns para um carro popular). Nesse caso ela se torna uma ocorrência em um caso muito particular.

Como Doran (2018) busca uma resposta à pergunta “Por que a matemática é usada na física?”, ao fim de sua abordagem ele diz que ela *é usada porque fornece ferramentas para o desenvolvimento teórico e para colocar a teoria em relação com os dados. É, portanto, um instrumento para expandir as fronteiras do conhecimento e para manter esse conhecimento em contato com o mundo empírico* (p.177).

Antes de passarmos às proposições de Doran acerca das imagens na Física, cabem algumas considerações acerca do uso da Matemática no ensino da Física. Pietrocola (2002) menciona o fato de que muitos professores de Física atribuem o insucesso da aprendizagem de seus alunos à falta de conhecimentos matemáticos. De acordo com esse autor, trata-se de uma perspectiva ingênua, que atribui à Matemática a função de instrumento para a resolução de exercícios de Física. Ao contrário, Pietrocola (2002) afirma que a Matemática é uma forma de estruturar o pensamento para se apreender o mundo,

logo, não bastaria ensinar Matemática aos alunos; seria preciso ensiná-los a pensar matematicamente nos problemas físicos (Karam e Pietrocola, 2009).

Conforme vimos, a Matemática envolve particularidades que a permitem estruturar e expandir o conhecimento da Física. Mais ainda, na Física ela parece adquirir contornos bem específicos. Dar acesso a essas particularidades demanda envolver o aprendiz em situações sociais de manipulação desse modo, de forma a orientá-lo na percepção dessas especificidades. A Matemática não significa por seus símbolos apenas, mas pelos sentidos que a eles são atribuídos.

Compreender a Matemática como forma de estruturar o pensamento sobre os fenômenos físicos e não como um conjunto de algoritmos para se resolver problemas requer uma mudança de percepção. Em última análise, uma mudança de perspectiva epistemológica sobre a posição da Matemática na Física (Pietrocola, 2002). Somente o engajamento de professores e estudantes em práticas de uso desses modos, com a atenção direcionada para essas particularidades, pode promover uma mudança nesse sentido.

1.2.3 Imagens e gráficos

Finalizando as proposições de Doran (2018), vejamos como ele aborda as imagens, lembrando que ele trata, como imagens, os diagramas e os gráficos. Inicialmente nos causou estranheza esse autor ter deixado de tratar os gráficos juntamente com a matemática, para tratá-los juntamente com as figuras. É possível que explicações para esse fato decorram da diversidade de artefatos semióticos que ele congrega sob a denominação gráficos. Como estamos fazendo uso de muitas de suas proposições, optamos por manter essa organização em nosso texto.

Segundo Doran (2018), os diagramas são comumente usados na Física para *ilustrar, exemplificar, explicar, explorar e apresentar um grande espectro de significados específicos do campo da Física* (p. 187). A Física utiliza regularmente imagens narrativas com referência a movimento. Essas imagens constroem sequências de atividades. Imagens narrativas incluem eventos e seus participantes e minimamente envolvem um vetor, que indica algum tipo de movimento ou direção (Doran, 2018; Kress e van Leeuwen, 2006). A Figura 1.10A é uma imagem narrativa, cujos participantes são a partícula positiva (que é o elemento que se move), o tubo seletor de velocidades com os campos elétrico (E) e magnético (B) e a tela. A tela é denominada de alvo (*goal*) e indica o participante em direção ao qual o movimento se dá. O vetor é indicado pela seta e pela linha pontilhada, que indicam a direção do movimento da partícula.

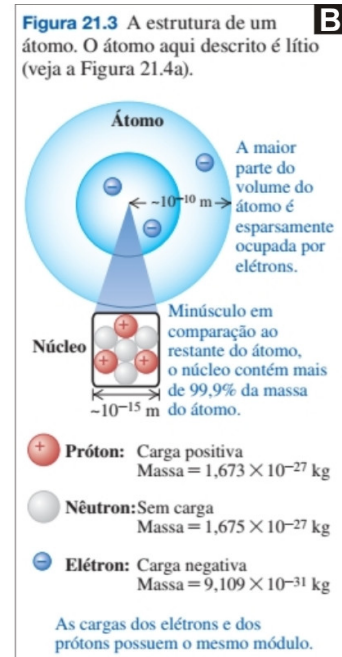
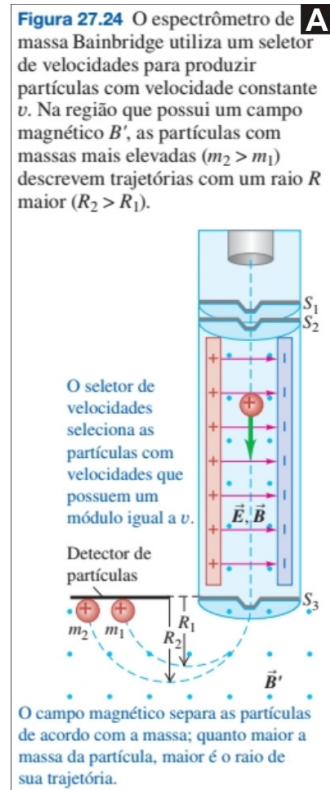


Figura 1.10: exemplo de figuras com estrutura narrativa (A) e com taxonomia de composição (B) (Young e Freedman, 2015, p. 234 (A) e p. 3 (B)).

Dada a sua potencialidade para a construção de significados topológicos (Lemke, 1998), uma mesma imagem pode, de forma imediata, exibir seqüências de atividades, bem como taxonomias de classificação e de composição. A Figura 1.10B mostra uma taxonomia de composição, onde podem ser vistos o todo (a representação do átomo) e suas partes constituintes (elétrons, nêutrons e prótons). Embora o leitor de um texto possa se deparar com todos os elementos de uma imagem de forma instantânea, atribuir sentido à imagem implica em dar sentido aos signos que a compõem (Roth et al, 2005). A linguagem verbal desempenha um papel fundamental nessa tarefa.

A presença de elementos verbais em uma figura possibilita que texto verbal e imagem compartilhem significados. Termos investidos de significados específicos da Física pela linguagem podem ajudar a significar os elementos de uma imagem, ou podem ser relacionados a outros elementos de forma a ampliar a gama de significados representados. Na Figura 1.11 os elementos verbais que aparecem na imagem também são abordados no texto verbal próximo à figura. A rede de difração foi objeto de estudo em um capítulo anterior do livro, ocasião em que seu funcionamento foi abordado. O texto verbal fornece exemplos de gases que podem estar presentes na lâmpada com gás e associa a lâmpada de filamento a uma fonte de luz incandescente.

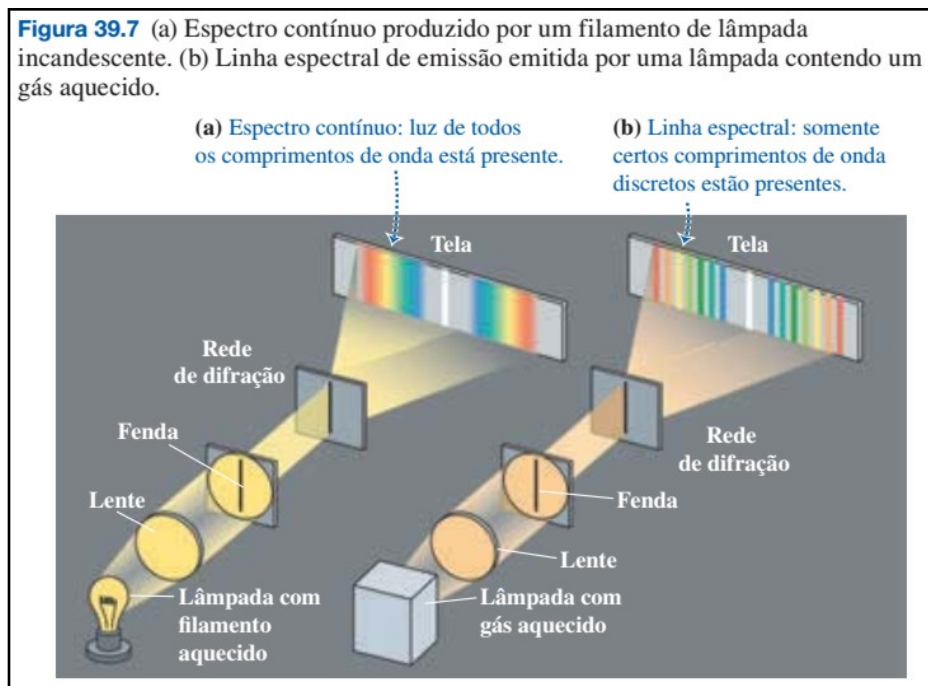


Figura 1.11: exemplo de uso conjunto de texto verbal e imagens na construção de significados (Young e Freedman, 2016, p. 239).

Com esse compartilhamento de significados com a linguagem, as imagens contribuem para aumentar a densidade semântica da Física, uma vez que apresentam muitos significados ao leitor em um simples olhar. Por meio das imagens, grandes conjuntos de ideias específicas da Física podem ser ilustrados em um pequeno trecho de discurso imagético. Compartilhando significados com a linguagem e com a Matemática, cada recurso pode utilizar suas próprias potencialidades para expandir a rede de significados que constitui a estrutura de conhecimento hierárquico da Física.

Talvez em função de seu enfoque, Doran (2018) tenha deixado de abordar uma discussão importante acerca da construção de conhecimentos a partir de modos não verbais. Quando olhamos para os livros de física as imagens nesses objetos mediadores não são apenas esquemas, mas também fotografias e desenhos que se assemelham a objetos pertencentes ao mundo vivido - denominados desenhos icônicos. Uma consideração mínima tem que ser dada a essa discussão.

Perales e Jiménez (2002) propõem uma escala de iconicidade para classificar as ilustrações em livros de Física e Química. Reproduzimos a seguir essas categorias, em que a iconicidade diminui da fotografia em direção às representações constituídas por signos normalizados.

1 – Fotografias: maior iconicidade, pois representa os elementos de forma mais próxima ao real;

- 2 – Desenho figurativo: preza pela relação orgânica, mostrando os objetos mediante a imitação da realidade;
- 3 – Desenho figurativo + signos: representam ações ou magnitudes inobserváveis em um espaço de representação misto. Uma variante dessa categoria pode conter signos normalizados, isto é, signos reconhecidos como pertencentes às ciências;
- 4 – Desenho esquemático: preza pela representação das relações, prescindindo dos detalhes contextuais específicos;
- 5 – Desenho esquemático + signos: representam ações ou magnitudes inobserváveis;
- 6 – Descrição em signos normalizados: constitui um espaço de representação homogêneo e simbólico que possui regras sintáticas específicas (p. 375 e 376).

Aplicando essas categorias à Figura 1.2 (reproduzida na Figura 1.12, a seguir) temos: em A uma fotografia, em B um desenho figurativo com signos que representam a corrente elétrica no circuito, e em C uma figura com signos normalizados.

Deslocando na Figura 1.12, da esquerda para a direita, há uma redução da gravidade semântica, na medida em que as representações se tornam mais gerais e livres de um contexto particular. Nesse caminho, perde-se de vista os referentes concretos que os símbolos representam, mas ganha-se a possibilidade de abarcar situações mais gerais com um mesmo modelo teórico.

Embora tematicamente relacionadas, as Figuras 1.12 A, B e C possuem formas de leitura e interpretação diferentes. Por esse motivo, Roth et al. (2005) sugerem que é necessário ajudar os aprendizes a transitar entre essas diferentes formas de representação, principalmente em movimentos na direção da Figura 1.12C, que exige do leitor um maior conhecimento do código simbólico utilizado (Perales e Jiménez, 2002).

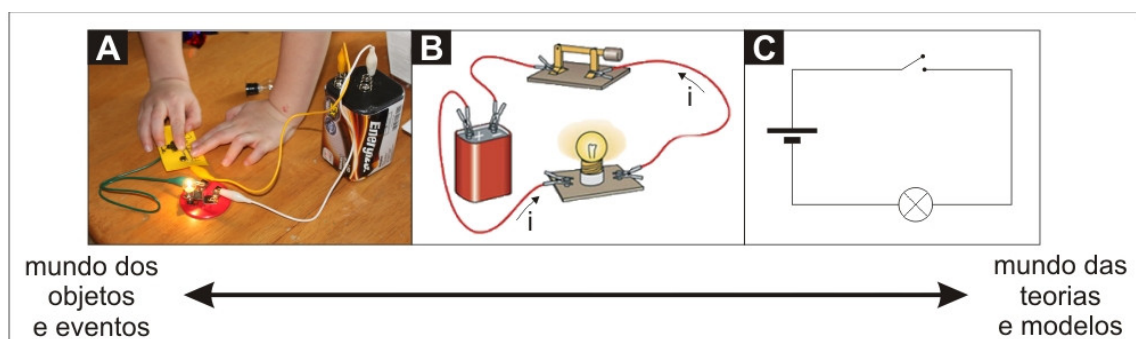


Figura 1.12: posicionamento das diferentes representações de um circuito com respeito ao mundo dos objetos e eventos e ao mundo das teorias e modelos. Fonte: vide Figura 1.2.

Diferentemente do uso das imagens na Física, os gráficos são regularmente usados para registrar medições, ilustrar padrões e explicitar inter-relações entre significados

específicos (Doran, 2018). Em sua abordagem, esse autor trata sob a designação “gráfico” diferentes construções que envolvem um conjunto de valores sobre um eixo.

Os gráficos podem assumir formatos muito variados e cada um deles atenderá melhor certas demandas de comunicação. Gráficos de linha, por exemplo, são bastante adequados para representar tendências de co-variação entre duas grandezas x e y . Os gráficos de barra, por outro lado, são melhores para proporcionar comparações entre valores discretos e os de pizza para representar proporções relativas (Shah e Hoeffner, 2002). Doran (2018) afirma que o mais comum na Física é o gráfico cartesiano, que apresenta dois eixos sobre os quais são representadas as grandezas. O ponto central defendido por Doran é que os gráficos organizam a informação por meio de conjuntos de dados (*arrays*) representados ao longo de uma ou mais dimensões.

Segundo Doran (2018) o gráfico mais simples apresenta uma única dimensão, onde o conjunto de dados se estende por um único eixo. Embora pouco comum, é possível encontrar esse tipo de gráfico nos livros didáticos (veja a Figura 1.13). Nesse gráfico as barras representam as linhas de emissão do hidrogênio, organizadas ao longo de uma escala de comprimentos de onda. O posicionamento das barras em posições específicas revela a existência de uma escala contínua de uma ponta à outra (mesmo que ela não esteja desenhada). Devido à facilidade que as representações visuais têm para comunicar significados topológicos, os gráficos podem representar conjuntos de dados com graus infinitamente pequenos de gradação. Essa característica parece ser um dos fatores que explicam a potencialidade dos gráficos para exibirem a covariação contínua de duas grandezas (Lemke, 1998).

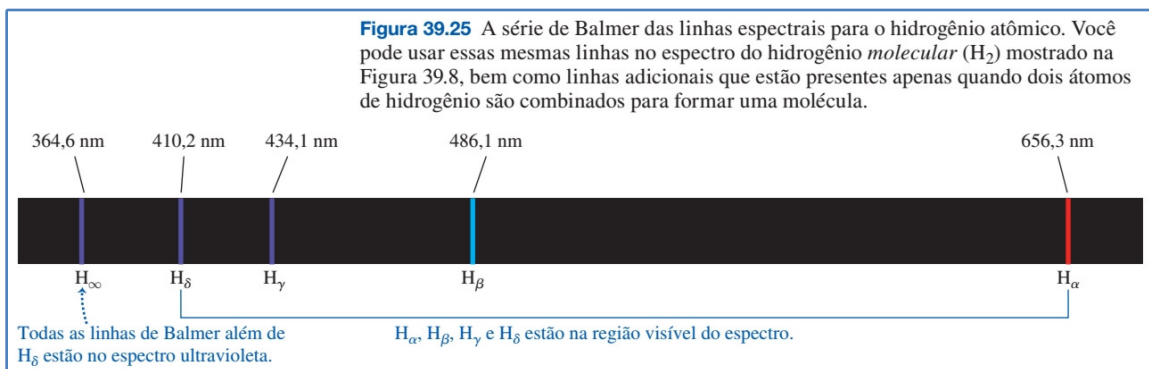


Figura 1.13: exemplo de array unidimensional (Young e Freedman, 2016, p. 252).

Na Física os gráficos cartesianos são muito utilizados para tratar da covariação entre duas grandezas. Uma parte importante da construção do conhecimento da física, e da comunicação desse conhecimento, envolve conhecer como determinada grandeza se comporta em relação a outra. Embora esses dados possam ser obtidos a partir de uma tabela de dados de medidas, sua representação na forma de um gráfico cartesiano exibe a

relação de forma instantânea (a compreensão da relação não é instantânea para um não iniciado, mas a exibição visual da relação sim; todo o conjunto de signos visuais está prontamente disponível aos olhos do leitor). Acompanhar o comportamento da variação com base em uma tabela de dados envolve comparar valores anteriores e posteriores das duas grandezas. Em um gráfico cartesiano, a curva expressa esse comportamento.

Apesar de extremamente útil, como se pode perceber pelo seu amplo uso, O'Halloran (2005) nos lembra que a compreensão de um gráfico é um processo sofisticado, que requer o conhecimento dos códigos de representação dos gráficos, do simbolismo matemático e da linguagem. Para esse autor, elementos como o título do gráfico, sua legenda, grandezas e unidades representadas nos eixos, equação matemática subjacente à curva e o texto verbal em torno do gráfico são elementos essenciais para sua leitura e interpretação. A Figura 1.14 mostra dois gráficos com alguns desses elementos.

A experiência do leitor com esse tipo de representação ao longo de seu processo de escolarização o coloca diante de um gráfico, isto é, o posiciona diante desse modo semiótico como algo que comunica uma relação entre grandezas. A percepção dessa forma convencional de representar a posição dos eixos, as legendas e as unidades, não é dada pelo gráfico, mas pela imersão em práticas de leitura e interpretação desse modo. Os símbolos e os textos verbais presentes junto ao gráfico, mencionados também pelo texto verbal em torno da figura, situam o leitor a respeito do tema e o ajudam a atribuir significados ao que está representado. As letras V e I são símbolos que representam grandezas físicas investidas de significados pelo texto verbal.

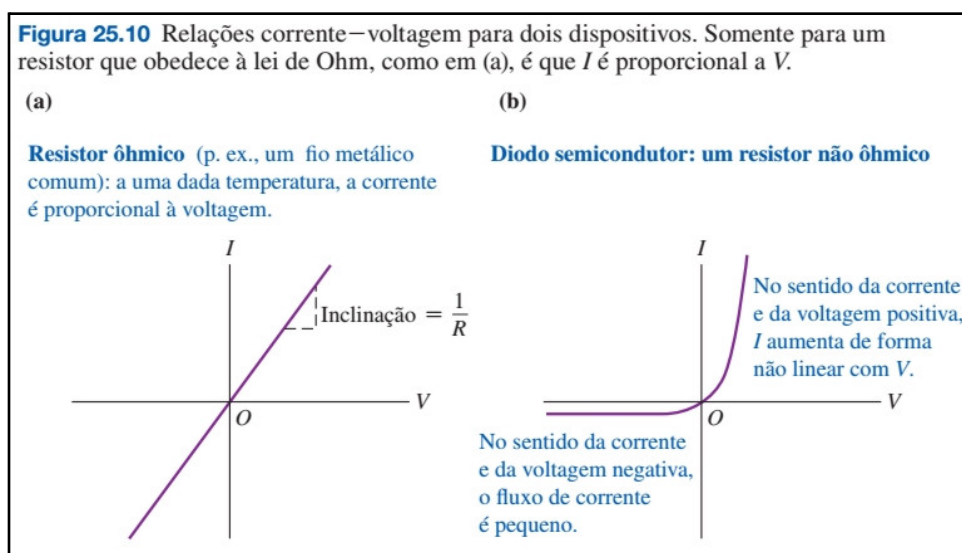


Figura 1.14: exemplos de gráficos cartesianos (Young e Freedman, 2016c, p. 155).

A curva é o elemento que representa a relação entre as grandezas e, por isso, nos livros coloridos, costuma ser representada em uma cor diferente dos eixos, como forma de

atrair a atenção para o que deve ser percebido. Recursos como cor, tamanho da fonte, espessura da linha, dentre outros, são formas de atrair a atenção do leitor para determinados elementos. Ao tratar sobre esses modos, O'Halloran (2005) afirma que a "arte" de apresentar informações está em tornar evidentes certas partes do gráfico, de modo que o olhar do leitor seja direcionado a elas (p. 141). Esses recursos são usados pelo produtor do signo para colocar em relação o leitor e o modo.

Com base no gráfico cartesiano mostrado na Figura 1.15, Doran (2018) argumenta que esse modo possui recursos que permitem movimentos tanto de conhecimentos gerais para específicos quanto no sentido oposto, possibilitando variações na gravidade semântica. Nesse gráfico estão representados os pontos de medidas da intensidade da radiação solar no topo da atmosfera (amarelo), no nível do mar (vermelho), e também uma curva teórica denominada radiação de corpo negro a 5250°C (linha preta contínua). Para Doran, essas representações conjuntas permitem que o leitor se mova dos dados empíricos em direção ao modelo teórico, dada a correspondência entre as curvas teórica e dos dados experimentais, constituindo um modo que permite a generalização a partir do empírico. Mas o movimento oposto também pode ser realizado. A partir da curva teórica pode-se chegar aos dados empíricos, sendo esses uma ocorrência particular daquele.

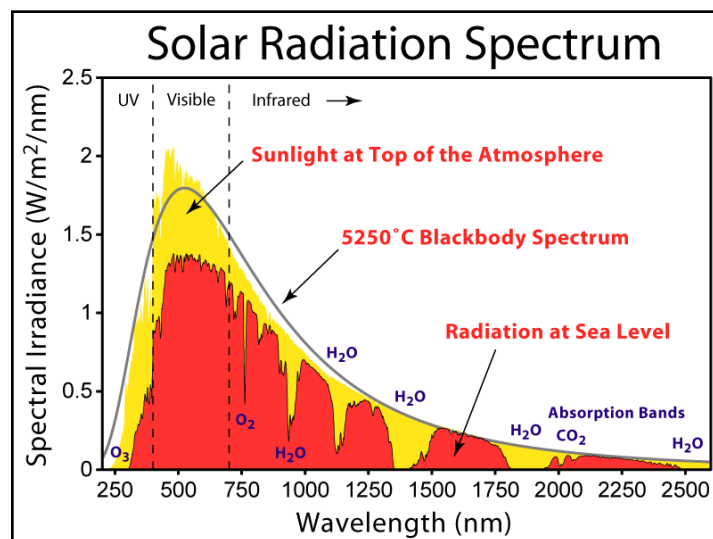


Figura 1.15: curva teórica da radiação de um corpo negro a 5250°C sobreposta às curvas da radiação solar no alto da atmosfera e ao nível do mar. Fonte: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Solar_Spectrum.png.

Quando os gráficos são associados a elementos imagéticos, verbais e matemáticos, como na Figura 1.16, aumenta a gama de significados que podem ser construídos com esses recursos. Determinadas condições de pressão e volume, discutidas com base no modelo corpuscular da matéria, são associados à curva do gráfico, cuja relação é descrita por uma equação algébrica. Significados que foram abordados em momentos distintos de

forma separada, agora são vistos como perspectivas particulares de um mesmo fenômeno. Dessa forma os gráficos também podem contribuir para ampliar muito a densidade semântica da Física.

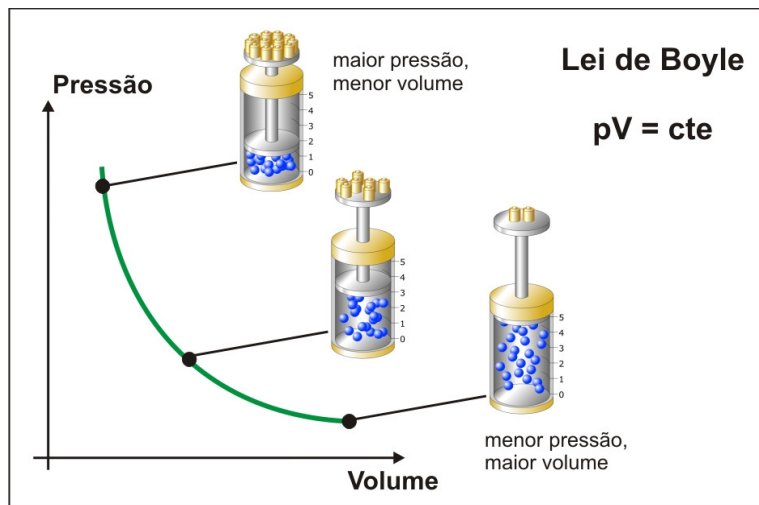


Figura 1.16: exemplo de gráfico associado a imagens, textos verbais e equação algébrica. Figura inspirada em Usberco e Salvador (2009).

Portanto, em termos da LCT, os gráficos constituem elementos que reforçam a densidade semântica da Física e possibilitam movimentos de situações empíricas para modelos gerais, bem como o movimento oposto, constituindo um modo que pode contribuir tanto para aumentar, quanto para diminuir, a gravidade semântica. Com esses últimos movimentos os gráficos complementam as quantificações matemáticas, que só se movem do geral para o específico. Por fim, os gráficos podem ter seus significados ampliados pela interação com elementos imagéticos, com a matemática e com as imagens, possibilitando que os significados desenvolvidos em um modo sejam expandidos em outro.

A descrição rica e detalhada de Doran (2018) nos ajuda a compreender as especificidades de elementos dos modos texto verbal, matemática, diagrama e gráfico, que os tornam tão úteis e indispensáveis na construção e na organização do conhecimento da Física. Contudo, uma questão relevante que se coloca frente a essas discussões é como ajudar o leitor de um texto multimodal de Física a perceber os diversos significados comunicados por cada modo, e pela conjunção dos modos, como uma unidade completa de significado.

Como mostrou Doran, a utilização conjunta dos diferentes modos é benéfica e necessária à Física, mas a presença de um modo afeta a forma como os demais são utilizados (Moro et al, 2015) e produz novos significados que não seriam possíveis se os diversos modos não estivessem presentes (Lemke, 1998; Moro et al, 2018). Se por um lado a utilização de vários modos contribui para a organização e o desenvolvimento do

conhecimento na Física, por outro ela aumenta o trabalho semiótico a ser realizado pelo interlocutor (Kress, 2003), pois informações advindas de vários modos precisam ser integradas em um todo coerente. Realizar essa tarefa em um texto multimodal implica em trilhar um caminho de leitura que contribua para a integração das informações comunicadas pelos diferentes modos de forma coerente.

1.3 O caminho de leitura em textos multimodais

O caminho de leitura (Kress, 2003; Kress e van Leeuwen, 2006) refere-se à rota seguida pelo leitor em um texto, seja ele mono ou multimodal. Para Baldry e Thibault (2006) um *caminho de leitura é uma maneira preferencial de integrar a atividade de escaneamento visual com os significados potenciais que podem emergir da página* (p. 105). Essa última fala parece ressaltar o aspecto dialógico da produção de um texto, uma vez que o produtor do signo tem a possibilidade de indicar esse caminho preferencial, considerando, dentre outras coisas, aspectos da audiência à qual seu texto se destina. Por exemplo, se concebe seu leitor como alguém já experimentado na Física escolar, pode optar por omitir certos passos de uma derivação matemática. Por outro lado, se o concebe como um aprendiz, pode optar por detalhar certos passos e informações.

Diversos elementos podem ser empregados para indicar um caminho de leitura. Por exemplo, em um texto puramente verbal, a própria organização da escrita ocidental define um caminho de leitura: da esquerda para a direita e de cima para baixo, palavra após palavra, se o leitor deseja atribuir sentido ao texto (veja a Figura 1.17A). O leitor até tem a possibilidade de pular palavras, ou ler em uma ordem diferente, uma vez que todas as palavras já se encontram disponíveis na página, pois a escrita compartilha essa característica com os modos dominados pela lógica do espaço, mas isso implica em falha na compreensão ou maior dificuldade em atribuir sentido ao texto.

Embora mais abertos, as imagens também podem indicar possíveis caminhos de leitura. Kress e Van Leeuwen (2006) afirmam que o posicionamento de elementos no centro ou na margem de uma figura, a utilização de recursos como cor, tamanho e forma, o posicionamento em primeiro ou segundo plano, são maneiras de atrair a atenção do leitor para esse elemento, indicando, dessa forma, um possível direcionamento do caminho de leitura.

A importância de pensar sobre o caminho de leitura pode ser concebida a partir da seguinte fala de Kress (2003):

O caminho da leitura fornece mais do que apenas uma espécie de corda ou trilho guia ao longo de um caminho difícil; marca a linha ao longo da qual um texto deve ser lido

"corretamente". Eu dou exemplos que mostram que seguir diferentes caminhos de leitura é construir leituras profundamente diferentes, epistemologicamente falando (p. 39).

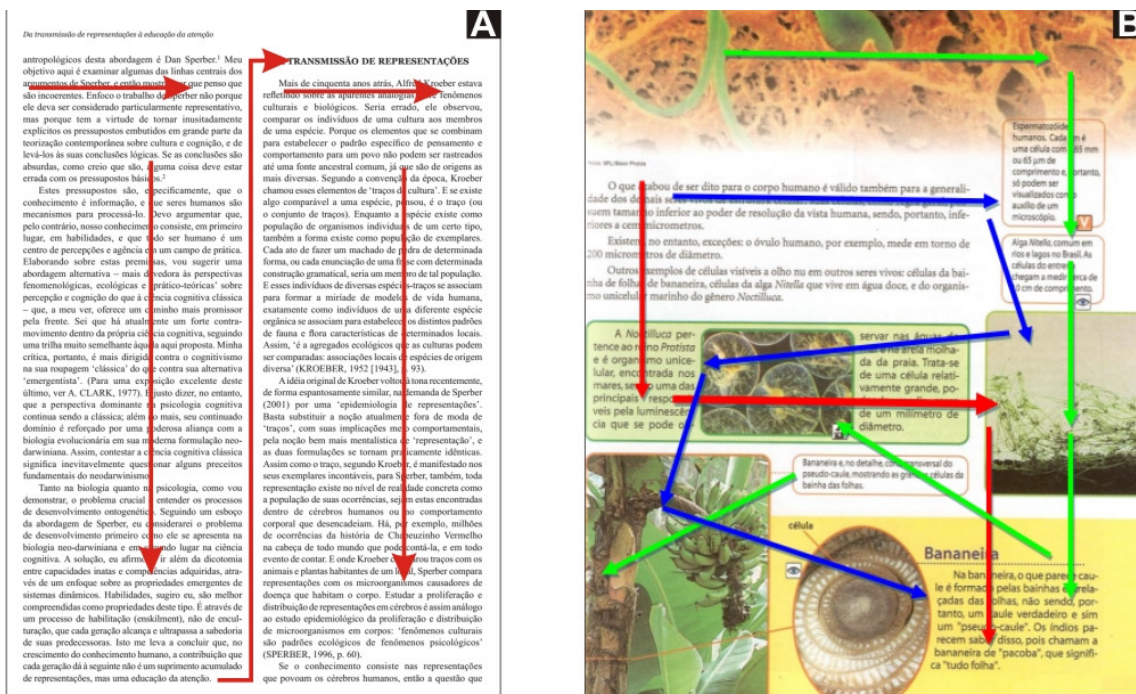


Figura 1.17: caminhos de leitura em um texto monomodal (A) e em um texto multimodal (B - Lopes, 2010, p. 51).

Para Kress e van Leeuwen (2006) a escolha por um caminho de leitura, ou outro, pode trazer consigo algum significado. Se o caminho de leitura é circular, afirmam eles, isso significa um movimento para fora da mensagem que forma o coração do universo cultural. Suponho que aqui eles se refiram à forma como às vezes lemos uma notícia de jornal, partindo de uma manchete central na página, que atrai nossa atenção, para as notícias menores, situadas em torno dessa, na página. Por outro lado, uma leitura vertical pode indicar um senso de hierarquia, do mais importante para o menos, ou do geral para o específico. Nesse sentido, a experiência epistemológica do leitor com a leitura seria de fato muito diferente entre um caso e outro.

Na citação acima Kress (2003) coloca a palavra "corretamente" entre aspas, no sentido de reforçar a relatividade do que deve ser considerado como uma leitura correta. No entanto, considerando a Física como uma área que mantém relações epistêmicas muito fortes com seu objeto de conhecimento (Doran, 2018), é sensato considerar que deve haver uma forma mais apropriada de integrar os modos comumente utilizados por ela na construção de seu conhecimento. Essa questão nos parece mais relevante quando pensamos nos textos didáticos multimodais. Se nas figuras o caminho de leitura é mais

aberto, muito mais em um texto multimodal. Para Lopes (2010), a leitura de um texto multimodal de Biologia poderia assumir, em princípio, caminhos muito distintos, conforme mostra a Figura 1.17B. Nessa figura cada caminho, desenhado por um conjunto de setas de determinada cor, indica um possível caminho de leitura do texto. É possível ainda, ter algum caminho que seja uma mistura desses apontados na figura.

Caminhos de leitura como os mostrados na Figura 1.17B se assemelham à proposta de Baldry e Thibault (2006), que sugerem uma forma de descrever esse processo de leitura descontínuo pelo uso do termo salto em blocos (*duster hopping*). Essa noção está baseada no fato de que em um texto multimodal os diferentes modos constituem blocos, sejam eles verbais ou não verbais. Esses blocos formam o texto e podem ser acessados pelo leitor pulando de um para o outro, seguindo seu caminho de leitura particular. Para esses autores, o texto multimodal é uma espécie de precursor do hipertexto, que oferece liberdade ao leitor para que ele escolha múltiplos caminhos de leitura e estabeleça múltiplas relações entre diferentes partes do texto.

Encontramos uma posição parecida no trabalho de Kress (2003) quando ele trata das possíveis formas de leitura de textos multimodais. Esse autor propõe que o leitor, ao se deparar com uma página composta por múltiplos modos, realiza um escaneamento modal (*modal scanning*) da página. Esse escaneamento fornece ao leitor uma percepção geral dos modos e condições para tomar uma decisão sobre o caminho a ser trilhado. Se ele julga que todos os modos possuem igual importância no texto, não há uma ordem preferencial de leitura, por outro lado, se um modo se destaca pelas suas características intrínsecas ou pela experiência cultural do leitor com ele, pode ser que ele seja visto como a porta de entrada no texto. Dessa forma, o leitor pode definir qual caminho de leitura irá seguir. O que Kress (2003) procura deixar claro é que a leitura deve envolver todos os modos, afinal, em um texto multimodal, os significados não emergem de um modo apenas, mas do uso conjunto.

Quando olhamos criticamente para essas propostas elas nos parecem bastante plausíveis. Considerando que nos modos dominados pela lógica visual, como aqueles presentes na página de um livro, todos os elementos se apresentam ao leitor no momento em que ele os vê, é possível que alguns mais chamativos, como as fotografias e os infográficos coloridos, atraiam mais a atenção do leitor. Ou então, um estudante que tenha muita afinidade com a Matemática direcione seu olhar imediatamente para um gráfico presente na página. Há, contudo, um aspecto que precisa ser considerado a respeito das proposições desses autores.

As análises de Baldry e Thibault (2006), que dão origem a seu modelo de leitura, se apoiam em um folheto de transporte de Londres e Kress (2003) utiliza um texto de um livro de Ciências para alunos de 13-14 anos, de 1988. Nos dois casos não há, nos textos analisados, referências que conectam os textos verbais aos modos não verbais (ou um

modo visual a outro). Mesmo no livro de Ciências analisado por Kress (2003) não há uma única referência no texto às imagens presentes na página (4 desenhos de circuitos elétricos e um desenho de um transistor). O texto do livro é multimodal porque possui mais de um modo, mas ele deve ser lido de cima para baixo e da esquerda para a direita. Não há um esforço dos autores em direcionar o olhar do leitor para elementos das figuras. Quando o leitor finaliza um bloco de texto, então deve ler a figura que segue naturalmente a direção de cima para baixo. Dessa forma, o texto parece mesmo blocos isolados, ainda que tematicamente relacionados.

Diferentemente dos textos nesses exemplos, nos livros didáticos para o Ensino Superior que analisamos, há sempre referências no texto verbal aos modos não verbais. Em alguns casos, mais de uma referência. O que queremos destacar é que, nos livros que analisamos, há, de certo modo, um esforço dos autores em direcionar a leitura, em vez de deixar totalmente a cargo do leitor que o faça. Considerando o fato de que os livros didáticos de Física são destinados, primeiramente, a estudantes em fase de enculturação nas práticas da ciência escolar e que o significado de um texto multimodal emerge da orquestração dos múltiplos modos, supomos que deixar a cargo do leitor o trabalho de orquestrar esses diferentes modos pode ser problemático, no sentido de dificultar a aprendizagem.

Em nosso ponto de vista, ao desenhar um caminho de leitura explícito, em vez de deixar que o leitor salte aleatoriamente entre um modo e outro, o texto contribui para ajudar o leitor a percebê-lo como um conjunto de informações distintas (vários modos que representam perspectivas diferentes acerca de um conceito), mas que compõem uma unidade de sentido. Naturalmente, a definição de um caminho de leitura pelo produtor do signo não implica que o leitor vá segui-lo, mas constitui uma espécie de compromisso para auxiliar o leitor em fase de aprendizado. Ao empregar esse tipo de estratégia, o texto direciona o olhar do leitor para certos pontos específicos da página, de modo a levá-lo a se atentar para um detalhe de um desenho, para os símbolos de uma equação ou para o aspecto da curva de um gráfico. Procedendo dessa maneira, o texto contribui para educar a atenção do leitor, auxiliando-o na tarefa de integrar os diferentes modos de uma forma coerente, assim como fazem os especialistas que produzem e colocam em circulação tais textos.

1.4 A educação da atenção e a leitura de textos multimodais

O termo educação da atenção, inicialmente empregado pelo psicólogo James Gibson, é usado por Tim Ingold para tratar da questão do aprendizado das novas gerações. Ingold busca explicar como uma geração contribui para a cognoscibilidade da geração seguinte. Para ele, isso não ocorre por meio da transmissão de informações ou

representações, mas sim, pela educação da atenção dos novatos, pelas mãos mais experientes dos especialistas.

Para negar que haja algo como a transmissão de representações de uma mente a outra, no aprendizado de tarefas práticas, Ingold (2001, 2008) critica algumas teses da Biologia evolutiva, da Ciência cognitiva e da Teoria cultural. As abordagens fornecidas por essas três áreas constituem o que ele chama de tese da complementaridade, segundo a qual, o homem é tomado como a soma de três partes complementares: o corpo, a mente e a cultura.

Na Biologia evolutiva, Ingold (2008) critica a ideia de que poderia haver a evolução da espécie pela atuação da seleção natural sobre os genes, isoladamente da evolução do indivíduo no mundo; como se fosse possível falar do organismo sem considerar o corpo interagindo com o ambiente externo. Outro ponto forte da crítica de Ingold é quanto à possibilidade de haver, codificadas nos genes, informações referentes à constituição de universais humanos, como por exemplo, um dispositivo inato para andar sobre dois pés ou para a aquisição da linguagem. Esse último ponto está em íntima conexão com a crítica à Ciência cognitiva.

Ingold (2008) critica fortemente a possibilidade de haver um padrão para a estrutura da mente, cujo surgimento possa se dar de forma independente do contexto. A crítica à Ciência cognitiva é direcionada à possibilidade de haver estruturas, como mecanismos cognitivos ou dispositivos de processamento, capazes de lidar com as informações recebidas pelos órgãos sensoriais. O problema que Ingold vê aqui é que para que fosse possível haver transmissão cultural, fragmentos de DNA deveriam se tornar módulos de processamento de informação a fim de possibilitar à criança os primeiros aprendizados. Uma vez que deveriam estar formados no cérebro da criança desde cedo, tais modos deveriam ser transmitidos por uma codificação nos genes.

Por fim, quanto à teoria cultural, Ingold (2008) se opõe ao fato de que possa haver uma noção de cultura, concebida como um *corpus* de conhecimento ou informação, que pode se transmitir através das gerações, sem depender das situações de sua aplicação prática no mundo (p. 10), como se a informação transmitida culturalmente contivesse uma especificação para o comportamento do organismo-pessoa independente do contexto. Ingold (2000) utiliza o termo “organismo-pessoa” para evidenciar sua concepção do ser humano como um ser biológico e cultural, indivisível nessas duas dimensões, que se relaciona, no mundo em que vive, com outros humanos, com seres não humanos e com objetos

Embora Ingold critique pontos específicos em áreas bastante distintas – Biologia, Psicologia e Antropologia – elas apresentam uma premissa fundamental comum: o fato de que as formas corpóreas, as capacidades intelectuais e as formas de conduta dos seres

humanos se especificam independentemente, e são prévias a sua implicação em contextos práticos da atividade ambiental (Ingold, 2008). O contraponto apresentado por ele à tese da complementaridade parte da Biologia do desenvolvimento, da Psicologia ecológica e da teoria Antropológica da prática.

Pelo enfoque da Biologia do desenvolvimento não se pode atribuir as formas e as capacidades humanas puramente à herança genética. O organismo-pessoa está imerso em um intrincado conjunto de relações com outros seres e objetos. As potencialidades para o desenvolvimento, portanto, emergem da presença dos genes em um ambiente concreto. Nesse ambiente os seres humanos organizam as condições tanto para seu próprio desenvolvimento como para o desenvolvimento dos outros com que se relacionam, sendo, dessa forma, tanto produtores quanto produto de sua própria evolução (Ingold, 2008).

Ingold afirma que os teóricos da Psicologia ecológica não aceitam a ideia de que a aquisição de conhecimentos pelos indivíduos se dá pelo processamento, pela mente, dos estímulos enviados pelos órgãos sensoriais. Essa visão *separa de modo artificial a atividade da mente no corpo da reatividade do corpo no mundo* (Ingold, 2008, p. 22). Ao contrário, uma abordagem ecológica assume a participação ativa do organismo-pessoa nas tarefas práticas da vida. Os seres humanos conhecem e apreendem o mundo de forma direta, por meio de suas interações com outros seres e com os objetos, e não representando-o na mente. Isso resulta que o significado construído não é dado pelo trabalho da mente sobre a informação sensorial recebida, mas é o que se gera de maneira contínua pela interação prática das pessoas com o mundo à sua volta.

Por fim, Ingold se apoia na teoria antropológica da prática como forma de argumentar que o homem não deve ser visto como uma espécie de recipiente, onde se possa verter o conteúdo social ou cultural, como conjuntos de regras ou representações independentes de suas aplicações em contextos práticos. Ao contrário, uma teoria da prática sustenta que é por meio da inserção em situações concretas que ocorrem as trocas entre vivos e não-vivos. É pela vivência no mundo que o corpo experimenta processos de crescimento e envelhecimento, desenvolve certas capacidades e experimenta algumas debilidades, que se inserem em sua constituição, incluindo sua neurologia, musculatura e anatomia (Ingold, 2008, p. 24).

Esses três elementos da crítica de Ingold, fortemente fundados na prática, isto é, na experiência do organismo-pessoa no ambiente, o leva a propor a tese de que uma geração contribui para a cognoscibilidade da geração seguinte não por meio da transmissão de representações, mas pela educação da atenção dos aprendizes.

Ingold (2008) é radical ao propor que absolutamente nada se transmite, no sentido de que não é possível transpor um conjunto de representações de uma mente à outra; o aprendizado é um redescobrimto guiado. Para ele o iniciante aprende copiando as

atividades de pessoas mais experientes. Ingold ressalta, no entanto, que copiar não é fazer a transcrição automática de conteúdo mental de uma cabeça para outra, mas é, em vez disso, uma questão de seguir o que outras pessoas fazem. O iniciante olha, sente, ouve, percebe os movimentos do especialista e procura, através de tentativas repetidas, igualar seus próprios movimentos corporais àqueles de sua atenção, a fim de alcançar uma espécie de sintonia (Ingold, 2001).

Ingold procura respaldar suas afirmações descrevendo a forma como certos profissionais são iniciados em suas práticas. Um dos exemplos é o de um caçador iniciante que adentra a floresta guiado por um caçador mais experiente (Ingold, 2000). À medida que caminham pela floresta, o iniciante é instruído sobre o que procurar, e sua atenção é direcionada a pistas sutis que ele poderia não notar, de modo que ele possa desenvolver uma consciência perceptiva sofisticada daquela porção do mundo onde se encontra. Nesse sentido, o papel do experiente é mostrar o mundo para o novato. Para Ingold (2010),

mostrar alguma coisa a alguém é fazer esta coisa se tornar presente para esta pessoa, de modo que ela possa apreendê-la diretamente, seja dhand, ouvindo ou sentindo. Aqui, o papel do tutor é criar situações nas quais o iniciante é instruído a cuidar especialmente deste ou daquele aspecto do que pode ser visto, tocado ou ouvido, para poder assim 'pegar o jeito' da coisa. Aprender, neste sentido, é equivalente a uma 'educação da atenção'. (pág. 21)

Há, portanto, dois pontos essenciais nessa proposição de Ingold que nos parecem proveitosos em nossa discussão. O primeiro é a necessidade de uma inserção no ambiente da prática, sem a qual o aprendiz não pode estabelecer uma sintonia perceptiva fina com o ambiente e as alterações que nele ocorrem. Essa forma de percepção é, como vimos com Ingold, culturalmente mediada e situada. Roth et al. (2005) argumentam que muitas vezes as dificuldades dos estudantes em lidar com certos modos de comunicação não se devem a deficiências cognitivas, mas à falta de compartilhamento das práticas sociais de produzir e ler esses modos. Para que isso ocorra, tem que haver um espaço apropriado, um contexto adequado.

Edwards e Mercer (1987) argumentam que, geralmente, pensamos o contexto apenas como algo concreto e determinável (falas e textos, ações, gestos e situações ambientais). Segundo ele, essa é uma visão de fora. Para os participantes envolvidos em um ato comunicativo, o contexto de uma enunciação é muito mais uma questão de percepção e memória. O que importa é o que os participantes na comunicação compreendem e percebem como relevante (p. 66). O ponto que parece emergir aqui é que o contexto, só se torna contexto, se ambos compartilham suas percepções acerca de algo que julgam relevante para o ato comunicativo.

Nessa percepção têm papel importante os conhecimentos novos trazidos pelo experiente, mas também os conhecimentos do estudante que o permitam estabelecer relações com os conhecimentos novos. Não se pode assumir, a priori, que o estudante possui todas as capacidades necessárias para se apropriar de determinado modo. Conforme nos lembra O'Halloran (2005), enquanto a linguagem é usada como um recurso funcional por um grupo muito grande de pessoas, a Matemática fica restrita a um grupo muito menor, possivelmente pela falta de acesso à gramática do simbolismo matemático. Levar o aprendiz a perceber a Matemática, ou os outros modos, da forma como o fazem os especialistas, requer o ato de mostrar, no sentido de tornar evidente, de educar a atenção. Isso nos leva ao segundo ponto acerca das proposições de Ingold.

Ingold argumenta que a mão mais experiente não tem por objetivo transmitir representações ao novato, mas sim, educar sua atenção para que ele desenvolva essa percepção apropriada do ambiente e das ações que se dão nesse ambiente entre seres humanos e outros seres vivos e não vivos. De forma semelhante, transpondo para o nosso caso, os distintos modos não devem ser tomados como naturais, cuja leitura é transparente aos estudantes. Ao contrário, precisam ser tematizados, para que o estudante perceba que comunicam significados de uma forma específica.

Já experimentamos situações de ensino em que isso se mostra de forma muito evidente. Em uma atividade da disciplina Física Experimental, os alunos foram solicitados a realizar medidas de tensão e corrente a fim de caracterizar um resistor comercial e uma lâmpada. Com base nas medidas realizadas eles construíram os gráficos, semelhantes aos da Figura 1.18 (A – resistor; B – lâmpada). Quando solicitados a explicar o significado das diferentes curvas obtidas, poucos estudantes foram capazes de se manifestar. Se não compreendem o que significa a diferença na curva, muito menos serão capazes de explicar o comportamento físico do componente que gera essa diferença.

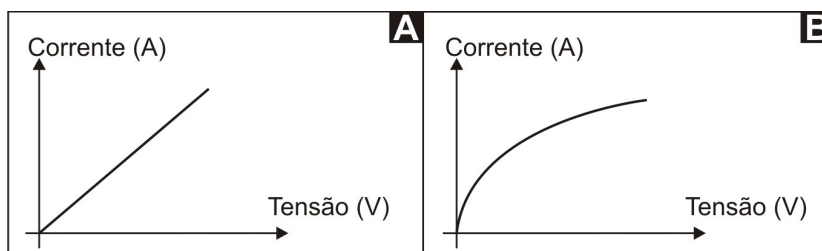


Figura 1.18: gráficos que mostram o comportamento da corrente em função da tensão para um resistor comercial (A) e para uma lâmpada incandescente (B).

O que queremos explicitar com o exemplo do parágrafo anterior é que não basta dar ao estudante a oportunidade de manipular o modo. Isso foi feito na atividade experimental citada como exemplo, tanto que todos os alunos chegaram ao gráfico. Mas o significado da

curva do gráfico vai além. Envolve a percepção da curva como resultado de dois pares de pontos que se relacionam pelo modelo matemático que subjaz o experimento ($V = Ri$). Nesse episódio foi necessária a nossa intervenção utilizando os dados da tabela, a equação e o gráfico, para construirmos a noção de que o gráfico 2 indica uma diminuição da resistência elétrica. Somente a partir daí pudemos chegar à causa dessa diminuição: o aumento de temperatura do filamento da lâmpada quando ela começou a emitir luz.

Tematizar um modo é levar o estudante a percebê-lo diante de si. Quando o texto verbal sinaliza para o estudante que perceba um símbolo específico de uma equação, ou se atente para uma forma particular da curva de um gráfico, ou mesmo se atente para um ou outro elemento de uma figura, o autor está educando a atenção do aluno para uma forma apropriada de interagir com aquele modo. Ele está sugerindo para o estudante a que se atentar quando diante daquele modo, afinal, há regras e elementos que restringem e situam as possibilidades de leitura e interpretação que precisam ser seguidas, pois os modos possuem sua gramática particular.

O ponto que nos parece importante aqui é que o autor do texto, no papel da mão mais experiente, deve conduzir o aprendiz ao longo da leitura, auxiliando-o a se atentar aos aspectos importantes que devem ser considerados na leitura, indicando um caminho de leitura que privilegie a integração adequada dos diferentes modos semióticos empregados no texto.

Capítulo 2 – Metodologia

Neste capítulo apresentamos as escolhas metodológicas adotadas na realização desta investigação. Nas páginas que se seguem descrevemos em detalhes os procedimentos que seguimos na seleção do texto empírico de leitura, no convite aos participantes, na definição dos instrumentos de coleta e na forma como estamos utilizando os dados produzidos pelo *eye-tracking* (o rastreamento ocular). A Figura 2.1 oferece ao leitor um panorama geral sobre todos os procedimentos metodológicos adotados para a realização dessa pesquisa.

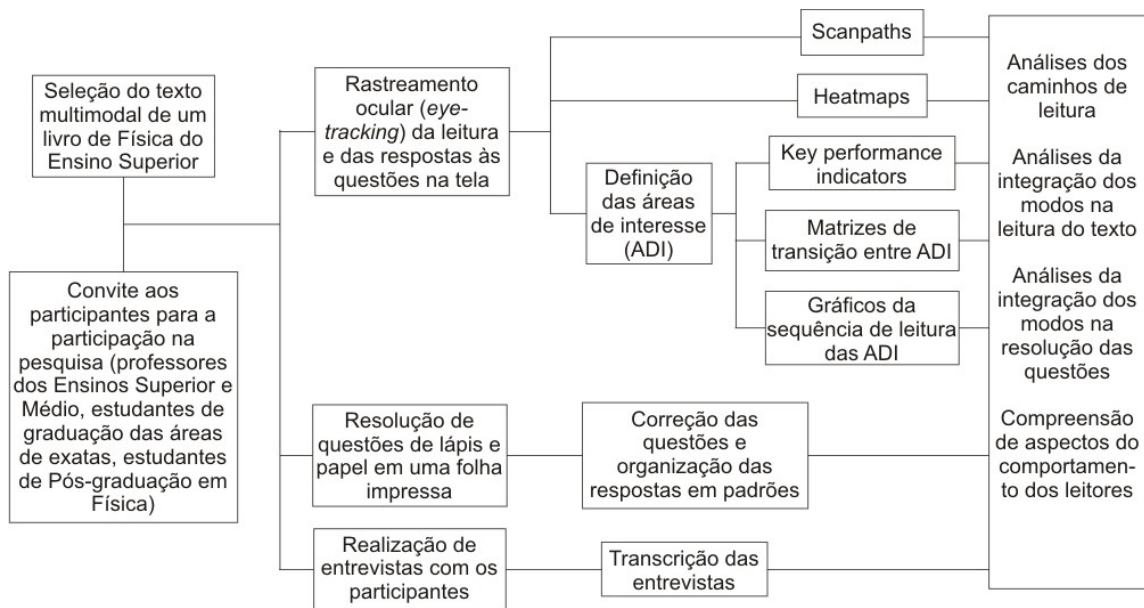


Figura 2.1: Panorama da metodologia empregada na pesquisa.

2.1 O material de leitura e os participantes

Retomando brevemente nosso objetivo geral, desejamos caracterizar as formas pelas quais os leitores de livros didáticos de Física destinados ao Ensino Superior interagem com esses textos. Como nosso foco de interesse está centrado no caminho de leitura e nas integrações entre os diferentes modos, nossa primeira escolha metodológica foi selecionar um texto prototipicamente multimodal, que nos permitisse estudar as movimentações entre os vários modos.

Iniciamos nosso trabalho avaliando algumas coleções de livros didáticos de Física para o Ensino Superior de nosso acervo particular. Observamos que todas as seções dos capítulos traziam textos onde eram empregados múltiplos modos. Esse fato não nos era

estranho, pois conforme ficou evidente pelos trabalhos de Lemke (1998) e Doran (2018), tanto a Física, enquanto área de conhecimento, quanto a Física, enquanto disciplina escolar, se estruturam com base na utilização de múltiplos modos de comunicação. Entretanto, notamos que no tratamento de determinados temas, como, por exemplo, Movimento de um projétil, Momento linear e impulso, Forças de atrito, Efeito fotoelétrico, eram maiores o número e a variedade dos modos utilizados na composição do texto.

Na mesma época em que realizávamos a avaliação dos textos de coleções de livros didáticos, tomamos contato com uma literatura bastante diversa, pois estávamos em um momento de muitas leituras. Nessa ocasião encontramos o livro “Atrito: o que diz a física, o que os alunos pensam e o que os livros explicam”, de Caldas (1999). Esse livro acabou sendo essencial na escolha do tema e da obra a ser usada na pesquisa.

Caldas (1999) aborda o atrito sob diferentes olhares. A primeira perspectiva trabalhada no livro é o ponto de vista da Física sobre o atrito. Em seguida ela apresenta as concepções sobre o atrito que têm estudantes do 3º ano do Ensino Médio, professores do Ensino Médio e professores do Ensino Superior. Por fim, ela analisa a forma como os livros didáticos abordam o estudo do atrito. Embora Caldas (1999) afirme que analisou livros dos ensinos secundário, técnico e superior francês, bem como livros dos ensinos fundamental (8ª série) e superior brasileiro, ela argumenta que não foram encontradas diferenças significativas, a não ser o nível de profundidade com que o tema é abordado, entre os vários livros. Por esse motivo ela apresenta apenas as análises realizadas com base em 7 livros utilizados no Ensino Superior brasileiro. Essa última perspectiva pesou bastante em nossa escolha.

Caldas (1999) afirma que todos os livros analisados apresentavam problemas, alguns com uma abordagem em desacordo com o modelo teórico para o atrito do ponto de vista da Física, outros pelo uso inapropriado da linguagem. Segundo ela, ambos os problemas contribuem para reforçar modelos incorretos sobre o atrito nos estudantes. No entanto, essa autora afirma que o livro de Sears, Zemansky e Young, publicado em 1983, é o único que trata do atrito cinético enfatizando o movimento relativo entre as superfícies, parecendo indicar um maior cuidado conceitual.

Por se tratar de uma edição muito antiga, buscamos verificar se nas edições mais recentes o texto permanecia fiel às características daquela edição. Infelizmente não encontramos a 1ª edição, de 1983, mas tivemos acesso à 2ª edição, de 1985 (Sears, Zemansky e Young, 1985). Realizamos uma comparação entre o texto dessa 2ª edição com o texto da 12ª edição, publicada em 2008 (Young e Freedman, 2008). Em ambas as edições foram utilizadas quase três páginas completas na abordagem do tema e, mesmo na edição mais antiga, já eram utilizadas uma grande quantidade e variedade de modos fotografias, tabela, figuras com diagramas de forças, equações e texto verbal. .

Em nossa avaliação houve uma melhora do texto como um todo. Mais exemplos do cotidiano foram incorporados ao texto, tanto nos quais a presença do atrito é fundamental para alguma atividade, quanto naqueles em que sua diminuição é desejada. Esse aspecto se reflete também na preocupação dos autores em incluir mais dois itens na tabela que apresenta os coeficientes de atrito estático e cinético para vários pares de superfícies. Nas duas edições do livro encontramos essa tabela, basicamente com os mesmos elementos, mas na de 2008 há a inserção dos coeficientes para as superfícies Borracha com concreto (seco) e Borracha com concreto (úmido). Essa inserção parece sinalizar uma intenção em aproximar a Física do cotidiano (o livro é uma tradução norte americana e lá parecem ser comuns vias com pavimento de concreto), além de se constituir como uma informação relevante do ponto de vista da segurança no trânsito (é mais útil às pessoas saber que o atrito dos pneus dos automóveis com o concreto diminui com a umidade, que saber o atrito entre o cobre e o ferro doce).

Os elementos visuais também se tornaram mais sofisticados e informativos. Por exemplo, comparamos a figura 2-11 da edição de 1985, com a Figura 5.19 da edição de 2008 (reproduzidas nas Figuras 2.2 e 2.3, respectivamente). Ambas as figuras são usadas em discussões sobre as mudanças nas forças de atrito ocorridas desde o momento em que se começa a puxar uma caixa até o momento em que ela se move. É possível notar, na Figura 5.19, uma maior clareza e uma atenção em evidenciar os elementos que ajudam o leitor a compreendê-la melhor. A presença dos textos verbais na figura, bem como a inserção do gráfico, correlacionado a cada situação representada nos diagramas, são indícios dessa atenção. Nela, há mais elementos que foram significados pelo texto verbal, adicionando mais significados aos elementos da figura (Doran, 2018).

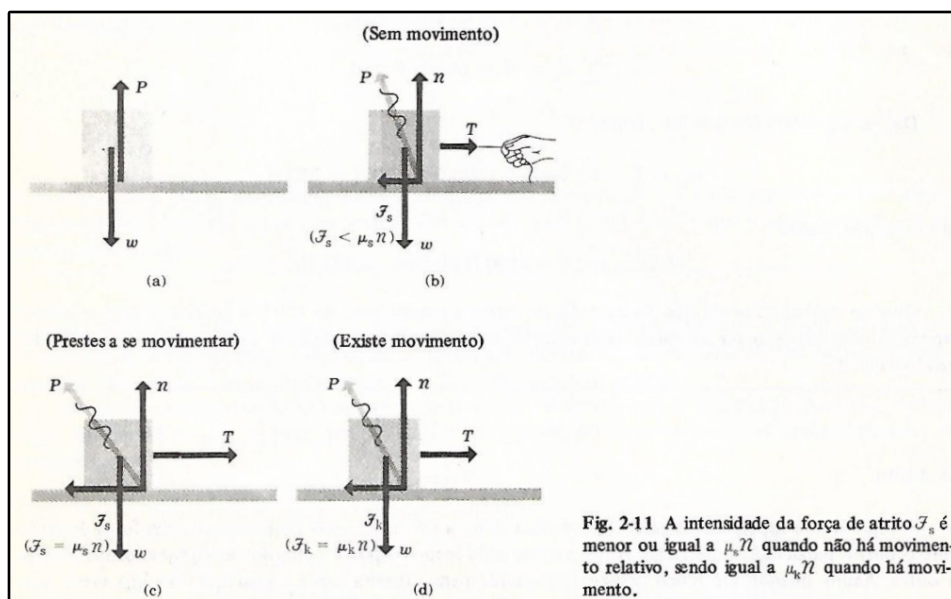


Figura 2.2: reprodução da Figura 2-11 (Sears, Zemansky e Young, 1985, p. 36).

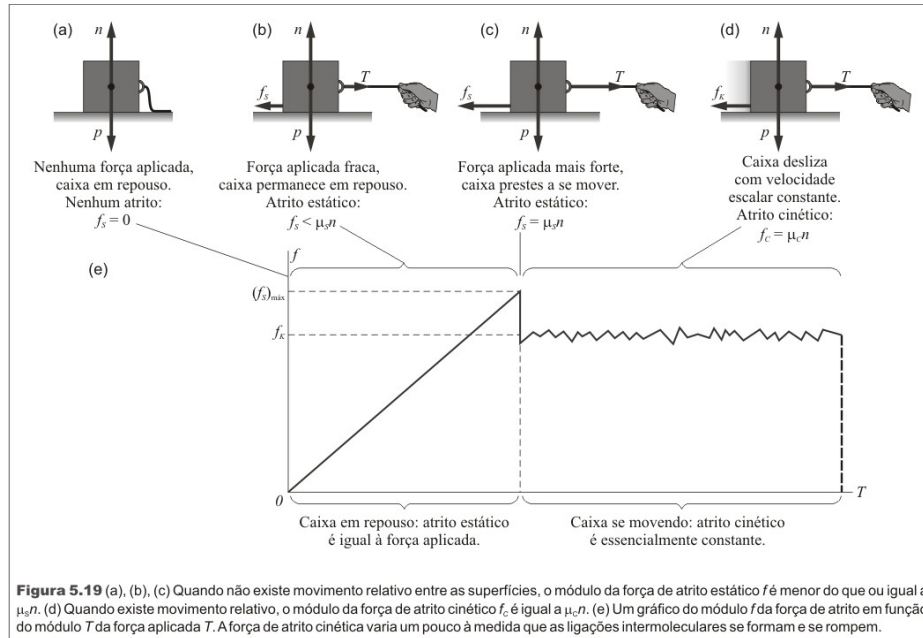


Figura 2.3: reprodução da Figura 5.19 (Young e Freedman, 2008, p. 150).

A despeito desses elementos, o texto, em essência, trata dos mesmos pontos e de forma semelhante, apesar de mais de 2 décadas de separação entre as edições. A organização do texto, no entanto, é diferente. Há algumas inversões sobre abordar primeiro o atrito cinético ou o estático, mas os autores procuram explicitar os mesmos elementos, como era de se esperar, uma vez que a Física mantém fortes relações epistêmicas com seu objeto de estudo (Doran, 2018) e isso não pode ser modificado em função das preferências dos autores. Os autores, na nova edição, continuam apresentando o fato explicitado por Caldas (1999), de que o sentido da força de atrito é contrário ao sentido do movimento relativo entre as superfícies.

Outro fator levado em consideração para a escolha do livro de Young e Freedman (2008) foi a diversidade de modos empregada na abordagem do atrito. Na edição de 2008, em menos de três páginas (2,77 páginas para ser exato), os autores utilizaram o texto verbal, uma fotografia (Figura 5.16), dois diagramas que misturam elementos icônicos com elementos esquemáticos (Figura 5.17 e Figura 5.18), uma tabela com valores dos coeficientes de atrito estático e cinético (Tabela 5.1), duas equações algébricas destacadas do corpo do texto (Equação 5.5 e Equação 5.6), algumas equações inseridas em meio ao texto verbal e uma figura que ocupa cerca de meia página contendo diagramas de força, texto verbal, equações algébricas e um gráfico (Figura 5.19).

As páginas do texto podem ser vistas em tamanho natural no Apêndice A, mas as reproduzimos na Figura 2.4 (páginas 148 e 149) e na Figura 2.5 (páginas 150 e 151) para que o leitor possa ter uma noção da diversidade de modos empregados por esses autores.

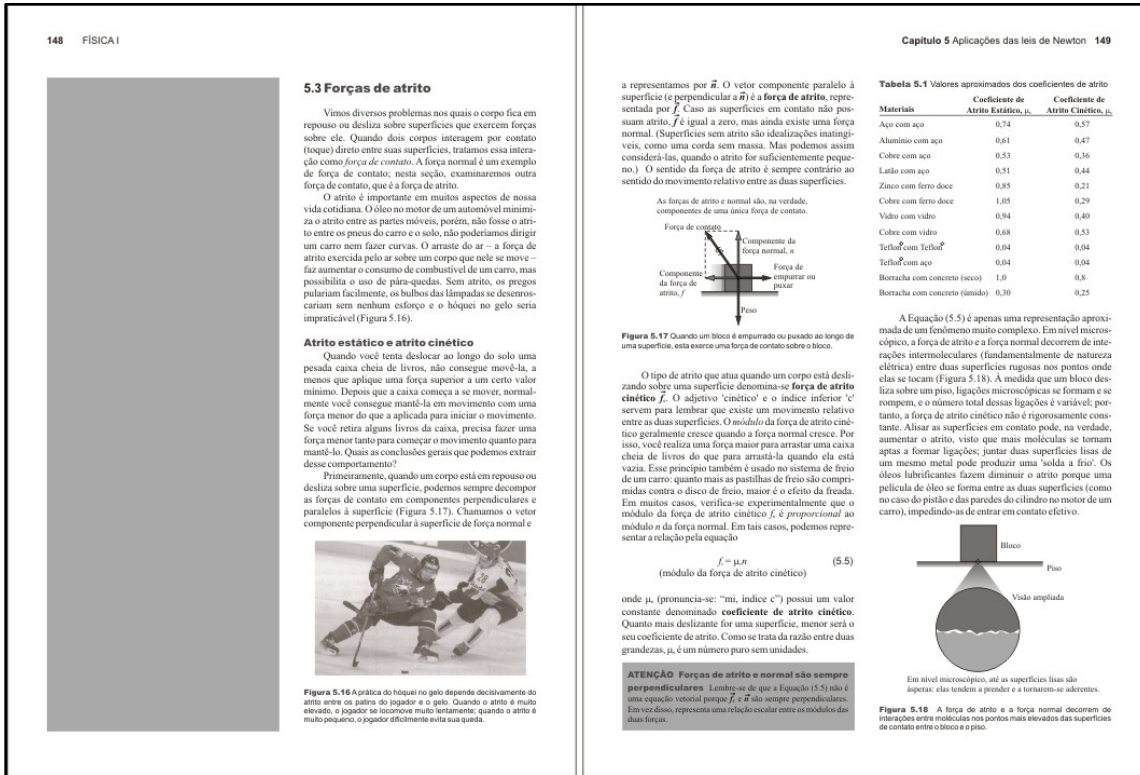


Figura 2.4: páginas 148 e 149 do texto sobre o atrito (Young e Freedman, 2008).

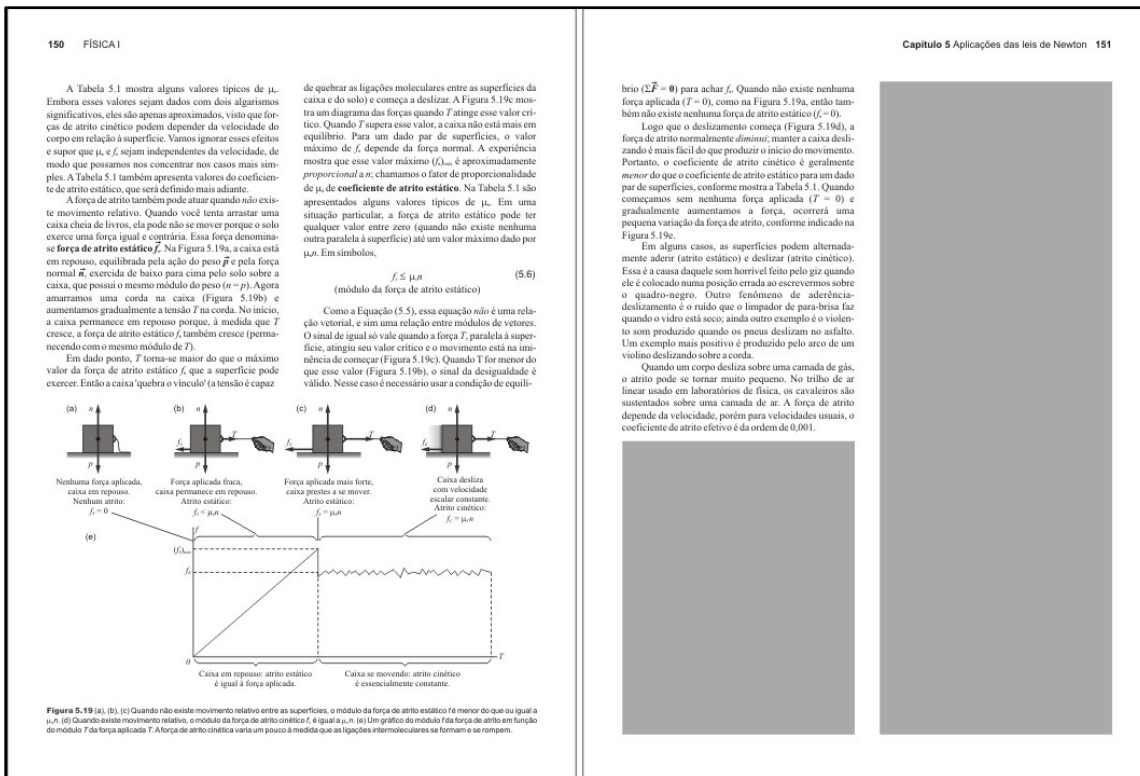


Figura 2.5: páginas 150 e 151 do texto sobre o atrito (Young e Freedman, 2008).

Os trechos que aparecem como faixas cinza nas Figuras 2.4 e 2.5 foram utilizados para cobrir partes das páginas que não tratavam da abordagem conceitual sobre o atrito (no Apêndice A o leitor pode observar as páginas como se encontram no livro, sem as faixas cinza). As faixas cinza cobrem exemplos resolvidos da seção anterior (faixa da página 148) e da seção sobre o atrito (página 151). Nesta pesquisa os leitores tiveram acesso a essas páginas com as faixas cinza mostradas nas Figuras 2.4 e 2.5.

Como se pode ver pelas figuras anteriores, há uma diversidade e uma quantidade expressiva de modos nessas poucas páginas, característica que julgamos como fundamental para caracterizar a forma como diferentes leitores leem e integram os diferentes modos. Portanto, com base nos estudos de Caldas (1999), e no fato de que Young e Freedman (2008) abordam a temática sobre forças de atrito com grande diversidade e variedade de modos, escolhemos esse texto como material de leitura na pesquisa.

Buscando formas de verificar a validade de nossa hipótese, procuramos selecionar leitores com diferentes vivências com os conteúdos da Física. Influenciados por pesquisas que apontavam que o conhecimento prévio dos estudantes tinha influência na maneira como eles interagem com elementos verbais e não verbais nos textos multimodais de ciências (Cook et al., 2008; Ho et al., 2014), decidimos convidar professores de nível universitário e estudantes de graduação no sentido de configurarmos 2 grupos distintos i) professores, como representantes de especialistas, uma vez que lidam continuamente com a Física como parte de seu trabalho; ii) estudantes, como representantes de iniciantes, uma vez que seu contato com a Física possivelmente se deve apenas à sua condição de estudante, seja no Ensino Médio ou no Superior.

Para conseguir leitores para participar de nossa pesquisa, convidamos professores e estudantes do departamento de Física da UFMG por meio de um e-mail institucional repassado pela coordenação do curso de Física. Na mesma época, também procuramos um e-mail institucional nos colegiados dos cursos de Matemática, Química, Ciência da Computação e dos vários cursos de engenharia oferecidos pela universidade. Alguns estudantes dos cursos de graduação e pós-graduação em Física responderam ao e-mail e também alguns da Matemática. Poucos professores se manifestaram nesse momento, de forma que tivemos poucos frutos a partir dessa estratégia de convidar via e-mail. Esse número se reduziu ainda mais devido a uma limitação do aparelho usado na pesquisa (sobre o qual falaremos mais adiante nesse capítulo): o aparelho não rastreia o olhar de participantes que usam óculos. No caso dos professores isso era um problema, pois alguns que se dispuseram a participar utilizavam óculos. Isso também ocorreu com alguns estudantes.

Iniciamos a coleta com os estudantes e professores que responderam ao e-mail no final do ano de 2017. No caso dos estudantes, solicitávamos a cada participante que havia contribuído com a pesquisa que indicasse novos colegas, de qualquer período, cujo curso tivesse a disciplina de Fundamentos de Mecânica na grade (disciplina do ciclo básico das ciências exatas e engenharias onde se estuda o atrito). Essa estratégia se mostrou efetiva para conseguir mais leitores porém, como o semestre estava findando, já em dezembro, optamos por retomar as coletas no primeiro semestre de 2018.

Para ampliar o número de professores recorremos a duas estratégias distintas. Por achar que poderíamos ter a adesão de poucos professores universitários, convidamos pessoalmente professores de Ensino Médio para que pudessem participar da pesquisa. Esses convites foram realizados em escolas onde havíamos trabalhado e pessoalmente com professores que mantínhamos contato. A outra estratégia foi realizar um “corpo a corpo” no departamento de Física da UFMG a fim de verificar pessoalmente se os professores poderiam participar. Em particular, procuramos os professores que estavam ministrando a disciplina Fundamentos de Mecânica no primeiro semestre de 2018. Com essas estratégias conseguimos ampliar um pouco o número de professores participantes da pesquisa. Grande parte da coleta ocorreu ao longo do primeiro semestre de 2018, conforme a disponibilidade do participante.

Como havíamos conseguido muitos leitores oriundos dos cursos de licenciatura e bacharelado em Física, e poucos estudantes de outros cursos, realizamos um último movimento visitando salas de aula do Instituto de Ciências Exatas (ICEx - UFMG). Nessas visitas, que ocorreram no final do 1º semestre de 2018, convidamos pessoalmente estudantes de outros cursos para participarem da pesquisa. Todos esses movimentos nos permitiram alcançar um total de 55 participantes voluntários. Alguns problemas, no entanto, impediram que tivéssemos os dados desses 55 leitores

Um dos problemas foi o fato de o usuário não ter informações sobre a gravação dos dados no momento em que ocorre a coleta de dados com o rastreamento. Após clicar no botão que dá início ao processo de rastreamento ocular nenhuma informação é fornecida pelo software sobre o andamento da gravação dos dados. Somente ao final do processo, quando o participante clica no botão para fechar o teste, é que o software mostra uma mensagem dizendo que os dados foram gravados. Durante nossas coletas, perdemos os dados de 4 participantes com esse tipo de problema.

Outro problema refere-se à falta de acompanhamento do olhar pelo software. Ao final de cada coleta é possível obter dados importantes sobre a coleta, como por exemplo, o percentual de tempo em que o olhar do leitor foi efetivamente rastreado. Optamos por excluir todos os participantes cujo percentual de rastreamento foi menor que 90% do tempo (4 no total). A perda do rastreamento por longos períodos inviabiliza a obtenção de dados

precisos, uma vez que a indicação do caminho trilhado pelo leitor fica bastante comprometida. Um alto percentual de tempo de rastreamento significa que o sensor conseguiu captar por mais tempo a posição dos olhos do leitor na tela.

Portanto, considerando os participantes que perdemos pelo fato de os dados não terem sido gravados, bem como aqueles que excluímos devido à perda do rastreamento ocular, tivemos um total de 47 leitores participantes, distribuídos conforme as categorias listadas no Quadro 2.1: 11 professores do Ensino Superior, 6 do Ensino Médio, 4 estudantes de Pós-graduação em Física, 16 estudantes de graduação em Física e 10 estudantes de graduação de cursos variados. Nesse quadro também apresentamos os códigos que usaremos para nos referir a cada categoria de leitor: PES se refere aos professores do Ensino Superior, FIS aos estudantes de graduação em Física etc. Para discriminar os sujeitos em cada categoria, vamos utilizar um número após o código. Por exemplo, PES1 se refere a um professor do Ensino Superior, PES2, a outro; MES1 a um estudante de mestrado, MES2 a outro, e assim por diante. Esses códigos constituirão os nomes dos participantes, como forma de preservar suas identidades, sem deixar de revelar as categorias às quais pertencem.

Quadro 2.1: Número de participantes da pesquisa e códigos usados para referenciá-los na pesquisa.

Tipo	Quantidade	Código
Professor do Ensino Superior	11	PES
Professor do Ensino Médio	6	PEM
Estudante de Doutorado em Física	2	DOU
Estudante de Mestrado em Física	2	MES
Estudante de graduação em Física	16	FIS
Estudante de graduação em Matemática	2	MAT
Estudante de graduação em Química	2	QUI
Estudante de graduação em Química Tecnológica	3	QTC
Estudante de graduação em Eng. de Minas	1	EMI
Estudante de graduação em Eng. Química	1	EQU
Estudante de graduação em Eng. Civil	1	ECI

Para todos esses participantes temos o rastreamento do olhar na leitura do texto. Portanto, nas análises que tratam da leitura do texto, sempre nos reportaremos a esse universo de 47 participantes. Contudo, nas análises dos demais instrumentos de coleta da

pesquisa esse universo fica um pouco menor, pois houve modificações no teste e a perda do rastreamento em algumas questões.

Tanto o grupo dos professores, quanto o dos estudantes se mostra muito diverso. Dentre os professores, alguns já se encontram aposentados, outros ingressaram há poucos anos no Departamento de Física. Entre os estudantes, há aqueles que já haviam cursado a disciplina de Fundamentos de Mecânica, outros a estavam cursando no semestre em que foi realizada a coleta de dados. A fim de caracterizar melhor o leitor, apresentamos no Quadro 2.2, uma descrição mínima sobre cada participante.

Quadro 2.2: descrição dos participantes da pesquisa

Código do participante	Descrição
PES1	Leciona há mais de 20 anos na UFMG; atualmente está muito engajado com os cursos EAD
PES2	Leciona há 40 anos na UFMG, é aposentado, não leciona a disciplina de Fundamentos de Mecânica há mais de 20 anos. Tem se dedicado a disciplinas pedagógicas para a licenciatura.
PES3	Lecionou por 10 anos no Ensino Médio e atua há quase 10 anos no IF, com as disciplinas de Fundamentos de Física e disciplinas pedagógicas para a licenciatura.
PES4	Começou a lecionar no Ensino Superior em 2004, quando era aluno de pós-graduação e leciona na UFMG desde 2012. No semestre em que participou da pesquisa estava lecionando a disciplina de Fundamentos de Mecânica.
PES5	Atua na UFMG desde 2006. No semestre em que participou da pesquisa estava lecionando a disciplina de Fundamentos de Mecânica.
PES6	Atua na UFMG desde 2003, com boa parte das disciplinas no ciclo básico. No semestre em que participou da pesquisa estava lecionando a disciplina de Fundamentos de Mecânica.
PES7	Atua na UFMG desde 1977, quando ainda era estudante de Pós-graduação. Atuou muitos anos com as disciplinas de Fundamentos de Física geral, mas ultimamente tem se dedicado a disciplinas pedagógicas para a licenciatura.
PES8	Atua na UFMG desde 1994 e nos últimos 12 anos tem se dedicado mais às disciplinas do ciclo básico. No semestre em que participou da pesquisa estava lecionando a disciplina de Fundamentos de Mecânica.
PES9	Foi professora do departamento de física durante muitos anos e atualmente é aposentada. Atuou nas disciplinas básicas da graduação e também na Pós.
PES10	Atuou por 22 anos na indústria eletrônica e havia 3 anos estava atuando em uma faculdade privada. Nessa faculdade lecionou a disciplina Mecânica experimental, mas não a Mecânica teórica.
PES11	Tem uma experiência aproximada de 7 anos com o ensino de Física no ciclo básico, e matérias relacionadas à engenharia elétrica no ciclo profissional, de uma faculdade privada. Na época da pesquisa havia cerca de 2 anos que não lecionada Mecânica.
PEM1	Lecionou Física por 2 anos em um cursinho pré-vestibular e tem uma experiência com a produção de materiais didáticos.
PEM2	Atua no ensino da Física em escolas de Ensino Médio desde 2003, principalmente na rede pública.
PEM3	Atua no ensino da Física em escolas de Ensino Médio desde 2004, principalmente na rede privada.
PEM4	Atua com o ensino desde 2006. Já lecionou nos anos iniciais e finais do Ensino Fundamental, teve uma pequena experiência no Ensino Superior na rede privada e atualmente leciona Física no Ensino Médio.
PEM5	Atua com o ensino da Física desde 2001, principalmente no Ensino Médio. Desde 2010 atua no IF no ensino da Física para o Ensino Médio e com disciplinas

	pedagógicas para a licenciatura.
PEM6	Atua há cerca de 12 anos com o ensino da Física em escolas de Ensino Médio.
MES1	Cursou a licenciatura e o bacharelado em Física e no momento da pesquisa cursava o Mestrado em Física na UFMG.
MES2	Cursou o bacharelado em Física e no momento da pesquisa cursava o Mestrado em Física na UFMG.
DOU1	Fez a graduação e o mestrado em uma universidade federal no interior de Minas Gerais. No momento da pesquisa cursava o Doutorado em Física na UFMG e atuava no ensino de Fundamentos de Mecânica na EAD.
DOU2	No momento da pesquisa cursava o Doutorado em Física na UFMG e atuava no ensino de Fundamentos de Mecânica na EAD.
FIS1	Estudante de graduação em Física, 3º período.
FIS2	Estudante de graduação em Física, 4º período.
FIS3	Estudante de graduação em Física, não temos o registro do período, mas já havia cursado a Mecânica.
FIS4	Estudante de graduação em Física, 5º período.
FIS5	Estudante de graduação em Física, 11º período.
FIS6	Estudante de graduação em Física, 7º período.
FIS7	Estudante de graduação em Física, 5º período.
FIS8	Estudante de graduação em Física, 5º período.
FIS9	Estudante de graduação em Física, 3º período.
FIS10	Estudante de graduação em Física, 5º período.
FIS11	Estudante de graduação em Física, 5º período.
FIS12	Estudante de graduação em Física, 6º período.
FIS13	Estudante de graduação em Física, 2º período, havia acabado de cursar Mecânica no semestre em que participou da pesquisa.
FIS14	Estudante de graduação em Física, 4º período.
FIS15	Estudante de graduação em Física, 1º período da licenciatura, mas já havia cursado o bacharelado.
FIS16	Estudante de graduação em Física, 4º período.
QTC1	Estudante de graduação em Química Tecnológica, 8º período.
QTC2	Estudante de graduação em Química Tecnológica, 2º período, na época em que participou da pesquisa estava no primeiro mês do curso de Mecânica.
QTC3	Estudante de graduação em Química Tecnológica, 5º período.
QUI1	Estudante de graduação em Química, 7º período.
QUI2	Estudante de graduação em Química, 3º período.
MAT1	Estudante de graduação em Matemática, 4º período.
MAT2	Estudante de graduação em Matemática, 1º período, mas já havia feito Fundamentos de Mecânica em uma faculdade privada.
EQU1	Estudante de graduação em Engenharia Química, 3º período.
EMI1	Estudante de graduação em Engenharia de Minas, 3º período.
ECI1	Estudante de graduação em Engenharia Civil, 7º período.

2.2 Instrumentos e etapas da coleta dos dados

Para a realização das coletas dos dados utilizamos 3 instrumentos, divididos em 4 etapas. O rastreamento ocular foi realizado em duas etapas, uma seguida imediatamente da outra. Inicialmente o participante era convidado a ler as páginas do texto sobre o atrito e em seguida a responder um teste com 8 questões, ambos na tela do computador. Também foi

utilizado um teste escrito com 3 questões, que o participante respondia logo após o rastreamento ocular, e por fim, ele era convidado a responder às perguntas de uma entrevista.

A ordem seguida nas etapas da coleta dos dados foi exatamente a descrita no parágrafo anterior. Inicialmente o participante era informado sobre todos os processos da coleta de dados: leitura, respostas às questões na tela, respostas às questões no papel e entrevista. Quando se assentava em frente ao computador, lhe eram mostrados tanto o texto para a leitura quanto as questões do teste. O texto e as questões eram apresentados na tela do monitor como uma página de internet, que podia ser rolada para cima e para baixo com o mouse (pelo *scroll* ou clicando na barra de rolagem). Tudo isso era explicado e demonstrado para o leitor.

Para facilitar a análise, uma vez que a leitura é gravada como um filme, era solicitado ao participante que respondesse às questões na ordem em que apareciam na tela. Além disso, lhe era dito que poderia acessar o texto a qualquer momento quando estivesse respondendo às questões do teste, bastando para isso rolar o mouse ou usar a barra de rolagem. Também informávamos ao participante que ele deveria clicar sobre a alternativa escolhida para responder às questões do teste. Durante essa etapa de fornecimento das instruções o leitor visualizava o texto, mas não tinha a oportunidade de lê-lo, pois a movimentação era bastante rápida, embora ele pudesse visualizar com facilidade os modos não verbais

Nesse momento inicial não eram fornecidos detalhes sobre o objetivo específico da pesquisa em investigar a integração dos modos, pois acreditávamos que o fornecimento dessa informação influenciaria a interação do leitor com o texto. Em termos do objetivo da pesquisa era dito apenas que ela visava investigar como professores e estudantes interagiam com os textos didáticos de Física para o Ensino Superior. Contudo, deixávamos claro para o participante todas as etapas do processo, com o serem utilizados os dados e abríamos o espaço caso ele tivesse alguma dúvida. Somente ao final da pesquisa, no momento em que era apresentado o termo de consentimento para a utilização dos dados, o participante era informado com maiores detalhes sobre os objetivos da pesquisa. Nessa ocasião, deixávamos claro para o participante que ele tinha toda a liberdade em consentir ou não que utilizássemos seus dados na pesquisa.

Como orientações específicas para a realização da leitura, os estudantes eram informados que deveriam ler o texto como se estivessem estudando o tema no livro. No caso dos professores, a orientação era para que considerassem a leitura do material para preparar uma aula. Em ambos os casos era solicitado que, na medida do possível, realizassem uma leitura do texto semelhante à que faziam quando estudavam o livro normalmente (supondo que o faziam).

Após essas explicações iniciais, o participante era posicionado em um suporte para o rosto. O suporte era ajustado de forma que o participante ficasse, na medida do possível, em uma situação confortável para a leitura. Esse suporte foi a forma que encontramos para evitar a perda do rastreamento pela movimentação da cabeça do participante.

A perda do rastreamento ocular está diretamente associada à movimentação da cabeça em relação à tela, após a realização da etapa de calibração do software. Os primeiros testes mostraram que era impossível para qualquer leitor se manter com a cabeça imóvel durante todo o período de leitura. Desse modo, tivemos que desenvolver um sistema que pudesse funcionar como suporte para a cabeça do leitor (veja as fotografias da Figura 2.6). Esse sistema foi confeccionado e adaptado a uma mesa. Dotado de reguladores, ele podia ser ajustado à anatomia de cada leitor. Temos consciência que o uso desse aparelho constitui uma estratégia bastante invasiva, pois o leitor precisa se apoiar nesse aparelho durante a leitura, porém não encontramos outra alternativa para manter fixa a cabeça do participante enquanto lia o texto na tela.

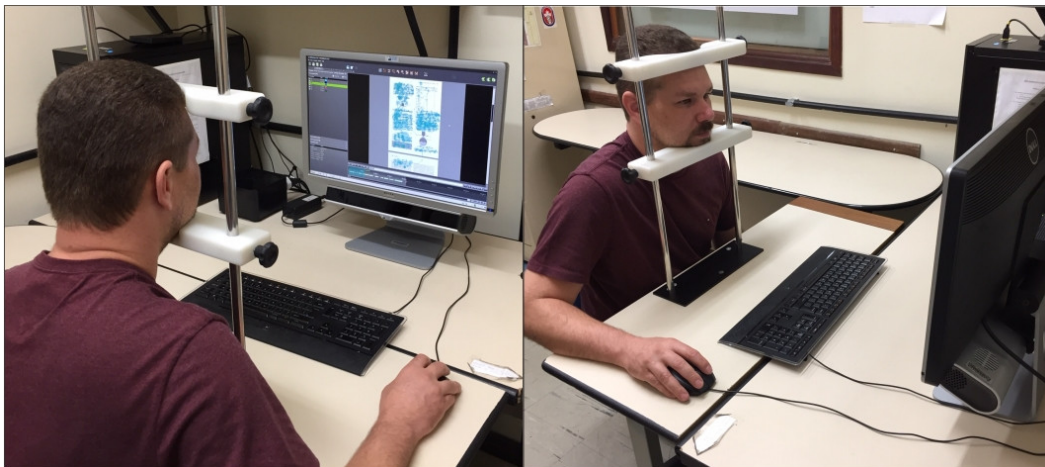


Figura 2.6: suporte para apoiar o rosto no momento do rastreamento ocular.

Existem equipamentos móveis para o rastreamento ocular que o participante coloca no rosto como se fossem óculos, porém, eles são muito menos precisos que os aparelhos fixos no monitor do computador. Para os nossos propósitos de acompanhar a leitura, o aparelho fixo é o mais apropriado. Uma vez posicionado o leitor, dava-se início ao processo de calibração.

A calibração envolve o participante olhar para pontos específicos da tela aleatoriamente selecionados pelo software. O software mostra em certo ponto da tela um cursor em forma de cruz e o participante deve fixar seu olhar sobre esse cursor. Em seguida o cursor é mostrado em outro ponto e o participante deve desviar seu olhar para a nova posição. Desse modo, o software consegue registrar a posição do globo ocular do participante em relação à tela. Por esse motivo, uma vez feita a calibração, o participante

não pode mover sua cabeça, pois a movimentação faz com que a calibração inicial seja invalidada.

Uma vez feita a calibração, o participante recebia a informação para não movimentar mais a sua cabeça, apenas os olhos, e o processo de leitura tinha início. A parte inicial do processo envolvia uma confirmação da calibração. Novamente, pontos aleatórios eram mostrados na tela e o participante deveria olhar para eles. Ao final desse processo era indicada a diferença entre os pontos mostrados pelo software e a posição que o participante realmente olhou. Quando os pontos coincidiam em grande medida, isto é, quando eles se sobrepunham, mesmo que não fosse completa, passava-se para a fase de leitura. Se as posições fossem muito diferentes, então esse teste de confirmação da calibração era repetido, até que houvesse boa concordância entre os pontos. Isso indicava uma boa calibração.

Quando a calibração terminava, o texto se apresentava na tela para o participante. Mais uma vez lhe era dito para não movimentar a cabeça e que tinha o tempo que precisasse para realizar a leitura e o teste.

O participante então rolava o texto, fazendo a leitura e em seguida respondia ao teste com questões na tela. Durante a resolução dessas questões o software realizava o rastreamento do olhar do participante também. Todas as questões do teste demandavam do leitor, de forma explícita ou implícita, a manipulação de mais de um modo de comunicação (as questões desse teste podem ser visualizadas no Apêndice B). Por exemplo, as questões nº 1 e nº 8 apresentam texto verbal, figuras e gráficos em seus enunciados e/ou alternativas. As questões nºs 2, 4 e 5 apresentam texto verbal e desenhos esquemáticos, sendo que na questão nº 4 há também um desenho icônico. A questão nº 6 apresenta texto verbal, desenho icônico e desenho esquemático no enunciado. Como suas alternativas estão na forma de comparações entre valores da força de atrito, ela demanda também a manipulação de equações algébricas. A questão nº 3 apresenta em seu enunciado apenas texto verbal, mas para fornecer uma resposta correta a ela o leitor deverá coordenar as informações do texto com os dados da tabela e com a equação algébrica da força de atrito dinético. Por fim, a questão nº 7 requer que o leitor procure trechos no texto. Ela foi inserida com o objetivo de verificar se os leitores se deslocariam a certa região do texto devido à presença da fotografia. Resumindo, as questões do teste com rastreamento ocular tinham por objetivo fornecer informações sobre a forma como os leitores integravam os diferentes modos na resolução de questões multimodais.

Grande parte das questões do teste era de múltipla escolha, apresentando apenas uma alternativa correta. A única exceção foi a questão 7, que solicitava ao leitor que selecionasse trechos do texto. A seleção ocorria por meio de cliques, assim como a seleção da alternativa correta nas questões fechadas. No momento em que recebia as orientações,

antes de iniciar a etapa de calibração, o participante era instruído a selecionar um trecho do texto clicando no início e no final dele.

É importante ressaltar que esse teste passou por aprimoramentos entre a primeira versão e a última, que foi utilizada com a maior parte dos participantes. Somente a questão nº 3 permaneceu idêntica em todas as versões do teste. Portanto, ao analisarmos essa questão, faremos referência a um total de 47 participantes. A versão final do teste foi aplicada a 38 participantes (os demais responderam a versões diferentes). Contudo, somente para 33 deles temos todas as respostas, de todas as questões. Esse número menor foi devido a outro problema que enfrentamos na coleta.

Na fase de testes alguns leitores afirmaram ter dificuldades para ler o texto em função do tamanho da letra. A partir dessa constatação optamos por fazer dois arquivos um com o tamanho normal e outro ampliado. O problema é que, no arquivo ampliado, o software não gravou todo o teste desde a leitura até a resolução das últimas questões (parece que havia uma limitação quanto ao tamanho do objeto que poderia ser inserido no software, que viemos a descobrir somente no momento das análises). No arquivo ampliado as questões 5, 6, 7 e 8 foram cortadas pelo software. Portanto, para as questões de 1 a 4 temos um total de 38 participantes, mas considerando as questões de 1 a 8, temos apenas 33. No momento das análises vamos sempre retomar o tamanho da amostra ao qual nos referimos em cada caso.

Finalizada a etapa de leitura e resposta às questões na tela, o participante recebia a folha de papel com as questões do teste escrito. Esse teste, que pode ser visualizado no Apêndice C, é composto por 3 questões abertas e também visa a interação do participante com diferentes modos. Nessa etapa não havia rastreamento ocular. O participante recebia uma folha com as questões, lápis, caneta, borracha e calculadora. Também não havia limitação de tempo para se resolver os problemas e lhe era dito que, caso desejasse, poderia usar o texto lido, que estava na tela do computador, como apoio. O texto do livro didático, bem como as questões dos testes, na tela e impresso, foram idênticos para professores e estudantes.

Essas questões do teste impresso também tinham por objetivo avaliar a forma como os leitores interagem com os diferentes modos. Na questão nº 10, por exemplo, nossa intenção era verificar se os leitores utilizavam a Matemática de forma mecânica. A questão nº 11 demandava do leitor a leitura e a obtenção de dados em um gráfico e a manipulação da equação do atrito cinético. Por fim, a questão nº 12 foi inserida com o objetivo de verificar se o problema identificado por Caldas (1999), de que a força de atrito, em geral, não é vista como uma força motora, ainda persiste.

Por fim, os participantes eram convidados a participar de uma pequena entrevista semiestruturada conduzida por nós. As perguntas da entrevista podem ser visualizadas no

Apêndice D. Essas questões visavam levantar informações acerca do uso do livro didático, acerca da forma como o leitor supõe que realiza a leitura do texto e algumas perguntas direcionadas a investigar a percepção do leitor acerca de determinados modos de comunicação, bem como sobre sua concepção do uso da multimodalidade nos textos. O uso da entrevista é uma forma de tentar obter mais informações sobre a leitura, que não podem ser fornecidas apenas pelo *eye-tracking*. O rastreamento ocular informa a posição do olhar sobre a tela, sobre um determinado modo, mas não revela os motivos que levaram o leitor a se comportar de determinada forma diante do texto.

Essas foram as etapas e os instrumentos de coleta de dados que utilizamos. A seguir abordaremos um pouco mais em detalhes o uso do *eye-tracking*, bem como os dados que ele fornece sobre a forma como os leitores interagem com o texto. Antes porém, gostaríamos de fazer menção a algumas soluções que encontramos para certos problemas que enfrentados durante os primeiros testes. Essas informações podem ser úteis àqueles que desejarem utilizar essa metodologia.

Começamos os primeiros testes, no final do semestre de 2017, apresentando o texto ocupando toda a tela do monitor. O leitor tinha a visualização de duas páginas de texto na tela, de uma vez. O monitor, de 21", possibilitava a exibição dessas duas páginas com um bom tamanho da letra. Porém, quando analisamos os primeiros dados, percebemos que o rastreamento do olhar ficava muito bom na região central, mas, nas proximidades das bordas esquerda e direita da tela, principalmente na metade superior, o rastreamento ficava deslocado diagonalmente para cima. Isso inviabilizava a percepção do que o leitor estava visualizando realmente. Tentamos realizar algumas modificações na altura do monitor, na tentativa de resolver o problema, mas não obtivemos êxito. A solução foi apresentar o texto apenas na parte central da tela. Nessa região o rastreamento ficou muito bom.

Outra solução diz respeito à forma de apresentação do texto na tela. Nos primeiros testes estávamos exibindo as páginas do texto como figuras na tela. Ao clicar o mouse, outra página era apresentada ao leitor. Mas isso dificultava a movimentação de ir e vir entre uma página e outra. No livro selecionado, há trechos do texto em uma página que direcionam o leitor a modos presentes na página anterior. A solução que encontramos para resolver esse problema foi apresentar o texto na tela como uma página de *internet*. O software do *eye-tracking* permite a exibição de páginas da internet em seu ambiente de rastreamento.

Para exibir o texto como uma página de internet escrevemos um programa muito simples em HTML. Nesse programa cada página do texto e cada questão foram inseridas como uma figura na página. Portanto, nossa página de internet era uma sequência de 12 figuras exibidas uma após a outra. As figuras foram construídas no software Corel Draw, com a mesma largura das páginas do texto, para que a página ficasse bem uniforme. É

preciso ter cautela com o comprimento da página, pois conforme relatamos anteriormente, quando utilizamos um arquivo ampliado, o *software* do *eye-tracking* não registrou a parte final da página, que continha as últimas questões do teste. Por fim, o uso do *scroll* do mouse também foi importante, pois o leitor movia o texto apenas movimentando a rodinha, sem precisar deslocar seu olhar para a barra de rolagem (apenas um estudante usou a barra de rolagem para movimentar o texto).

2.3 Eye-tracking

Eye-tracking é o nome utilizado na literatura para fazer referência a uma metodologia de coleta de dados baseada no rastreamento ocular. Por meio de um aparelho específico, o eye tracker, é possível obter informações sobre a posição do olhar de uma pessoa que observa algo e, dessa forma, fazer inferências sobre o foco de atenção desse sujeito.

Duchowski (2007) afirma que as primeiras medidas nas quais se procurava determinar a posição dos olhos de uma pessoa pela reflexão na córnea datam de 1901. Desde essa época, com o desenvolvimento da tecnologia, novos aparelhos surgiram para a realização de medidas do posicionamento do olhar, inclusive os óculos, que permitem a movimentação do usuário enquanto observa elementos ao seu redor. Em nosso caso, utilizamos um equipamento fixo no monitor de um computador. Há um emissor de luz infravermelha que emite luz em direção aos olhos do sujeito que lê na tela do monitor. Essa luz é refletida pela retina e retorna a uma câmera do próprio aparelho. Uma vez realizada a calibração, pelo ângulo de reflexão da luz o software determina a posição do olhar da pessoa sobre a tela. Por esse motivo a movimentação da cabeça invalida a coleta. Ao movimentar a cabeça, mudam as posições do globo ocular com relação à tela e o software passa a indicar uma posição falsa do olhar.

De acordo com Henderson (2006), é possível realizar inferências sobre processos cognitivos com base no movimento dos olhos de quem observa algo. Ao descrever as formas como os olhos de um indivíduo se comportam durante uma atividade viso-cognitiva complexa, esse autor inicia fazendo uma distinção entre movimentos de sacada e de fixação. As fixações são posições em que o olhar permanece fixo em uma determinada região do que se está a observar, com a fóvea direcionada a um ponto particular no espaço. Entre duas fixações sucessivas ocorre um movimento rápido do olhar, denominado sacada.

Henderson (2006) trata, ainda, sobre outros 4 tipos de movimentos: i) deslocamento suave (*smooth pursuit*), que se refere ao movimento realizado pelo olho quando ele se desloca juntamente com um objeto em movimento, mantendo fixa a posição do olhar sobre o objeto; ii) vergência (*vergence*), que direcionam os olhos para um ponto comum em um alvo distante (percepção de profundidade); iii) reflexo vestibulo-ocular (*vestibular-ocular*

reflex), que mantém os olhos estávelmente orientados a despeito do movimento da cabeça; iv) nistagmo opto-cinético (*optokinetic nystagmus*), que mantém os olhos estávelmente orientados sobre os movimentos do ambiente em grande escala.

Embora Henderson (2006) afirme que todos esses movimentos sejam importantes e que disfunções neles podem revelar anomalias cognitivas, Duchowski (2007) defende que basta modelar apenas 3 movimentos para se obter *insights* sobre a atenção visual: fixações, sacadas e deslocamentos suaves, pois se assume que esses três movimentos fornecem evidências de uma atenção voluntária, explícita, do vidente. As fixações, por exemplo, correspondem à vontade do vidente em manter os olhos em determinado ponto fixo, ao passo que o deslocamento suave, em manter os olhos fixos em um objeto que se move. As sacadas são manifestações da vontade de deslocar o foco de atenção. Como nosso objeto de leitura não contém elementos em movimento, vamos nos ater apenas às fixações e às sacadas.

Blascheck et al. (2014) afirmam, baseados em Holmqvist (2011), que as fixações são formadas por agregações de pontos do olhar, com microsacadas entre elas, em uma pequena área de 20 a 50 pixels e duram entre 200 ms e 300 ms. Bergstrom e Schall (2014) e Duchowski (2007), por outro lado, trazem a informação de que as fixações podem ter durações entre 150 ms e 600 ms. Essa variação não é difícil de compreender uma vez que a variabilidade das fixações é muito grande entre diferentes indivíduos. Essas diferenças tanto podem estar relacionadas ao tipo do gênero do material lido (Tatler, 2011) quanto aos processos perceptivos e cognitivos associados com a compreensão de determinada palavra (Henderson, 2006). Medidas envolvendo fixações são utilizadas pelos pesquisadores para associar o movimento dos olhos ao processamento cognitivo do leitor.

Para Mason et al. (2013), há dois pressupostos teóricos que embasam o uso do *eye-tracking* como estratégia metodológica e que possibilitam o estabelecimento de relações entre o movimento dos olhos do leitor e o processamento cognitivo: i) a hipótese da imediaticidade (*the immediacy assumption*); ii) a hipótese olho-mente (*the eye-mind assumption*).

De acordo com a hipótese da imediaticidade o processamento da informação é imediato e ocorre logo após ser recebida. Não haveria um *delay* entre a recepção da informação e seu posterior processamento pelo cérebro, como se ele armazenasse a informação em um *buffer* para acessá-la posteriormente. Já a hipótese olho-mente sustenta que a informação visual que está sendo recebida pelo vidente é também aquela que está sendo processada, uma vez que a direção do olhar humano é altamente ligada ao foco de atenção. Desse modo, a hipótese olho-mente permite assumir que os movimentos dos olhos podem refletir o processamento da informação, possibilitando estabelecer uma relação entre processos perceptuais e cognitivos (Zhao et al., 2014; Jian, 2016).

A importância de se considerar a fixação como uma das categorias de análise quando se utiliza o *eye-tracking* reside no fato de que a literatura afirma que os aprendizes fixam o olhar em características que são chamativas, interessantes ou importantes para a experiência (Cook et al., 2008, p. 246). Essa perspectiva, associada à hipótese olho-mente, tem sido utilizada para associar as fixações do olhar ao processamento cognitivo.

Nas análises envolvendo fixações, são computadas tanto a quantidade de fixações em uma determinada área, quanto seu tempo de duração. De acordo com Patrick (2005), em um primeiro momento, o número de fixações está relacionado ao número de componentes que o indivíduo deve processar. Entretanto, uma vez que uma pessoa encontra o que está interessado, o número de fixações tipicamente indica o foco de atenção, sendo as áreas com grandes quantidades de fixações, consideradas como de maior interesse (p. 358).

Por outro lado, Hung (2014) afirma que o número de fixações e, principalmente, a duração das fixações, indicam o tempo gasto no processamento da informação do texto. Afirmação semelhante é encontrada no trabalho de Cook et al. (2008):

... o número de fixações tipicamente indica o foco de atenção, isto é, as áreas que recebem grandes quantidades de fixações são consideradas como áreas de grande importância. Quando os olhos se fixam em uma área de grande importância, a duração da fixação será determinada pelo tempo necessário para processar a informação perceptual e cognitiva naquela área. Como tal, a duração das fixações em uma área, ou a média das durações das fixações, é uma medida da dificuldade de processamento. (p. 246).

Conforme já afirmamos, a duração das fixações pode variar. Rayner (2009, apud Hung, 2014) afirma que a variação nas durações médias das fixações pode ser causada pela dificuldade do texto, pelas ferramentas de leitura e compreensão do leitor, ou por características específicas do sistema de escrita.

Não é incomum que trabalhos que utilizam o *eye-tracking* como metodologia assumam que ele ajuda o pesquisador a compreender a atenção visual do vidente (Schall e Bergstron, 2014, por exemplo), mas como nos lembra Orquin e Holmqvist (2018), o que o *eye-tracking* mostra são os movimentos oculares e o olhar, sendo a atenção ou qualquer outro processo cognitivo que se possa associar a ela inferido a partir dos movimentos dos olhos.

Orquin e Holmqvist (2018) comentam sobre as dificuldades em fazer inferências a respeito do processamento cognitivo com base nos dados sobre fixações. Por exemplo, se determinada área A do material de leitura apresenta maiores tempo e número de fixações,

que outra B, podem haver várias possíveis causas i) a região A pode ser vista como mais relevante, ou pode trazer informações mais confusas para se processar do que a B; ii) a região A pode ser mais complexa ou pode ser constituída por um estímulo mais atraente que a B; o olhar do leitor pode ter permanecido na região A enquanto seu pensamento “viajava” para outros lugares. Nesses exemplos, a região A poderá apresentar um número de fixações maior que a B, com maiores tempos de duração, mas o *eye-tracking* não pode revelar o motivo exato. Para definir precisamente o motivo são necessários outros métodos de investigação associados ao *eye-tracking*.

Outro movimento relevante empregado nos estudos que utilizam o *eye-tracking* são as sacadas. As sacadas são movimentos rápidos do olhar entre duas fixações sucessivas e tipicamente têm duração entre 30 a 80 ms. Durante esse intervalo de tempo a informação visual é suprimida. As medidas comumente usadas com relação às sacadas são o comprimento, a duração e a velocidade (Blascheck et al. 2014).

Esses movimentos de sacada realizados pelos leitores também podem ser relacionados à dificuldade de processamento da informação apresentada no texto. Rayner et al. (2006, apud HUNG, 2014) afirmam que, quando os textos são mais difíceis, os comprimentos das sacadas se tomam menores, ao passo que sacadas mais longas significam que o material de leitura é relativamente mais fácil para o leitor compreender. Hung et al. (2014), por exemplo, utilizam essa informação para afirmar que as figuras decorativas do livro são percebidas pelos leitores como elementos que não comunicam informações importantes para a compreensão. Na investigação conduzida por esses autores, embora a figura ilustrativa ocupasse 24% do material de leitura, ela recebeu apenas 1% das fixações e teve os maiores comprimentos médios das sacadas, quando comparada com os outros elementos do material.

No software do *eye-tracking*, a junção dos movimentos das sacadas com as fixações durante a leitura pode ser visualizada por meio de um recurso denominado *scanpath*. O *scanpath* permite reconstruir todo o caminho de leitura trilhado pelo leitor, seja na leitura do texto ou na resolução das questões na tela. A Figura 2.7 mostra um pequeno trecho do texto com o *scanpath* do leitor QTC1 durante a leitura de parte da página 149. No software esse recurso é visto como um filme e as fixações e as sacadas vão sendo exibidas sobre o texto à medida que o tempo passa. Na Figura 2.7 cada círculo representa uma fixação e cada traço uma sacada.

Ao exibir uma figura com um *scanpath*, que pode ser considerada um *print* da tela do filme em determinado momento, pode ser útil solicitar ao software exibir os números vistos em cada círculo da Figura 2.7. Esses números indicam a ordem da fixação e permitem visualizar de onde, para onde, está se movendo o leitor. O diâmetro de cada círculo está relacionado com tempo de duração da fixação (maior diâmetro significa maior tempo de

duração). Por exemplo, a fixação nº 264 tem um tempo de duração de 874 ms, ao passo que a de nº 256 dura apenas 176 ms (ms = milissegundos; 1000 ms = 1 s).

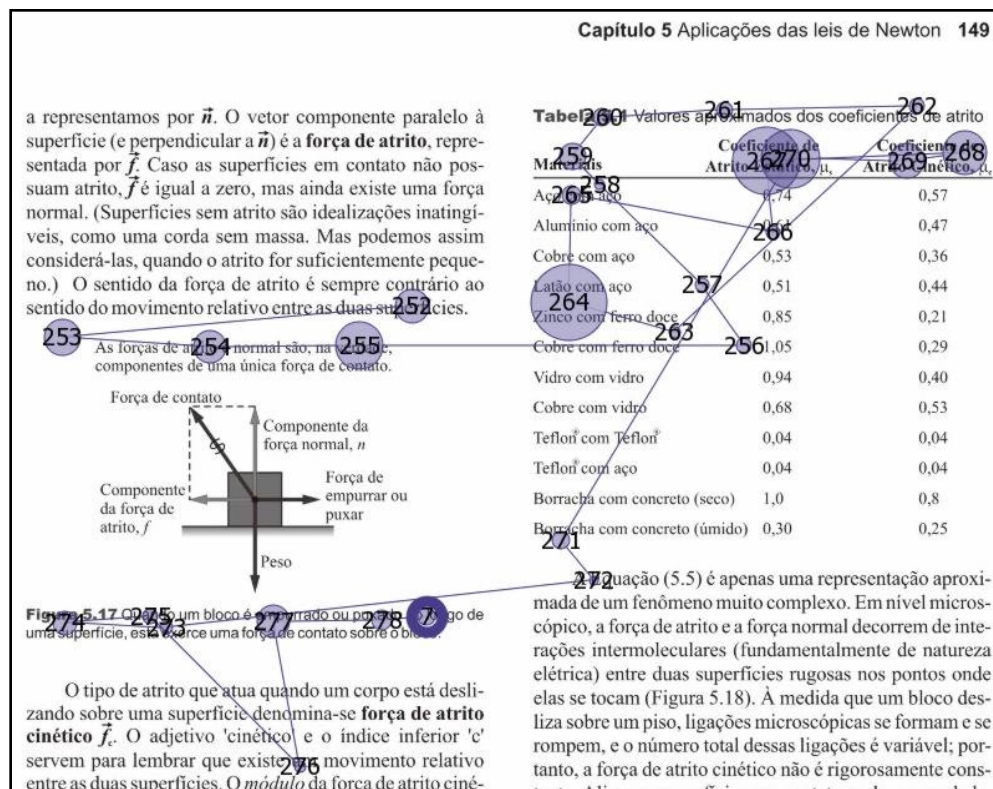


Figura 2.7: exemplo de scanpath; os círculos representam fixações, os traços sacadas e os números a ordem das fixações.

O comprimento do traço determina o comprimento da sacada. No *software* podem ser obtidos tanto os tempos de duração de cada fixação, quanto o comprimento de cada sacada em *pixels* e seu tempo de duração em ms.

A fim de verificar a integração multimodal, isto é, como os leitores se movem integrando os diferentes modos, empregamos bastante outra ferramenta do *software* do *eye-tracking*: as análises pelas áreas de interesse. As áreas de interesse (ADI) são regiões delimitadas para fins de análise (veja a Figura 2.8) e não são visualizadas pelos participantes no momento da leitura.

Por meio do *software* é possível selecionar algumas regiões do material de leitura em que estamos interessados em estudar em detalhes. Muitos dados quantitativos sobre essas áreas, bem como deslocamentos entre diferentes áreas, denominados transições, podem ser fornecidas pelo *software*. A Figura 2.8 mostra a definição de 3 ADI sobre a Figura 5.17. O texto mostrado sobre a ADI indica sua denominação. A ADI marrom é chamada de Fig5.17_1 e a ADI verde de Fig5.17_2. Em nossas análises esses nomes serão muito úteis para que o leitor possa identificar a qual ADI nos referimos no texto.

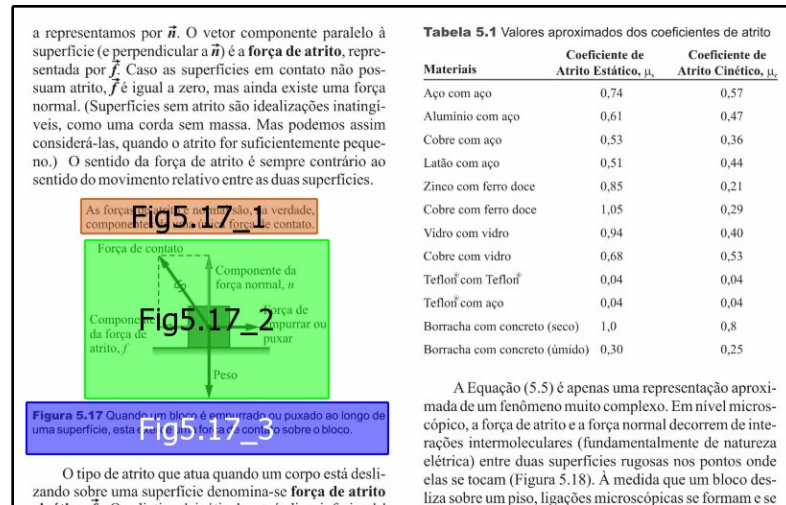


Figura 2.8: exemplos de 3 áreas de interesse definidas sobre o material de leitura.

A importância em se definir as ADI está no fato de que o software pode fornecer dados sobre as fixações, os tempo de visualização, o número de visitas, dentre muitos outros, por meio de uma ferramenta chamada *key performance indicator*. A Figura 2.9 mostra como esse tipo de dado é fornecido pelo software. Nessa figura, a tabela foi definida como uma ADI.

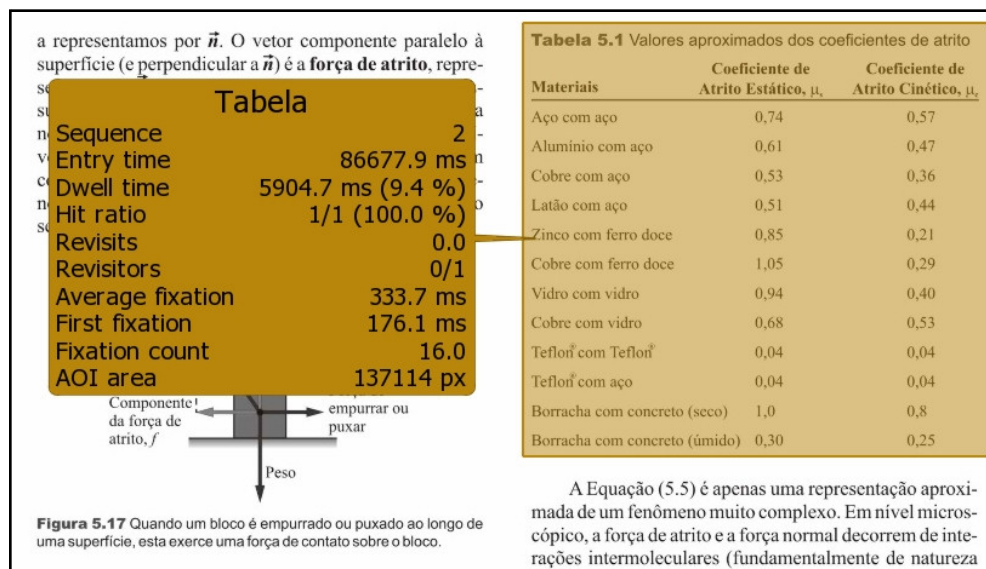


Figura 2.9: exemplo de dados fornecidos pela ferramenta Key performance indicator.

O balão que aparece ao lado da tabela apresenta diversas informações referentes ao posicionamento do olhar de um participante durante sua leitura. Esse participante fixou seus olhos na tabela, pela primeira vez, 86,7 s após iniciar a leitura do texto (*Entry time*), permaneceu lendo a tabela por 5,9 s (*Dwell time*), com os olhos sobre ela o tempo todo, pois não realizou nenhuma visita (*Revisits*) durante o tempo de leitura ao qual esses dados se

referem. A média das fixações de seu olhar na tabela foi de 333,7 ms (*Average fixation*), sendo que a primeira fixação durou 176,1 ms (*First fixation*). No total ele teve 16 fixações (*Fixation count*) mapeadas sobre essa ADI.

É possível obter, por meio do software, todos esses dados, para cada leitor, em períodos específicos do tempo de leitura. Por exemplo, nos dados mostrados na figura estão apenas as informações relativas ao período de leitura do texto. Esse leitor, no entanto, retornou à tabela durante a resposta à questão nº 3 do teste. Portanto, se esses dados forem tomados para todo o tempo de leitura e resolução das questões, seus valores serão diferentes.

A definição das áreas de interesse possibilita também que possam ser obtidas informações acerca do número de transições realizadas entre elas. O software denomina esse dado de matriz de transições.

Considere que em uma parte do texto tenham sido definidas as 3 ADI mostradas na Figura 2.10. Uma matriz 3X3 apresentará as quantidades de transições realizadas entre essas 3 ADI, considerando todas as possíveis transições. Se são 3 ADI, serão possíveis 6 transições, uma vez que não ocorrem transições de uma ADI com ela mesma. A Figura 2.11 mostra um exemplo de matriz de transição.

A matriz da Figura 2.11 mostra que foram realizadas 15 transições entre a ADI Texto 2 e a ADI Figura 5.17, sendo que em 8 delas o olhar partiu da ADI Texto 2 em direção à ADI Figura 5.17, e em 7 delas o olhar se moveu na direção oposta (da Figura 5.17 para o Texto 2). Por meio da matriz de transições, que é lida a partir da linha em direção à coluna, é possível ter uma ideia não apenas do número de transições entre duas ADI, mas também da direção do movimento. No exemplo acima, foram realizados 3 movimentos da Figura 5.17 em direção ao Texto 3 e apenas 1 movimento no sentido oposto, indicando que o leitor se moveu mais de cima para baixo, que de baixo para cima, nessa parte do texto. Nesse exemplo não ocorreram transições diretas entre as duas ADI de texto verbal (partindo da linha Texto 2 em direção à coluna Texto 3, que mostra as transições da ADI Texto 2 para a ADI Texto 3, encontramos o valor 0 na matriz de transições).

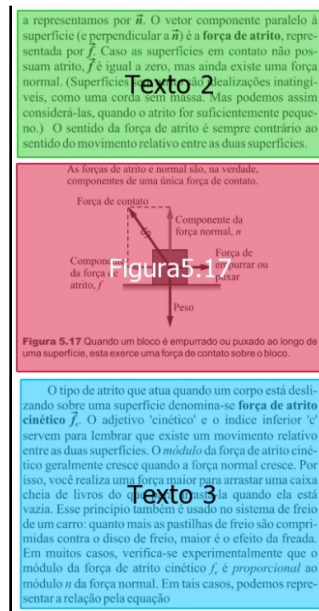


Figura 2.10: exemplo de 3 ADI definidas sobre o trecho de texto mostrado na figura.

	Texto 2	Figura5.17	Texto 3
Texto 2	0	8	0
Figura5.17	7	0	3
Texto 3	0	1	0

Figura 2.11: exemplo de matriz de transição.

Com esse tipo de informação podemos traçar as movimentações dos leitores entre os diferentes modos, verificando entre quais deles ocorreram mais transições. No entanto, quando a quantidade de ADI é muito grande, o que significa muitas linhas e colunas, fica mais difícil perceber as movimentações olhando pela tabela. Nesses casos, uma representação visual pode ser mais interessante.

A partir dos dados da Figura 2.11 podemos construir uma matriz que mostra essas movimentações de forma visual. A matriz da Figura 2.12 mostra as transições para o exemplo explorado aqui no texto (é comum a denominação de *heatmap* para o gráfico da Figura 2.12, porém, como já usamos o termo *heatmap* para representações como a Figura 2.14, vamos utilizar o nome matriz para esse tipo de representação da Figura 2.12). Em suas laterais estão representadas as ADI na forma de linhas e colunas, como na tabela da Figura 2.11. A junção de uma linha com uma coluna especifica uma célula. O número no interior dessa célula é a quantidade de transições que ocorreram entre as respectivas ADI (a da linha e a da coluna).

Para determinar o sentido correto do movimento, isto é, de onde, para onde, o leitor se moveu, deve-se iniciar a leitura pela linha. Por exemplo, ocorreram 8 movimentos no sentido do Texto 2 para a Figura 5.17. Para obter esse valor pela matriz, partimos da linha Texto 2 até encontrarmos a coluna Figura 5.17. A célula onde ocorreu o encontro da linha com a coluna contém o número de transições procurado. Para ver quantas transições ocorreram no sentido oposto (da Figura 5.17 para o Texto 2), partimos da linha Figura 5.17 e caminhamos até a coluna Texto 2. A célula mostra o valor 7, ou seja, uma transição a menos que no sentido anterior. A escala de cores, mostrada à direita do gráfico, possibilita uma identificação visual, rápida, dos maiores e menores números de transições. As células do gráfico recebem as cores da escala.

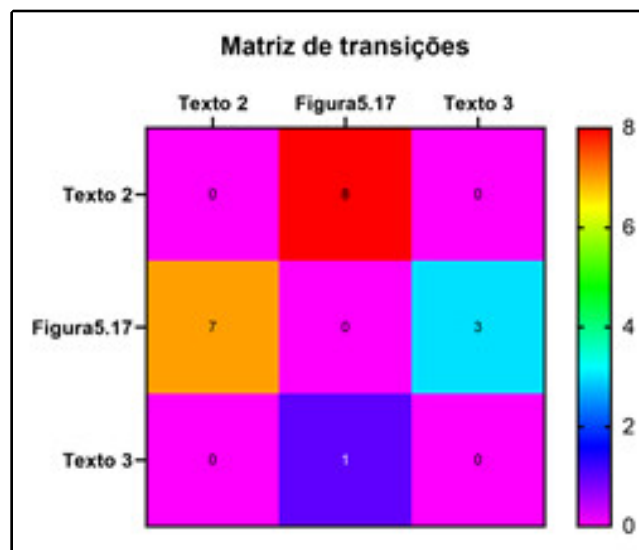


Figura 2.12: exemplo de gráfico da matriz de transições da Figura 2.11.

A grande vantagem desse tipo de dado é poder quantificar as transições entre os modos, bem como verificar se o movimento se dá apenas no sentido do texto verbal (de cima para baixo) ou se há um movimento de retorno.

Outro dado interessante que o software permite obter são os gráficos da sequência de observação das ADI (denominados *AOI sequence chart*, que pode ser traduzido como gráfico da sequência das áreas de interesse). Nesse tipo de gráfico são apresentadas barras que indicam o intervalo de tempo em que o leitor permaneceu em determinada ADI. Para discutir os dados desse gráfico vamos usar como exemplo, novamente, as ADI mostradas na Figura 2.10.

A Figura 2.13 mostra o gráfico da leitura do trecho de texto mostrado na Figura 2.10. Nesse gráfico, as barras coloridas indicam a permanência do leitor nas ADI mostradas na Figura 2.10. No eixo X do gráfico está representado o intervalo de tempo da leitura, medido de forma contínua, desde o início da leitura do texto. Para o leitor considerado nesse exemplo, a leitura das ADI mostradas na Figura 2.10 teve início quase 100 s após iniciar a leitura do texto e finalizou cerca de 80 s depois (no instante 180 s após o início da leitura). Note que o gráfico não inicia no intervalo zero. A contagem do tempo pelo software é desde o momento em que o leitor inicia a leitura na primeira página.

Pelo gráfico é possível notar que ele iniciou lendo a ADI Texto 2 (sombreada em verde), leu a Figura 5.17 (sombreada em vermelho), retornou rapidamente ao Texto 2 e depois novamente à figura por um bom período de tempo. Seguindo a leitura ele foi novamente ao Texto 2 por bastante tempo. Por volta do instante 141 s fez um novo movimento à figura e retomou ao Texto 2. Aproximadamente no instante 147 s fez a primeira movimentação no Texto 3 (sombreado em azul), retomou à Figura 5.17 rapidamente, e voltou ao Texto 3, onde permaneceu lendo até o instante 180 s. Esse gráfico, portanto, mostra uma evolução temporal dos deslocamentos do leitor nas diversas áreas de interesse criadas no texto. Com ele é possível ter uma ideia da movimentação do leitor entre os modos e por quanto tempo o leitor permaneceu em determinado modo, sendo um dado muito importante para caracterizar a leitura multimodal.

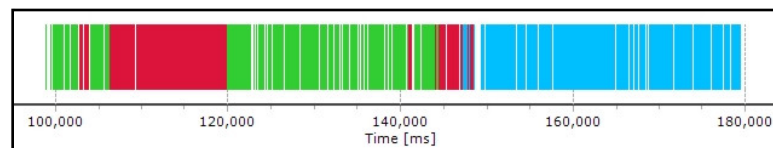


Figura 2.13: exemplo de gráfico que mostra a permanência do leitor nas ADI da Figura 2.10 conforme ele realiza a leitura.

Por fim, mais um recurso fornecido pelo software que vamos utilizar como fonte de dados é o *heatmap*. O *heatmap* é semelhante àqueles mapas de temperatura que aparecem

nos telejornais, mas as cores indicam regiões com diferentes tempos de permanência do olhar do leitor (veja a Figura 2.14). Esses tempos de permanência estão diretamente relacionados com os tempos das fixações. A cor vermelha indica áreas com maiores tempos de fixações, e a azul, áreas onde esse tempo foi menor. Portanto, se uma região aparece como vermelha nesse gráfico, significa que ela recebeu muita atenção do leitor. Essa atenção pode ser devida a dois fatores: i) o leitor realizou muitas fixações na região, o que implica em um tempo de permanência longo; ii) o leitor realizou fixações cuja duração era muito longa, o que novamente significa um grande tempo de permanência.

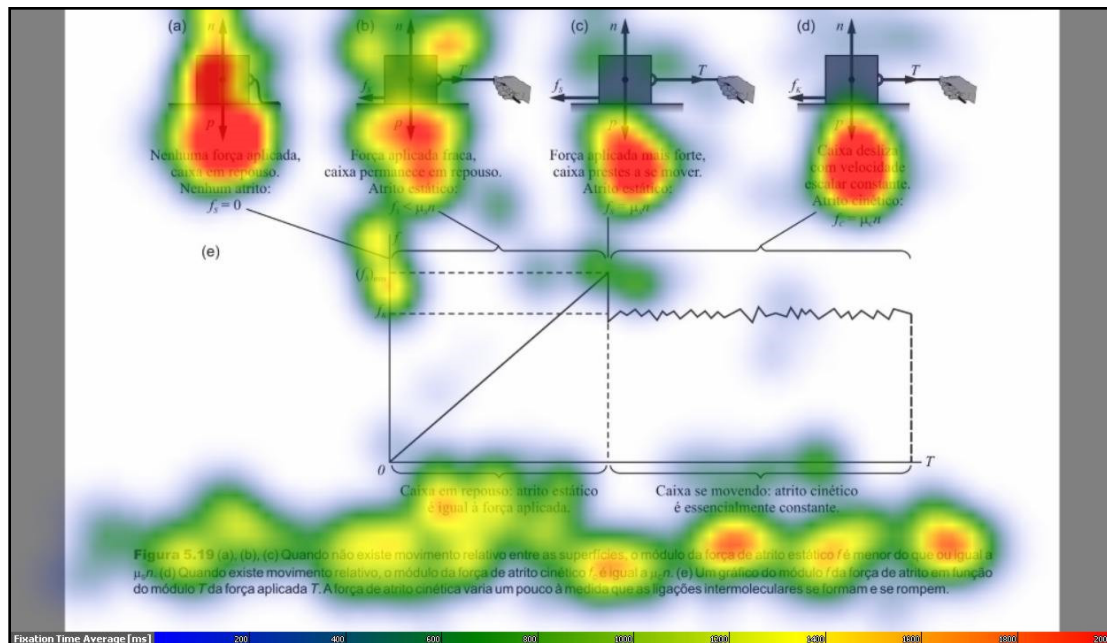


Figura 2.14: exemplo de heatmap; as regiões mais vermelhas indicam maior tempo de permanência do olhar naquelas regiões.

Na parte de baixo da Figura 2.14 há uma escala, com uma barra colorida, com a indicação dos tempos referentes a cada cor (está difícil de ler pelo tamanho da fonte, pois essa figura é um *print* da tela do *software*). A cor azul refere-se a tempos de permanência de 200 ms e a vermelha de 2000 ms. Com base nesse dado podemos ter uma noção de elementos que chamaram mais a atenção de um leitor em determinada região da página do material de leitura.

É com base nesses dados fornecidos pelo *eye-tracking*, associados aos dados dos testes escritos e das entrevistas, que realizamos nossas análises sobre as formas como os participantes de nossa pesquisa interagiram com o texto multimodal do livro de Física.

Capítulo 3 - Aspectos da leitura multimodal revelados pelos movimentos dos olhos dos leitores: panorama geral e leitura das páginas 148 e 149

Nesse capítulo nos dedicamos a analisar a forma como os leitores interagiram com a parte inicial do texto empírico sobre o atrito. A página 149, segunda página do texto lido pelos participantes, contém uma quantidade expressiva de diferentes modos, sendo, portanto, muito adequada para estudarmos as questões relativas à integração multimodal. Dividimos esse capítulo em três seções. Na primeira abordamos, brevemente, o fato de não termos observado diferenças marcantes entre as formas de ler considerando as diferentes categorias de leitores. Na segunda discutimos algumas características do texto multimodal da página 149 e a percepção dos leitores sobre os modos presentes nela. Por fim, na terceira, descrevemos o comportamento dos leitores na interação com esse texto.

3.1 Avaliando a leitura entre professores e estudantes

Nossas experiências recentes no mundo são afetadas, em grande medida, por nossas experiências passadas, afinal, o conhecimento construído previamente influencia a forma como interagimos com os novos conhecimentos. Considerando o aspecto social da semiótica, cuja percepção dos signos como tal demanda uma base de conhecimentos compartilhados, tínhamos como hipótese inicial que a interação de professores e de estudantes com o texto didático de física seria diferente. Pesquisas como as de Cook et al. (2008) e Ho et al., (2014) pareciam indicar a validade dessa hipótese.

Cook et al. (2008) analisaram como estudantes, divididos em grupos com diferentes níveis de conhecimentos prévios, interpretavam gráficos de transporte celular em Biologia. Esses autores afirmam que os estudantes com baixo nível de conhecimentos prévios se prenderam mais às características mais evidentes nas figuras (evidenciadas pela iluminação e pelas fortes cores contrastantes) e menos à compreensão do que ela representava.

Ho et al. (2014) também acompanharam estudantes com diferentes níveis de conhecimentos prévios, na leitura de um texto acompanhado de dois gráficos com informações sobre a concentração de CO₂ e a variação de temperatura da atmosfera ao longo dos últimos 200 anos. Esses pesquisadores relatam que os estudantes com nível mais alto de conhecimentos prévios gastaram mais tempo na leitura dos gráficos e realizaram mais transições entre o texto verbal e os gráficos, que os de baixo nível de conhecimentos prévios. A partir do conhecimento de pesquisas como essas, nos perguntamos: professores e estudantes leem os textos multimodais de Física da mesma

forma? A convivência com a Física como objeto de conhecimento e com o livro didático como objeto mediador tem implicações sobre a forma como esses grupos de leitores interagem com os textos?

Professores na qualidade de especialistas, lidam continuamente com esse tipo de texto, composto por múltiplos modos, tanto como consumidores, quanto produtores (ou reprodutores) desses modos. Isso é parte da prática na qual o professor está envolvido. Essa vivência, principalmente como reprodutores de signos, que requer uma compreensão aprofundada de forma que seja possível discutir as relações fundamentais dos conceitos físicos envolvidos, é algo que os estudantes não experimentam.

Os estudantes de Física ainda têm um contato maior com o estudo do atrito, mas um estudante de Engenharia, ou de Química, que não for reprovado, provavelmente terá contato com o estudo desse fenômeno uma única vez no curso: quando cursar a disciplina Fundamentos de Mecânica. A vivência e a perspectiva de interação do estudante com esse conteúdo é certamente bastante diferente da do professor. Portanto vemos, nesse caso, estudantes como pertencente à classe de novatos e professores como especialistas nesse conteúdo.

Tendo isso em mente, levantamos uma hipótese inicial a respeito das formas de leitura distintas entre professores e estudantes, no que diz respeito à integração dos diferentes modos de comunicação e do tempo dedicado à leitura de cada modo. Nossa expectativa inicial era que professores por terem maior experiência com esses textos e esses conceitos gastariam menos tempo que os estudantes durante a leitura, principalmente na leitura dos modos não verbais. Além disso, esperávamos que eles realizassem maiores integrações entre os diferentes modos, uma vez que o professor já está habituado a ler esse tipo de texto e a sua compreensão implica a integração das informações advindas dos diferentes modos. Em parte, essa nossa expectativa estava também apoiada em pesquisas como as de Ho et al. (2014), em que os estudantes com maiores níveis de conhecimentos prévios realizaram mais integrações entre os modos.

O primeiro dado que trazemos para a discussão diz respeito ao tempo de leitura do texto. O gráfico da Figura 3.1 mostra os tempos de leitura dos 47 participantes. Em pesquisas que utilizam o *eye-tracking*, o tempo de leitura é tomado como um indicador da interação do leitor com o texto. Por exemplo, se o texto é de mais fácil compreensão, o leitor passa mais rápido por ele. Se mais difícil, mais tempo é necessário para compreender suas informações (Bergstrom e Schall, 2014; Duchowski, 2007).

A partir dos intervalos de tempo representados nesse gráfico não nos parece possível discriminar os grupos de professores e estudantes quanto ao tempo de leitura. O que esse gráfico nos permite dizer é que o tempo de leitura é muito variável entre os diferentes participantes. Há professores que gastam pouco tempo, mas também há

estudantes, dos vários cursos, que realizam a leitura muito rapidamente. Por outro lado há tanto professores quanto estudantes que gastam muito tempo na leitura, embora haja uma diferença maior no caso dos estudantes de física.

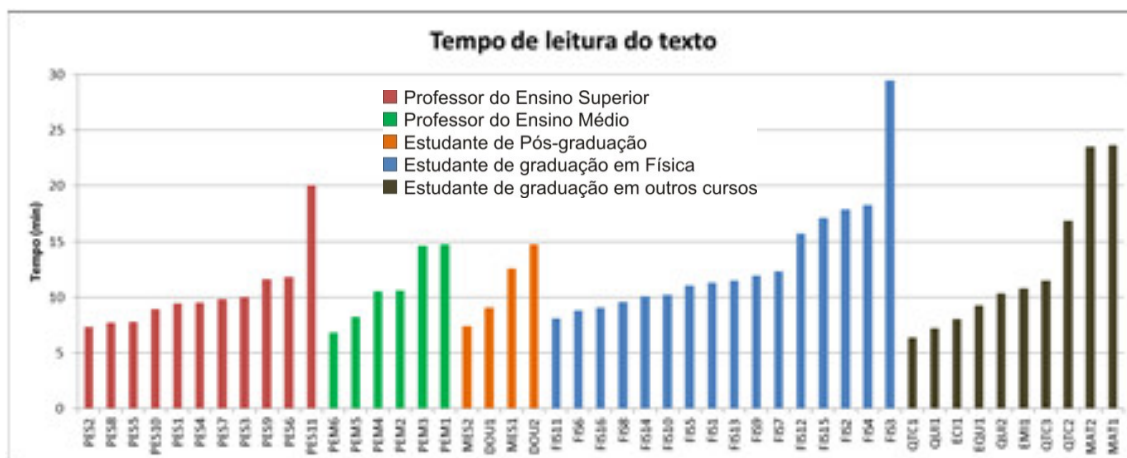


Figura 3.1: gráfico dos tempos de leitura dos participantes em todo o texto.

Na tentativa de discriminar esses grupos, mesmo não tendo um número muito grande de participantes, decidimos olhar para as médias do tempo de leitura entre diferentes categorias. Separamos os participantes em 5 categorias, conforme o nível de experiência e envolvimento que possam ter com a Física: professores do Ensino Superior, professores do Ensino Médio, estudantes de Pós-graduação em Física, estudantes de graduação em Física e estudantes de graduação em outros cursos (Matemática, Química, Química Tecnológica, Engenharias Civil, Engenharia Química e Engenharia de Minas). Professores dos ensinos Superior e Médio têm o ensino da Física como objeto de trabalho. No entanto, não podem constituir a mesma categoria pelas especificidades das carreiras e da atuação de cada um em níveis de ensino distintos. Estudantes de Pós-graduação em Física possuem uma caminhada maior com os conteúdos da disciplina em comparação com os estudantes de graduação. No caso dos doutorandos, inclusive, têm como parte de suas atribuições ministrar aulas em disciplinas à distância ou experimentais básicas. Separamos os estudantes da Física dos demais cursos pelo fato de os primeiros terem a Física como objeto de estudo e, possivelmente, um relacionamento diferente com ela.

O gráfico da Figura 3.2 apresenta as médias dos tempos de leitura para cada um dos segmentos, considerando um intervalo de confiança de 95%. Há uma pequena diferença entre as médias, principalmente as dos estudantes de graduação em relação aos outros participantes. Mas, como fica evidente pelas barras de erros, a sobreposição dos intervalos é muito grande, de modo que não se pode considerar essa pequena diferença como algo significativo. Dado o pequeno número de participantes em cada categoria, bem como o fato de as distribuições não serem normais, realizamos alguns testes não paramétricos e a

conclusão a que chegamos foi a mesma. Mesmo retirando da amostra os leitores que parecem se comportar de forma muito distinta, como o PES11 no grupo dos professores e o FIS3 no caso dos estudantes, ainda assim a sobreposição dos intervalos permanece. Portanto, em se tratando do tempo de leitura, não nos foi possível notar alguma distinção entre os grupos de estudantes e professores

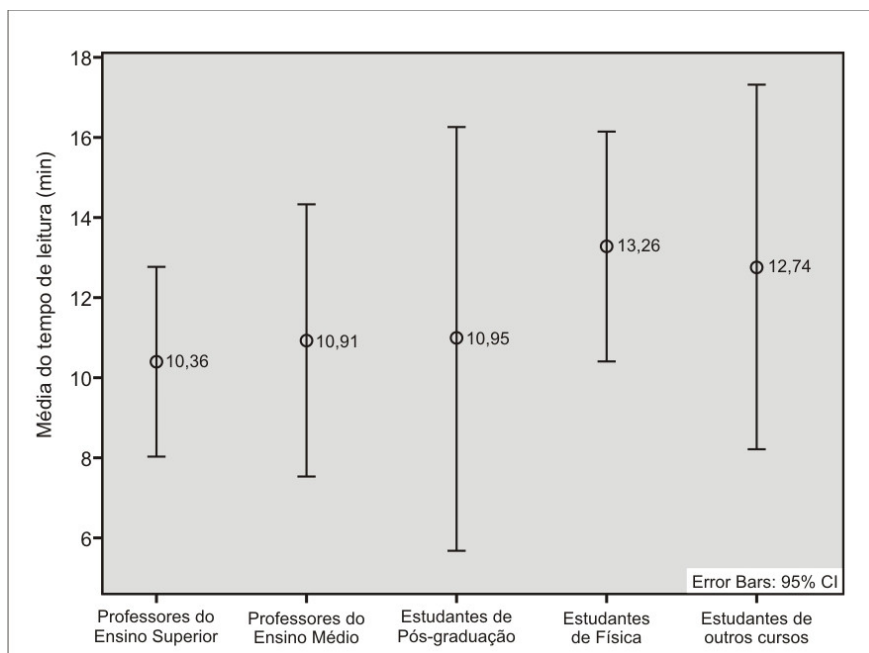


Figura 3.2: gráfico das médias dos tempos de leitura do texto.

Uma vez que não encontramos diferenças significativas no tempo total de leitura entre os dois grupos, passamos a buscar alguma possível diferenciação na leitura dos modos isoladamente. Para realizar essa tarefa, definimos todo o texto verbal como uma única área de interesse (ADI), cada figura, cada equação e a tabela, também como áreas de interesse distintas. A Figura 3.3 mostra as 4 páginas do material de leitura com as 8 áreas de interesse criadas: o texto verbal selecionado como uma única ADI verde, a Figura 5.16 preta, a Figura 5.17 vermelha, a Equação 5.5 marrom, a Tabela 5.1 azul escuro, a Figura 5.18 azul piscina, a Equação 5.6 violeta e a Figura 5.19 ocre.

Para avaliar o tempo de leitura em determinada ADI utilizamos o tempo de permanência do olhar do leitor nessa área. O tempo de permanência depende muito da duração das fixações. Em certa medida, o tempo de fixação, isto é, o tempo em que o olho do leitor permanece parado em determinada área do texto, pode ser um indicativo da atenção do leitor naquele ponto (Bergstrom e Schall, 2014). O gráfico da Figura 3.4 apresenta os tempos gastos pelos leitores apenas na leitura do texto verbal.

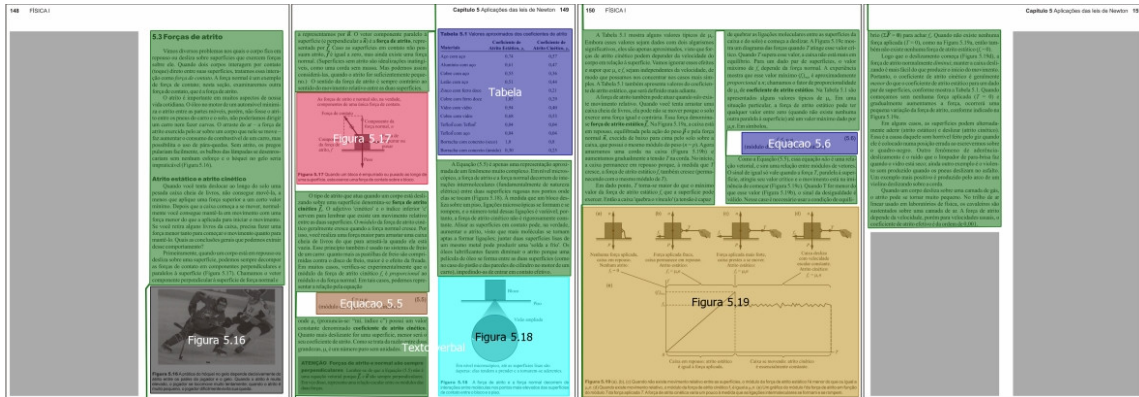


Figura 3.3: as quatro páginas do texto e as diferentes ADI criadas para investigar aspectos da leitura em cada uma delas.



Figura 3.4: gráfico dos tempos de leitura dos participantes apenas no texto verbal.

Embora seja possível notar algumas movimentações entre as posições ocupadas pelos leitores, comparando os gráficos das Figuras 3.1 e 3.4, de modo geral, esses gráficos apresentam configurações bastante semelhantes, com a presença das diferentes categorias nos vários extratos de tempos de leitura.

Se não foi possível perceber diferenças significativas na forma como professores e estudantes lidam com o texto verbal, buscamos tentar diferenciá-los pela forma como interagem com os modos não verbais presentes nas páginas do texto. Como o livro utiliza muitos modos não verbais, fixamos nossa atenção em dois que consideramos de maior importância por estarem intensamente relacionados ao texto verbal. Esses são as Figuras 5.17 e 5.19. Tanto em uma, como na outra, os elementos presentes nas figuras são significados pelo texto verbal. Além disso, no caso da Figura 5.19, há vários apontadores indexicais que direcionam o leitor a seus elementos, uma vez que ela própria é constituída de vários modos: texto verbal, diagrama, equação algébrica e gráfico. A Figura 5.17, por

outro lado, conta com apenas um apontador indexical, mas seus signos são mencionados no texto verbal que a antecede.

Novamente, a distribuição dos leitores se aproxima do que já observamos nos gráficos das figuras 3.1 e 3.4, com a presença das várias categorias nos diferentes extratos de tempo. No gráfico da Figura 3.5, que mostra as médias dos tempos de leitura das figuras 5.17 e 5.19, percebemos a mesma sobreposição dos intervalos das médias, o que torna difícil afirmar que há diferenças entre esses grupos, considerando o tempo de leitura. Mesmo apresentando valores diferentes, pela sobreposição dos intervalos, não temos como afirmar que há diferenças significativas.

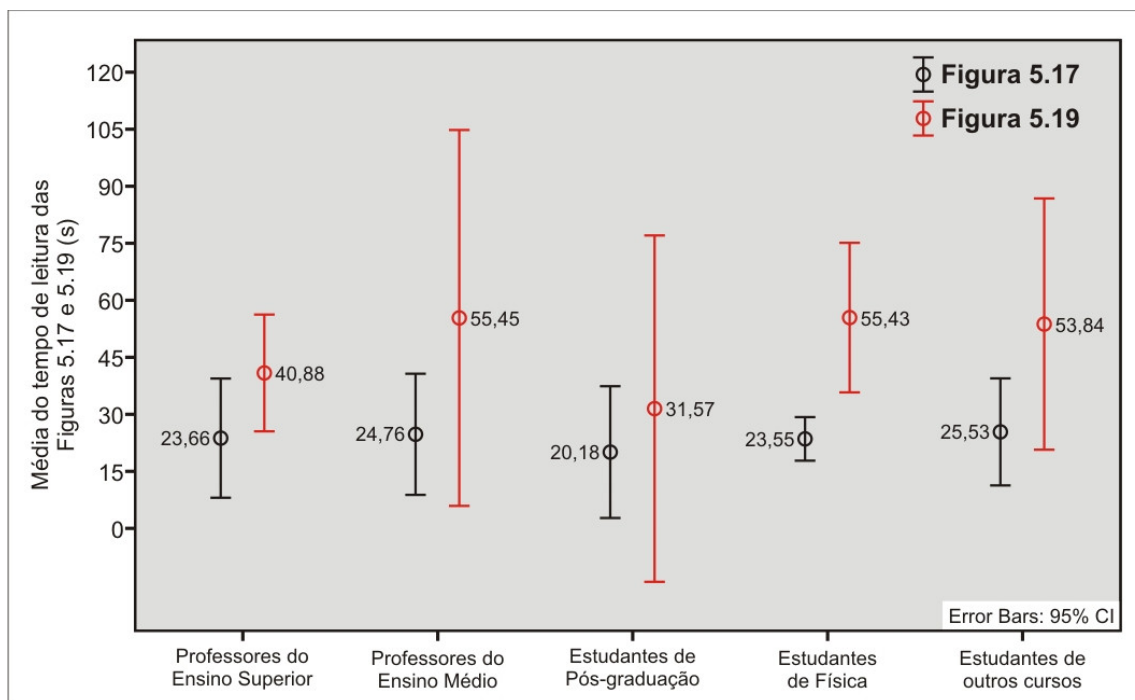


Figura 3.5: gráfico das médias dos tempos de leitura das Figuras 5.17 e 5.19.

Vimos que os tempos de leitura, pelo menos nas condições em que realizamos esse estudo, não nos permitiram verificar possíveis diferenças entre nossas categorias de leitores. Diante disso, passamos a cogitar que talvez a diferença estivesse na forma de interação do leitor com o modo. Por exemplo, ao ler uma figura, pode ser que professores e estudantes de física tenham tempos de leitura semelhantes, mas se atentem para elementos distintos dela. Com esse pensamento em mente buscamos avaliar visualmente os *heatmaps* da leitura da Figura 5.19, uma vez que ela é composta por vários modos. Observe a Figura 3.6.

A Figura 3.6 mostra um conjunto de *heatmaps* da leitura da Figura 5.19, com dois exemplos de cada categoria. À esquerda, leitores que dedicaram muita atenção à figura,

lendo vários de seus elementos. À direita, leitores que se dedicaram minimamente à Figura 5.19.

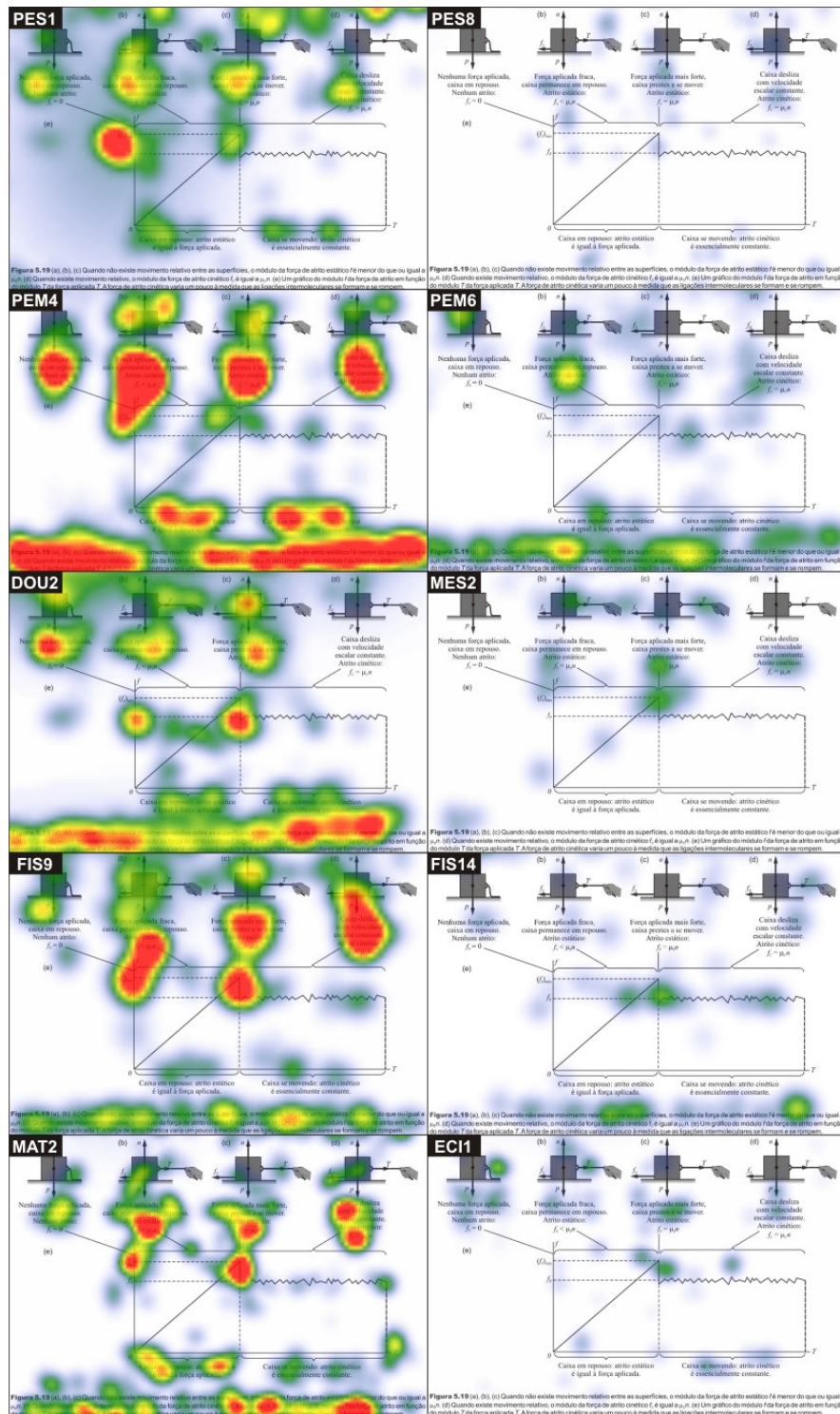


Figura 3.6: heatmaps de leitores das diferentes categorias que se dedicam bastante à leitura da Figura 5.17 (à esquerda) e que praticamente não leem a figura (à direita).

Note que nos dois casos há representantes de todas as categorias (professores dos ensinos Superior (PES) e Médio (PEM), estudantes de Pós-graduação (MES e DOU), estudantes de graduação em Física (FIS) e em outros cursos). Em uma mesma categoria, é possível ter um leque de variações dos padrões de leitura, indicando que esse processo é bastante idiossincrático. Não conseguimos estabelecer um padrão que nos permitisse identificar um comportamento de leitura distinto entre professores e estudantes.

Uma vez que nossa hipótese inicial não havia se confirmado, passamos a estudar os caminhos de leitura seguidos por cada leitor, assistindo a seus *scanpaths* e analisando os gráficos da sequência de leitura das áreas de interesse. Esse movimento nos levou a diferentes grupos de leitores não em termos de professores e estudantes, mas em termos de leitores que realizam muitas transições entre os diferentes modos, perfazendo uma leitura que segue a multimodalidade do texto, e leitores que quase não realizam esses movimentos, que leem o texto multimodal como se fosse um texto puramente verbal. Esse movimento também nos permitiu observar que grande parte dos leitores segue um caminho de leitura muito orientado pelo modo verbal, isto é, de cima para baixo e da esquerda para a direita. Na próxima seção exploraremos esses dados.

3.2 O texto multimodal das páginas 148 e 149

Tendo por objetivo da pesquisa investigar aspectos da leitura multimodal de textos didáticos de Física, uma das orientações necessárias a seguir dizia respeito à seleção de uma obra que contivesse uma boa quantidade e diversidade de modos. Conforme apontamos no capítulo de metodologia, o texto de Young e Freedman (2008) apresentava essas características na abordagem das forças de atrito. Em 2,77 páginas foram utilizados o texto verbal, uma fotografia (Figura 5.16), duas figuras esquemáticas (Figura 5.17 e Figura 5.18), uma tabela com valores dos coeficientes de atrito estático e cinético (Tabela 5.1), duas equações algébricas destacadas do corpo do texto (Equação 5.5 e Equação 5.6), algumas equações inseridas em meio ao texto verbal e uma figura que ocupa cerca de meia página contendo diagramas de força, texto verbal, equações algébricas e um gráfico (Figura 5.19). Desses modos, apenas a Figura 5.19 e a Equação 5.6 se encontram na página 150. A fotografia está na página 148 e todos os demais na página 149.

A leitura da página 149, portanto, poderia nos revelar muitos aspectos acerca do comportamento dos leitores frente a um texto multimodal. Com uma vasta diversidade de modos presentes em uma única página poderíamos avaliar como os leitores se movimentam entre eles, se seguem as indicações do texto verbal, se integram os modos na direção de leitura de um texto puramente verbal, isto é, de cima para baixo e da esquerda para a direita, ou apresentam outros caminhos idiossincráticos etc. Nesse capítulo vamos nos

ocupar em analisar a leitura dessa página específica do texto. Vamos iniciar descrevendo o texto de forma geral, a fim de explicitar certas características de alguns modos e, mais adiante, abordaremos a forma como os leitores interagiram com ele.

A Figura 3.7 apresenta o texto das páginas 148 e 149. Dada a quantidade de modos presentes nessas páginas, o texto verbal apresenta muitos apontadores indexicais (*indexical pointers* - Baldry e Thibault, 2006) para direcionar o olhar do leitor aos demais modos. Na Figura 3.7 os apontadores indexicais estão destacados no texto, e o leitor pode ver a qual modo cada um deles se refere. Posicionamos as duas páginas em uma mesma figura, mas note que o apontador Figura 5.17 está situado na página 148 e remete o leitor a um modo exibido na página 149. Lembramos que durante a leitura os participantes da pesquisa não tinham acesso às duas páginas da forma mostrada na Figura 3.7, uma ao lado da outra. O participante tinha acesso a uma página, centralizada na tela. Rolando o mouse para cima e para baixo ele podia acessar outras páginas de modo contínuo.

148 FÍSICA I

5.3 Forças de atrito

Vimos diversos problemas nos quais o corpo fica em repouso ou desliza sobre superfícies que exercem forças sobre ele. Quando dois corpos interagem por contato (toque) direto entre suas superfícies, tratamos essa interação como *força de contato*. A força normal é um exemplo de força de contato; nesta seção, examinaremos outra força de contato, que é a força de atrito.

O atrito é importante em muitos aspectos de nossa vida cotidiana. O óleo no motor de um automóvel minimiza o atrito entre as partes móveis, porém, não fosse o atrito entre os pneus do carro e o solo, não poderíamos dirigir um carro nem fazer curvas. O arraste do ar – a força de atrito exercida pelo ar sobre um corpo que nele se move – faz aumentar o consumo de combustível de um carro, mas possibilita o uso de pára-quadras. Sem atrito, os pregos pulariam facilmente, os bulbos das lâmpadas se desentrosariam sem nenhum esforço e o hóquei no gelo seria impraticável (Figura 5.16).

Atrito estático e atrito cinético

Quando você tenta deslocar ao longo do solo uma caixa cheia de livros, não consegue movê-la, a menos que aplique uma força superior a um certo valor mínimo. Depois que a caixa começa a se mover, normalmente você consegue mantê-la em movimento com uma força menor do que a aplicada para iniciar o movimento. Se você retira alguns livros da caixa, precisa fazer uma força menor tanto para começar o movimento quanto para mantê-lo. Quais as conclusões gerais que podemos extrair desse comportamento?

Primeiramente, quando um corpo está em repouso ou desliza sobre uma superfície, podemos sempre decompor as forças de contato em componentes perpendiculares e paralelas à superfície (Figura 5.17). Chamamos o vetor componente perpendicular à superfície de força normal e




Figura 5.16 A prática do hóquei no gelo depende decisivamente do atrito entre os patins do jogador e o gelo. Quando o atrito é muito elevado, o jogador se locomove muito lentamente; quando o atrito é muito pequeno, o jogador dificilmente evita sua queda.

Capítulo 5 Aplicações das leis de Newton 149

a representamos por \vec{n} . O vetor componente paralelo à superfície (e perpendicular a \vec{n}) é a força de atrito, representada por \vec{f} . Caso as superfícies em contato não possuam atrito, \vec{f} é igual a zero, mas ainda existe uma força normal. (Superfícies sem atrito são idealizações inatingíveis, como uma corda sem massa. Mas podemos assim considerá-las, quando o atrito for suficientemente pequeno.) O sentido da força de atrito é sempre contrário ao sentido do movimento relativo entre as duas superfícies.

As forças de atrito e normal são, na verdade, componentes de uma única força de contato.

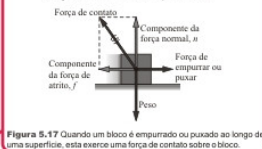


Figura 5.17 Quando um bloco é empurrado ou puxado ao longo de uma superfície, esta exerce uma força de contato sobre o bloco.

O tipo de atrito que atua quando um corpo está deslizando sobre uma superfície denomina-se **força de atrito cinético** f_c . O adjetivo 'cinético' e o índice inferior c servem para lembrar que existe um movimento relativo entre as duas superfícies. O *módulo* da força de atrito cinético geralmente cresce quando a força normal cresce. Por isso, você realiza uma força maior para arrastar uma caixa cheia de livros do que para arrastá-la quando ela está vazia. Esse princípio também é usado no sistema de freio de um carro: quanto mais as pastilhas de freio são comprimidas contra o disco de freio, maior é o efeito da frenada. Em muitos casos, verifica-se experimentalmente que o módulo da força de atrito cinético, f_c , é proporcional ao módulo n da força normal. Em tais casos, podemos representar a relação pela equação

$$f_c = \mu_c n \quad (5.5)$$

onde μ_c (pronuncia-se: "mi, índice c") possui um valor constante denominado **coeficiente de atrito cinético**. Quanto mais deslizante for uma superfície, menor será o seu coeficiente de atrito. Como se trata da razão entre duas grandezas, μ_c é um número puro sem unidades.

ATENÇÃO Forças de atrito e normal são sempre perpendiculares. Lembrando de que a Equação (5.5) não é uma equação vetorial porque f_c e \vec{n} são sempre perpendiculares. Em vez disso, representa uma relação escalar entre os módulos das duas forças.

Material	Coefficiente de Atrito Estático, μ_s	Coefficiente de Atrito Cinético, μ_c
Aço com aço	0,74	0,57
Alumínio com aço	0,61	0,47
Cobre com aço	0,53	0,36
Látex com aço	0,51	0,44
Zinco com ferro doce	0,85	0,21
Cobre com ferro doce	1,05	0,29
Vidro com vidro	0,94	0,40
Cobre com vidro	0,68	0,53
Teflon [®] com Teflon [®]	0,04	0,04
Teflon [®] com aço	0,04	0,04
Borracha com concreto (seco)	1,0	0,8
Borracha com concreto (úmido)	0,30	0,25

A Equação (5.5) é apenas uma representação aproximada de um fenômeno muito complexo. Em nível microscópico, a força de atrito e a força normal decorrem de interações intermoleculares (fundamentalmente de natureza elétrica) entre duas superfícies rugosas nos pontos onde elas se tocam (Figura 5.18). A medida que um bloco desliza sobre um piso, ligações microscópicas se formam e se rompem, e o número total dessas ligações é variável; portanto, a força de atrito cinético não é rigorosamente constante. Alisar as superfícies em contato pode, na verdade, aumentar o atrito, visto que mais moléculas se tornam aptas a formar ligações; juntar duas superfícies lisas de um mesmo metal pode produzir uma 'solda a frio'. Os óleos lubrificantes fazem diminuir o atrito porque uma película de óleo se forma entre as duas superfícies (como no caso do pistão e das paredes do cilindro no motor de um carro), impedindo-as de entrar em contato efetivo.

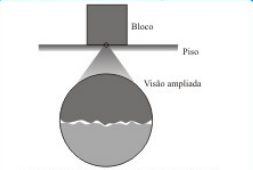


Figura 5.18 A força de atrito e a força normal decorrem de interações entre moléculas nos pontos mais elevados das superfícies de contato entre o bloco e o piso.

Figura 3.7: páginas 148 e 149 do livro de Young e Freedman (2008) com a indicação dos apontadores indexicais e seus respectivos referentes.

O texto se inicia na coluna direita da página 148, com o título da seção em negrito, com fonte maior que o restante do texto, situando para o leitor o tema a ser abordado. O primeiro parágrafo do texto também tem essa função, de colocar o tema da seção.

No segundo parágrafo o texto apresenta ao leitor vários exemplos de situações cotidianas onde a presença do atrito é desejável, e também situações onde se busca a sua redução. Logo no fim desse segundo parágrafo, um apontador indexical direciona o leitor para a fotografia da Figura 5.16. A última frase do segundo parágrafo diz o seguinte: “Sem atrito, os pregos pulariam facilmente, os bulbos das lâmpadas se desenroscariam sem nenhum esforço e o hóquei no gelo seria impraticável (Figura 5.16).”.

Esse segundo parágrafo revela um esforço do texto em aproximar o tópico de estudo da vida cotidiana do leitor. Por meio de muitos e variados exemplos, que cobrem fenômenos bastante distintos como a redução do atrito pelo óleo do motor, a necessidade do atrito para manter um carro em uma curva ou um prego fixado, o texto verbal aumenta a gravidade semântica, e também a densidade semântica. Ao oferecer exemplos do cotidiano, de onde partirão as discussões sobre os modelos para o atrito, o texto reforça a gravidade semântica, ancorando a teoria ao mundo empírico. Ao relacionar uma gama de fenômenos muito distintos a um tópico de conteúdo comum, o texto amplia a gama de significados ligados à atuação das forças de atrito, aumentando, assim, a densidade semântica.

Embora a fotografia tenha sido criticada por vários leitores, tanto professores quanto estudantes, pois seu conteúdo tem pouca relação com o cotidiano brasileiro, ela não deixou de ser percebida como um esforço do texto para aproximar a Física do dia a dia. Percebemos essa visão dos participantes por meio das entrevistas. A 8ª questão de ambas as entrevistas solicitava aos participantes que falassem sobre a informação que cada modo não verbal comunicava ao leitor do texto. Em um universo de 42 leitores, 33 responderam que a fotografia da Figura 5.16 desempenhava um papel de contextualizar o conteúdo, de aproximar a física do cotidiano, de exemplificar uma situação onde o atrito estava presente. A fala do estudante FIS11 é um bom exemplo dessa visão. Quando perguntamos a ela o que a fotografia comunicava, ela respondeu o seguinte:

FIS11: A Física na vida real; está contextualizando isso aqui. Fotografia é coisa que a gente vê no dia a dia.

Apesar de grande parte dos leitores perceber a fotografia como um esforço de aproximar a Física do cotidiano, seu valor como um modo que comunica informações relevantes para a compreensão do fenômeno é pequeno. A 5ª questão da entrevista dos estudantes perguntava a eles se atribuíam diferentes graus de importância aos diferentes modos presentes no texto. Dentre os 23 estudantes, 10 minimizam o valor das fotografias. No caso dos professores não havia uma pergunta explícita sobre isso, mas alguns se manifestaram nesse sentido na resposta à 8ª questão. Veja as falas do professor PES2 e do estudante FIS9.

PES2: Essa primeira aqui (se referindo à fotografia) foi uma que eu nem olhei. Isso aqui para mim é para o livro ficar mais bonitinho, mais bonito mais agradável. Se você pega aqueles livros antigos eles eram muito duros, né? Hoje os livros são bonitinhos, tem umas figurinhas (incompreensível) que não trazem muita informação; ele só falou lá: oh, no hóquei no gelo também precisa de atrito. Acabou. Não tem mais informação além disso.

FIS9: A primeira (se referindo à fotografia) não comunica nada assim, a ver com o conteúdo, mas representa um exemplo do que ele estava dando.

Para esses dois leitores, a fotografia não tem valor do ponto de vista da abordagem conceitual do fenômeno. Ainda que a vejam como um exemplo, nada mais ela comunica acerca da aprendizagem conceitual sobre o atrito. Uma perspectiva muito diferente será apresentada pelos leitores acerca do diagrama da Figura 5.17.

Dando seguimento à descrição do texto, após a introdução realizada pelos dois primeiros parágrafos, um subtítulo, em negrito, aponta para o leitor que agora o texto irá tratar de forma mais específica sobre as forças de atrito estático e cinético. Para introduzir a força de atrito cinético o texto faz referência à possível experiência do leitor em arrastar uma caixa. O texto se coloca em relação direta com o leitor, usando o pronome você: “Depois que a caixa começa a se mover, normalmente você consegue...” ou “Se você retira alguns livros da caixa...”. Desse modo o texto busca recorrer novamente às experiências empíricas do leitor para introduzir aspectos do modelo teórico sobre a força de atrito.

O primeiro desses aspectos é a compreensão da força de atrito como uma componente da força de contato entre as duas superfícies. A construção dessa noção é realizada pelo texto verbal e pela Figura 5.17. Há um apontador indexical no 2º parágrafo do texto, após o subtítulo que direciona o leitor a essa figura. A Figura 5.17 mostra as forças representadas como vetores sobre uma caixa. Todos os pequenos textos verbais e símbolos presentes nessa figura são mencionados também no corpo do texto verbal principal. Desse modo, a construção de significados nessa parte do texto é realizada pela orquestração das informações presentes no texto e na figura.

O texto define e caracteriza a força de atrito, porém é a figura que apresenta para o leitor sua direção e sentido de atuação. Mais que isso, a figura mostra, para essa situação representada, a relação entre a força de atrito e as demais que podem estar atuando sobre um corpo em movimento. A figura é utilizada nessa situação devido à sua potencialidade para construir significados topológicos (Lemke, 1998). As relações espaciais entre os vetores que ela permite representar, não podem ser realizadas com facilidade pelo texto

verbal. Além disso, as regras da adição vetorial parecem mais facilmente assimiláveis ao leitor na forma gráfica que na forma algébrica.

A Figura 5.17 tem uma importância reconhecida na Física. Grande parte dos problemas envolvendo a ação de forças parte da sua representação como vetores sobre os corpos e a exploração desse tipo de representação costuma ser exaustiva na Física. Isso ficou evidente também nas entrevistas. Como os vetores se constituem também como uma entidade Matemática, abordamos a leitura dessa figura em maiores detalhes na terceira seção do Capítulo 5.

Logo após a construção visual, realizada com a integração do texto verbal e da Figura 5.17, o texto passa a construir o aspecto matemático do modelo sobre o atrito. Todo o texto verbal após a figura é direcionado para nomear e atribuir significados aos símbolos da Equação 5.5. É importante ressaltar que o texto se preocupa em significar até o subscrito no símbolo f_c . Vimos que o subscrito é uma forma de discriminar repetições da mesma grandeza em situações distintas. Nas equações matemáticas para a força de atrito estático e cinético, o subscrito é a forma usada para diferenciá-las. No texto f_c é usada para o atrito cinético e f_s para o estático (o *s* vem do inglês *static*; é possível que os tradutores não tenham se atentado para a necessidade em traduzir esse subscrito; é mais comum encontrarmos o uso do símbolo f_e pra representar a força de atrito estático nos livros didáticos).

Após tratar do subscrito, o restante do parágrafo visa levar o leitor à equação $f_c = \mu_c n$. Trechos como “O módulo da força de atrito cinético geralmente cresce quando a força normal cresce.” ou “... da força de atrito cinético f_c é proporcional ao módulo n da força normal.” tratam de relações quantitativas entre a força normal e a força de atrito. A expressão exata dessas relações quantitativas se dá na forma da Equação 5.5. Novamente, para se chegar até à equação, que consiste de uma forma de representação bastante geral, o texto retorna a experiência de puxar uma caixa: “Por isso, você realiza uma força maior para arrastar uma caixa cheia de livros do que para arrastá-la quando ela está vazia.”. Outro exemplo fornecido pelo texto, nesse ponto, é a atuação das pastilhas de freio sobre o disco: quanta mais as pastilhas comprimem o disco, maior é o efeito da freada.

Essa orientação, de partir sempre de uma situação empírica para construir um modelo mais geral, será seguida ao longo de toda a seção. Na Figura 5.19, usada em conjunto com o texto verbal para discutir a atuação do atrito estático, novamente as discussões partirão da experiência de puxar um corpo. Esse movimento, empírico/abstrato, é uma característica muito comum do discurso didático. De acordo com Silva e Mortimer (2010), as ações de linguagem por meio das quais o conhecimento científico é abordado na sala de aula de ciências envolvem a produção de enunciados que ora tomam como base referentes concretos, ora tratam de referentes abstratos. Em determinado momento o

discurso se encontra em uma situação de alta gravidade semântica, em outro de baixa. O discurso da ciência caminha na direção da generalização, de modo que poucos modelos gerais possam explicar uma vasta gama de fenômenos, e como mostrou Doran (2018), nos textos didáticos é comum que ele parta de situações mais próximas de um contexto específico.

Dando seguimento ao texto, a Tabela 5.1 é apresentada ao leitor no alto da coluna direita da página 149. Embora seja composta basicamente por texto verbal, a tabela se destaca do corpo do texto por apresentar uma diagramação em linhas e colunas, visualmente distinta. Lemke (1998) conceitua as tabelas como uma forma de organização que permite ao leitor acessar dados de forma rápida e eficiente. A Tabela 5.1 é uma organização sintética de informações que nos parece, também, contribuir para reforçar a gravidade semântica.

O texto final da coluna esquerda havia nomeado o símbolo μ_c como coeficiente de atrito cinético e relacionado esse coeficiente com o deslizamento de duas superfícies. A tabela apresenta exemplos de valores do coeficiente de atrito entre superfícies de materiais que podem ser reconhecidos no cotidiano, como a borracha dos pneus, o concreto do piso, o teflon do revestimento das painéis antiaderentes, o vidro, o aço, o alumínio e o cobre.

Há que se ressaltar que o texto não explora a tabela nesse ponto, isso é deixado a cargo do leitor. Diferentemente de outros modos, em que apontadores indexicais foram utilizados para direcionar o leitor do texto verbal para eles, a tabela não possui menção no texto dessa página. A primeira menção a ela ocorrerá no 1º parágrafo da página seguinte (página 150 do livro). Naquele parágrafo, em dois momentos, dois apontadores indexicais direcionarão o olhar do leitor para os coeficientes de atrito estático e cinético da Tabela 5.1. Aqui, nesse ponto, ela foi inserida sem muita conexão com o texto. O estudante de Engenharia Química EMI1 menciona o fato de não gostar de tabelas no texto porque elas ficam “muito jogadas”, isto é, não são exploradas ao longo do texto.

De modo geral, a Tabela 5.1 não recebeu muita atenção dos participantes no momento da leitura. Dentre os 47 participantes, 27 leram pouco a tabela, da forma exemplificada pelo *heatmap* da Figura 3.8A. Quando os tons do *heatmap* estão mais para o azul e o verde, indicam pouco tempo de permanência sobre determinada região. Os leitores cujo *heatmap* se assemelham à Figura 3.8B leram um pouco mais, e constituem um grupo de 13 participantes. Por fim, apenas 7 leitores apresentaram *heatmaps* como o da Figura 3.8C. Esses, de fato, se dedicaram a ler a tabela e observar todas as suas informações.

Logo após a tabela, a primeira frase se inicia com um apontador indexical que se refere à Equação 5.5. Essa frase tem relação com o processo de modelagem da ciência, que envolve algum grau de simplificação ao representar os fenômenos: “A Equação (5.5) é apenas uma representação aproximada de um fenômeno muito complexo.”. Seguindo

O'Halloran (2005), eis aqui outra diferença entre a matemática da Física e aquela ensinada pelos matemáticos. As expressões matemáticas que admitem alguma incerteza não utilizam o sinal de igualdade. O relacionador (\approx) é empregado quando a expressão à esquerda é, de fato, igual à expressão à direita, formando uma equação. Na Física, esse relacionador não expressa sempre uma igualdade. Há um limite de validade para as equações que deve ser obedecido para que elas sejam válidas.

Tabela 5.1 Valores aproximados dos coeficientes de atrito			Tabela 5.1 Valores aproximados dos coeficientes de atrito			Tabela 5.1 Valores aproximados dos coeficientes de atrito		
Material	Coefficiente de Atrito Estático, μ_s	Coefficiente de Atrito Cinético, μ_k	Material	Coefficiente de Atrito Estático, μ_s	Coefficiente de Atrito Cinético, μ_k	Material	Coefficiente de Atrito Estático, μ_s	Coefficiente de Atrito Cinético, μ_k
Aço com aço	0,74	0,57	Aço com aço	0,74	0,57	Aço com aço	0,74	0,57
Alumínio com aço	0,61	0,47	Alumínio com aço	0,61	0,47	Alumínio com aço	0,61	0,47
Cobre com aço	0,53	0,36	Cobre com aço	0,53	0,36	Cobre com aço	0,53	0,36
Látex com aço	0,51	0,44	Látex com aço	0,51	0,44	Látex com aço	0,51	0,44
Zinco com ferro doce	0,85	0,21	Zinco com ferro doce	0,85	0,21	Zinco com ferro doce	0,85	0,21
Cobre com ferro doce	1,05	0,29	Cobre com ferro doce	1,05	0,29	Cobre com ferro doce	1,05	0,29
Vidro com vidro	0,94	0,40	Vidro com vidro	0,94	0,40	Vidro com vidro	0,94	0,40
Cobre com vidro	0,68	0,53	Cobre com vidro	0,68	0,53	Cobre com vidro	0,68	0,53
Teflon com Teflon	0,04	0,04	Teflon com Teflon	0,04	0,04	Teflon com Teflon	0,04	0,04
Teflon com aço	0,04	0,04	Teflon com aço	0,04	0,04	Teflon com aço	0,04	0,04
Borracha com concreto (seco)	1,0	0,8	Borracha com concreto (seco)	1,0	0,8	Borracha com concreto (seco)	1,0	0,8
Borracha com concreto (úmido)	0,30	0,25	Borracha com concreto (úmido)	0,30	0,25	Borracha com concreto (úmido)	0,30	0,25

Figura 3.8: diferentes leitores em interação com a Tabela 5.1 no momento da leitura do texto: o leitor de (A) quase não lê a tabela, o de (B) lê um pouco mais e o de (C) lê bastante a tabela.

A razão para a limitação da Equação 5.5 é fornecida logo a seguir no texto verbal: “Em nível microscópico, a força de atrito e a força normal decorrem de interações intermoleculares (fundamentalmente de natureza elétrica) entre as superfícies rugosas nos pontos onde elas se tocam (Figura 5.18)”. Essa frase, a frase seguinte e a Figura 5.18 agregam mais um grande conjunto de significados ao termo força de atrito.

A força de atrito, que era apenas uma componente de uma força mecânica de contato, agora ganha contornos de natureza elétrica e de interações entre átomos e moléculas. Um conjunto de conhecimentos sobre interações elétricas entre átomos e moléculas passa a ser associado com o fenômeno do atrito. A Figura 5.18 também contribui para associar novos significados. O zoom dessa figura não tem por objetivo mostrar um aspecto do mundo submicroscópico, mas do microscópico que, em princípio, poderia ser acessado por meio de um potente microscópio. O significado comunicado pela figura é o de que as superfícies, mesmo muito lisas, possuem irregularidades. Portanto, texto e figura contribuem para aumentar em grande medida a densidade semântica associada às forças de atrito. O texto explicita a natureza submicroscópica do atrito nos pontos de contato e a figura representa as irregularidades das superfícies nesses pontos de contato.

Em boa parte desse último parágrafo da página 149, a discussão se dá em um patamar de baixa gravidade semântica. O texto está tratando de aspectos relativos ao modelo corpuscular da matéria, que se aplicam de modo geral a vários tipos de superfície. Contudo, ao final do parágrafo, a gravidade semântica volta a aumentar. O texto faz menção

à redução do atrito entre as partes de um motor de carro pela existência de uma película entre as superfícies, criada pelos óleos lubrificantes

Nessa pequena descrição do texto vimos que alguns modos estão diretamente relacionados a outros por meio de apontadores indexicais explícitos, ao passo que outros nem tanto. Em certos momentos, o apontador não é usado para levar o leitor ao modo, mas apenas como forma de se referir a ele. Esse é o caso do apontador indexical Equação 5.5 da primeira frase do texto após a tabela. Na seção seguinte vamos analisar como os leitores interagiram com os modos nessas páginas.

3.3 A interação dos leitores com os modos das páginas 148 e 149

Vimos na seção anterior que diversos modos foram empregados na construção do conceito de força de atrito dinético. Em alguns momentos a discussão estava em um nível de baixa gravidade semântica e em outros de alta gravidade semântica. Vimos, também, que ao longo do texto novos significados foram gradativamente adicionados ao termo força de atrito, aumentando sua densidade semântica e que nem sempre a informação comunicada pelo modo verbal é repetida pelo não verbal. Isso reforça a tese de Doran (2018), que a Física se constitui, necessariamente, por meio da linguagem, da Matemática e das imagens.

Essa diversidade de modos, orquestrados para compor o texto de uma única página, levou Kress (2003) e Baldry e Thibault (2006) a sugerirem uma forma de leitura diferente daquela definida pelo modo escrita (de cima para baixo e da esquerda para a direita). Baldry e Thibault (2006) sugerem o modelo de salto entre blocos, onde o leitor saltaria entre os blocos de informações (os diferentes modos, por exemplo) de acordo com seu interesse. Para eles, os textos científicos multimodais oferecem múltiplos caminhos de leitura e o leitor estaria livre para ir para frente e para trás no texto, escolhendo a que se atentar.

De fato, isso poderia ocorrer, uma vez que todos os modos se apresentam instantaneamente ao leitor no momento em que ele visualiza a página. Mas, do nosso ponto de vista, a compreensão do texto passa pela coordenação das informações advindas dos diferentes modos, o que implica a necessária integração da escrita com os modos não verbais. Como vimos na seção anterior, muitos elementos dos modos não verbais adquirem significados a partir do texto verbal.

Kress (2003) defende que a leitura de um texto multimodal se dê a partir de um escaneamento modal, onde o leitor visualiza os vários modos presentes na página. Após esse escaneamento inicial ele se desloca aos modos que deseja ler, conforme seu interesse particular. A Figura 3.9 representa um caminho de leitura que segue esse padrão.

Se deslocando da página anterior, o estudante de Química Tecnológica QTC1 inicia a leitura do trecho mostrado na Figura 3.9 pelo caminho sinalizado pelo número 1. Ele lê a coluna esquerda do texto e, em seguida, pelo caminho indicado pelo número 2, se desloca até a tabela. Observa alguns elementos na tabela, principalmente os títulos das colunas, e pelo caminho indicado pelo número 3, retorna à coluna esquerda do texto, mais precisamente na legenda da figura. Ele segue lendo a coluna esquerda até o final da página. Na Figura 3.9 os círculos são fixações do olhar em um ponto e as linhas são as sacadas entre uma fixação e outra.

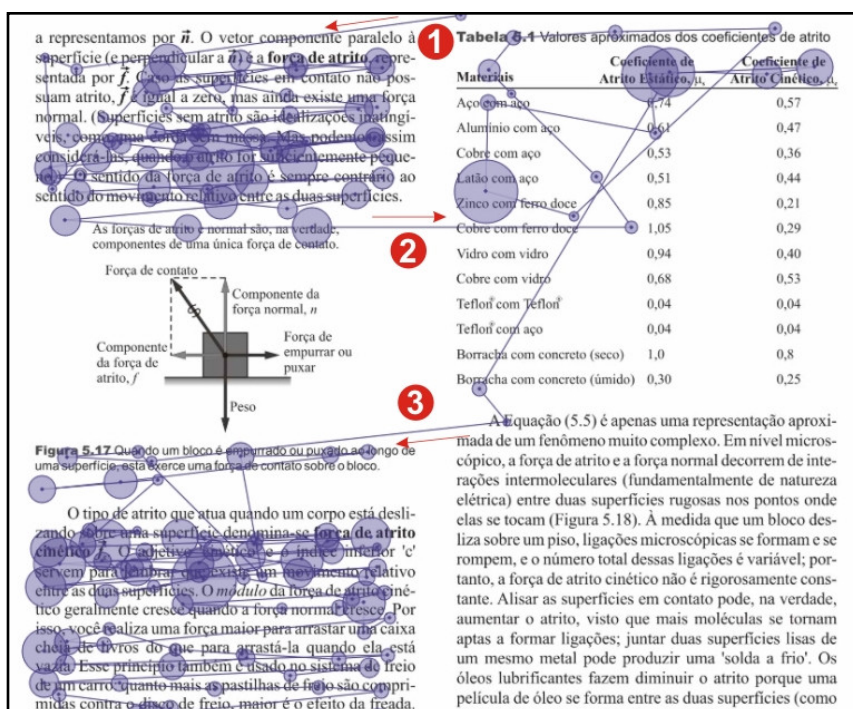


Figura 3.9: QTC1, leitor que realiza a leitura saltando entre modos que não estão diretamente relacionados.

É importante ressaltar que o texto da coluna esquerda não faz menção a nenhum elemento citado na tabela. A discussão dos autores do livro nesse texto é sobre as forças representadas no diagrama da Figura 5.17, completamente ignorada por esse leitor (note que não há uma única fixação do olhar desse leitor no diagrama de forças dessa figura). Portanto, esse leitor, embora não tenha feito o escaneamento modal inicial, ele se desloca pelos modos escolhendo a que se atentar, ignorando as relações entre os modos explicitamente integrados pelo texto.

O movimento mostrado na Figura 3.9, que lembra formas de leitura multimodal sugeridas por Kress (2003) e Baldry e Thibault (2006), ocorreu poucas vezes durante a leitura do texto. Grande parte dos leitores apresentou um comportamento de leitura semelhante ao mostrado na Figura 3.10, que mostra os caminhos de leitura do professor

PES2, em que as movimentações entre os modos se dão muito mais de cima para baixo do que entre modos quaisquer presentes na página.

Capítulo 5 Aplicações das leis de Newton 149

Tabela 5.1 Valores aproximados dos coeficientes de atrito

Material	Coefficiente de Atrito Estático, μ_s	Coefficiente de Atrito Cinético, μ_k
Aço com aço	0,74	0,57
Alumínio com aço	0,61	0,47
Cobre com aço	0,53	0,36
Latão com aço	0,51	0,44
Zinco com ferro doce	0,35	0,28
Cobre com ferro doce	0,35	0,25
Vidro com vidro	0,90	0,80
Cobre com vidro	0,68	0,53
Teflon® com Teflon®	0,04	0,04
Teflon® com aço	0,04	0,04
Borracha com concreto (seco)	1,0	0,8
Borracha com concreto (úmido)	0,30	0,25

A Equação (5.5) é apenas uma representação aproximada de um fenômeno muito complexo, em nível microscópico, a força de atrito e a força normal decorrem de interações intermoleculares (fundamentalmente de natureza elétrica) entre duas superfícies rugosas nos pontos onde elas se tocam (figura 5.18). A medida que um bloco desliza sobre um piso, ligações microscópicas se formam, se rompem, e o número total dessas ligações é variável, portanto, a força de atrito cinético não é rigorosamente constante. Visar as superfícies em contato pode, na verdade, aumentar o atrito, visto que mais moléculas se tornam aptas a formar ligações; juntar duas superfícies lisas de um mesmo metal pode produzir uma solda a frio. Os óleos lubrificantes fazem diminuir o atrito porque uma película de óleo se forma entre as duas superfícies (como no caso do pistão e das paredes do cilindro no motor de um carro), impedindo-as de entrar em contato efetivo.

Figura 5.17 Quando um bloco empurrado ou puxado ao longo de uma superfície, esta exerce uma força de contato sobre o bloco.

O tipo de atrito que atua quando um corpo está deslizando sobre uma superfície denomina-se **força de atrito cinético** (f_c). O adjeivo 'cinético' e o índice inferior 'c' servem para lembrar que existe um movimento relativo entre as duas superfícies. O **módulo** da força de atrito cinético é grande que cresce quando a força normal cresce. Por isso, você realiza uma força maior para arrastar uma caixa cheia de livros do que para arrastá-la quando ela está vazia. Esse princípio também é usado no sistema de freio de um carro: quanto mais as pastilhas de freio são comprimidas contra o disco de freio, maior é o efeito da freada. Em muitos casos, verifica-se experimentalmente que o módulo da força de atrito cinético f_c é **proporcional** ao módulo n da força normal. Em tais casos, podemos representar a relação pela equação

$$f_c = \mu_k n \quad (5.5)$$

onde μ_k (pronuncia-se: "mi, índice c") possui um valor constante denominado **coeficiente de atrito cinético**. Quanto mais deslizante for uma superfície, maior será o seu coeficiente de atrito. Como se trata da razão entre duas grandezas, μ_k é um número puro e sem unidades.

ATENÇÃO Forças de atrito e a força normal não são sempre perpendiculares. Lembre-se de que a Equação (5.5) não é uma equação vetorial, porque f_c e n não são perpendiculares. Em vez disso, representa uma relação escalar entre os módulos das duas forças.

Figura 5.18 A força de atrito e a força normal decorrem de interações entre moléculas nos pontos mais elevados das superfícies de contato entre o bloco e o piso.

Figura 3.10: leitor que segue um caminho de leitura mais orientado pelo modo verbal.

O professor PES2, na Figura 3.10, chega à página 149 pelo caminho assinalado pelo número 1 (vindo da coluna direita da página anterior). Sua leitura segue, basicamente, da esquerda para a direita, e de cima para baixo, em cada coluna (como sugerem as setas

vermelhas). Somente no caminho indicado pelo número 2 ele realizou um movimento diferente. Nesse caminho ele saiu da coluna esquerda do texto verbal, foi até à tabela, onde realizou três fixações, e retornou à coluna esquerda para continuar a leitura. Ele continua lendo, seguindo o modo escrita, e ao terminar a coluna esquerda passa para o início da coluna direita pelo caminho indicado pelo número 3.

Assistindo ao caminho de leitura trilhado por um participante como o mostrado na Figura 3.10, vemos que as transições ocorrem, majoritariamente, no sentido de cima para baixo em cada coluna de texto. Quando termina a coluna esquerda, o participante inicia a leitura da parte superior da coluna direita, seguindo exatamente o padrão do modo escrita ocidental.

A raridade da observação de *scanpaths* como o da Figura 3.9, em comparação com a opção seguida pela maioria, indicada pela Figura 3.10, parecia indicar que o padrão do modo escrita se mostra mais significativo na definição do caminho de leitura que o escaneamento modal. Para verificar essa importância na organização da leitura que o modo verbal parece desempenhar, realizamos uma tomada de dados baseada nas áreas de interesse (ADI) mostradas na Figura 3.11.

Essa figura mostra a parte final da página 148 e toda a página 149 do texto utilizado na pesquisa. A página 149, rica em diferentes modos, seria bastante propícia para observarmos a forma como os participantes realizariam sua integração durante a leitura. Embora nosso interesse fosse a página 149, selecionamos o texto do último parágrafo da página 148, pois nele aparece um apontador indexical que direciona o olhar do leitor para a Figura 5.17, apresentada na página 149.

Cada trecho de texto verbal das páginas 148 e 149, bem como os diferentes modos não verbais contidos nelas, foram selecionados como diferentes áreas de interesse (ADI). Ao todo temos 10 ADI, cada uma delas com uma cor diferente: Texto 1 (ocre), Figura 5.16 (preto), Texto 2 (verde claro), Figura 5.17 (vermelho), Texto 3 (azul claro), Equação 5.5 (marrom), Texto 4 (cinza), Tabela 5.1 (azul escuro), Texto 5 (laranja), Figura 5.18 (verde escuro). As cores se apresentam bem suaves na Figura 8 (por exemplo, o vermelho parece rosa) pois o software apresenta as cores como transparências, de modo que possamos ver os elementos selecionados. Infelizmente alguns rótulos cobrem partes importantes das ADI mostradas na Figura 8, como ocorre na Equação 5.5. Caso o leitor deseje ver os elementos sem as ADI, pode consultar o apêndice A. Lembramos ao leitor que essas ADI (coloridas e destacadas como na Figura 3.11) não são visualizadas pelos participantes durante a leitura do texto.

O trecho final da página 148 (Texto 1, na Figura 3.11) contém um apontador indexical que remete o leitor, explicitamente, à Figura 5.17, que se encontra na página seguinte (veja a parte superior da Figura 3.11). Antes, porém, há uma figura que mostra

uma fotografia de jogadores de hóquei, cujo apontador indexical está no fim do segundo parágrafo da página 148 (não mostrado na Figura 3.11).

apontador indexical

Parte final da página 148

desse comportamento?

Primeiramente, quando um corpo está em repouso ou desliza sobre uma superfície, podemos sempre decompor as forças de contato em duas componentes perpendiculares e paralelas à superfície (Figura 5.17). Chamamos o vetor componente perpendicular a superfície de **força normal** e o componente paralelo a superfície de **força de atrito**.

Textos 1 e 2

Textos 3 e 4

Equação (5.5)

onde μ_c (pronuncia-se: "mi, índice c") possui um valor constante denominado **coeficiente de atrito cinético**. Quanto mais deslizante for uma superfície, menor será o seu coeficiente de atrito. Como se trata da razão entre duas grandezas, μ_c é um número puro sem unidades.

ATENÇÃO Forças de atrito e normal são sempre perpendiculares. Lembre-se de que a Equação (5.5) não é uma equação vetorial porque f_c e n são sempre perpendiculares. Em vez disso, representa uma relação escalar entre os módulos das duas forças.




Figura 5.16

Figura 5.16 A prática do hóquei no gelo depende decisivamente do atrito entre os patins do jogador e o gelo. Quando o atrito é muito elevado, o jogador se locomove muito lentamente; quando o atrito é muito pequeno, o jogador dificilmente evita sua queda.

Textos 1 e 2

Textos 3 e 4

Equação (5.5)

onde μ_c (pronuncia-se: "mi, índice c") possui um valor constante denominado **coeficiente de atrito cinético**. Quanto mais deslizante for uma superfície, menor será o seu coeficiente de atrito. Como se trata da razão entre duas grandezas, μ_c é um número puro sem unidades.

ATENÇÃO Forças de atrito e normal são sempre perpendiculares. Lembre-se de que a Equação (5.5) não é uma equação vetorial porque f_c e n são sempre perpendiculares. Em vez disso, representa uma relação escalar entre os módulos das duas forças.

Capítulo 5 Aplicações das leis de Newton 149

Tabela 5.1 Valores aproximados dos coeficientes de atrito

Materiais	Coeficiente de Atrito Estático, μ_s	Coeficiente de Atrito Cinético, μ_c
Aço com aço	0,74	0,57
Alumínio com aço	0,61	0,47
Cobre com aço	0,53	0,36
Latão com aço	0,51	0,44
Zinco com ferro doce	0,25	0,21
Cobre com ferro doce	1,05	0,29
Vidro com vidro	0,94	0,40
Cobre com vidro	0,68	>

Tabela

Equação (5.5)

onde μ_c (pronuncia-se: "mi, índice c") possui um valor constante denominado **coeficiente de atrito cinético**. Quanto mais deslizante for uma superfície, menor será o seu coeficiente de atrito. Como se trata da razão entre duas grandezas, μ_c é um número puro sem unidades.

ATENÇÃO Forças de atrito e normal são sempre perpendiculares. Lembre-se de que a Equação (5.5) não é uma equação vetorial porque f_c e n são sempre perpendiculares. Em vez disso, representa uma relação escalar entre os módulos das duas forças.

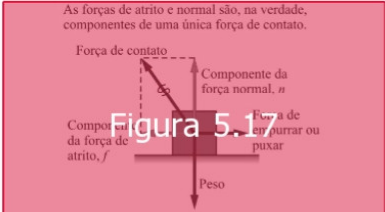


Figura 5.17

Quando um bloco é empurrado ou puxado ao longo de uma superfície, esta exerce uma força de contato sobre o bloco.

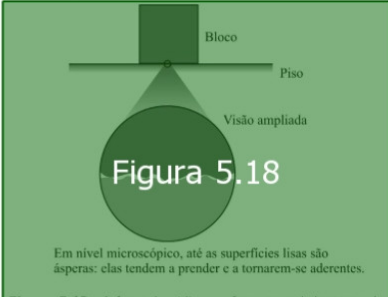


Figura 5.18

Em nível microscópico, até as superfícies lisas são ásperas: elas tendem a prender e a tornarem-se aderentes.

Figura 5.18 A força de atrito e a força normal decorrem de interações entre moléculas nos pontos mais elevados das superfícies de contato entre o bloco e o piso.

Figura 3.11: ADI criadas nas páginas 148 e 149; cada retângulo constitui uma ADI diferente.

Na página 149 são encontrados diversos modos distribuídos ao longo da página: texto verbal, 2 figuras, 1 equação algébrica e 1 tabela. Em alguns trechos do texto verbal dessa página há apontadores indexicais que integram explicitamente o texto verbal com outros modos. Esse é o caso dos apontadores destacados com uma elipse azul na Figura 3.11. Há trechos onde não há um apontador indexical explícito, mas o texto verbal é usado para significar elementos dos outros modos, como acontece no trecho das ADI denominadas Texto 2 e Texto 4. Nesses casos há uma integração implícita entre os modos uma vez que elementos de um são significados pelo outro. A ADI Texto 2, por exemplo, trata dos vetores força normal e força de atrito, bem como dos símbolos usados para representá-los no desenho (n e f). A ADI Texto 4 atribui nome ao símbolo μ_c , que aparece na equação, e trata de particularidades dessa grandeza, bem como de características das forças normal e atrito.

A partir da definição das ADI mostradas na Figura 3.11, construímos os gráficos que mostram o tempo de permanência dos participantes nos diversos modos dessas páginas durante a leitura. Esse tipo de gráfico mostra a sequência de leitura das diversas ADI mostradas na Figura 3.11.

Com base nos dados dos gráficos das ADI podemos afirmar que grande parte dos participantes segue caminhos de leitura definidos pela escrita ocidental (de cima para baixo e da esquerda para a direita), embora haja variações entre os indivíduos. A partir dos dados identificamos cinco grupos distintos entre os participantes: i) leitores que realizam muitas transições entre o texto verbal e os modos não verbais, seguindo a multimodalidade do texto; ii) leitores que apresentam um caminho de leitura mais linear, mas realizam alguma integração de diferentes modos em determinados momentos do texto; iii) leitores que possuem um caminho de leitura bastante linear, mas realizam algumas transições com a Equação 5.5; iv) leitores que não seguem a multimodalidade do texto em momento algum, possuindo um caminho de leitura completamente linear; v) leitores que realizam movimentos multimodais entre modos aparentemente sem relação entre si, em certo aspecto semelhantes ao escaneamento modal citado por Kress (2003). O Quadro 3.1 mostra a distribuição dos participantes da pesquisa em cada grupo.

Os leitores que compõem o primeiro grupo apresentam um comportamento de leitura que pode ser representado pelos gráficos da Figura 3.12. As faixas coloridas nesse gráfico se referem às cores das diferentes ADI mostradas na Figura 3.11. As diferentes extensões dessas faixas, entre os leitores, dizem respeito aos intervalos de tempo distintos que cada participante dedicou à leitura de cada ADI. As faixas não se iniciam no mesmo instante de tempo porque cada leitor lê o texto com uma velocidade diferente, gastando, portanto, um tempo diferente. O tempo indicado na escala dos gráficos da Figura 3.12 tem início no

momento em que o leitor começa a leitura do texto. Portanto, ao chegar à ADI Texto 1, terá transcorrido um tempo diferente para cada leitor.

Quadro 3.1: grupos de leitores que emergem da análise dos gráficos dos tempos de permanência nas ADI mostradas na Figura 3.11.

Grupo	Participantes	
i	PES1, PEM1, MES1, FIS3, QTC2	5
ii	PES4, PES5, PES6, PES7, PES9, PES10, PES11, PEM3, PEM5, DOU1, DOU2, FIS2, FIS5, FIS8, FIS15, EMI1, QUI1, MAT1, MAT2	19
iii	PEM4, PEM6, FIS1, FIS4, FIS7, FIS9, FIS11, FIS12, FIS13, EQU1, QU2	11
iv	PES2, PES3, PES8, FIS6, FIS14, ECI1, QTC3	7
v	PEM2, MES2, FIS10, FIS16, QTC1	5

As faixas brancas que aparecem entremeio às faixas coloridas referem-se a intervalos de tempo em que o leitor manteve seu olhar fora das áreas de interesse mostradas na Figura 3.11. Por exemplo, se o leitor olhar para as laterais da página, saindo da ADI, o gráfico registra como um espaço em branco, pois seu olhar não estava sobre ADI alguma.

Faixas muito estreitas que aparecem nos gráficos podem significar apenas passagens rápidas dos olhos do leitor, não configurando um foco de atenção. Por esse motivo, nas análises que se seguem, nossas considerações se baseiam nos gráficos e nas movimentações que visualizamos ao assistir os *scanpaths* dos leitores. Nos gráficos da Figura 3.12 estão representados professores dos Ensinos Superior (PES1) e Médio (PEM1), estudantes de mestrado (MES1), de graduação em Física (FIS3) e de Química Tecnológica (QTC2).

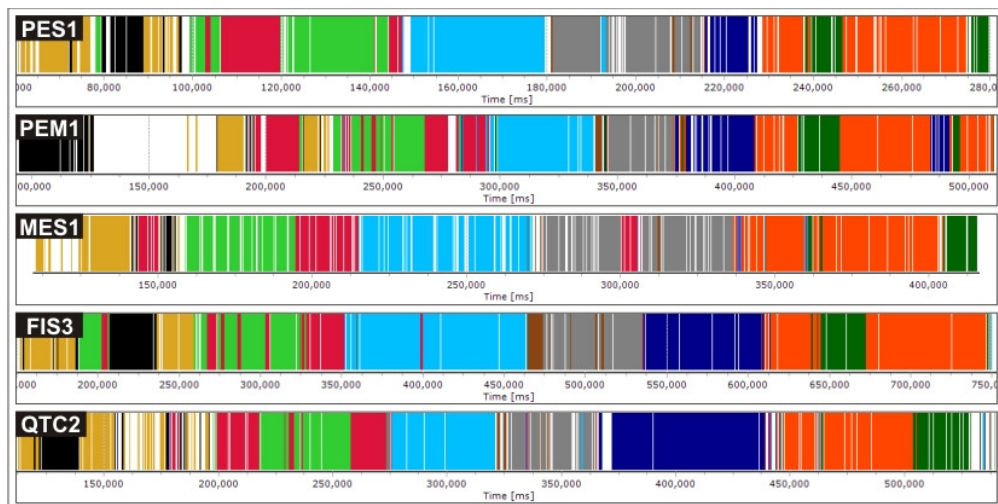


Figura 3.12: leitores pertencentes ao grupo i.

Os participantes desse grupo realizam uma leitura que segue a multimodalidade do texto da página 149, integrando o texto verbal aos demais modos relacionados a ele, seja implícita, ou explicitamente por meio de apontadores indexicais. Em nosso trabalho encontramos 5 leitores que apresentam esse tipo de caminho de leitura.

Esses leitores seguem caminhos de leitura que apresentam muitas integrações entre os diferentes modos, o que significa realizar movimentos de ir e vir entre o texto verbal e os modos relacionados a ele. O caminho de leitura trilhado por esses leitores não segue apenas de cima para baixo, mas há muitos movimentos de baixo para cima, quando o leitor coordena informações do texto verbal com elementos representados nos modos não verbais. A fim de ajudá-lo a compreender a leitura desse gráfico, vamos fazer uma descrição mais detalhada para esse primeiro leitor.

O professor do Ensino Superior PES1 inicia a leitura do texto na ADI Texto 1 (em ocre), passa brevemente pela ADI Figura 5.16 (estreita faixa preta em meio à ocre) e segue para a ADI Texto 2 (em verde claro) – lembre-se que as cores nesse gráfico dizem respeito às cores de cada ADI da Figura 5X. Logo que inicia a ADI Texto 2 ele retorna para ler a legenda da fotografia da Figura 5.16, que ele não havia lido. Por isso há uma faixa preta extensa logo depois da primeira faixa verde claro. Finalizada a leitura da legenda, ele retoma a leitura da ADI Texto 1 e segue para a ADI Texto 2.

A ADI Texto 2 está fortemente relacionada à Figura 5.17 (cor vermelha). O professor PES realiza 3 movimentos de ir e vir entre o a ADI Texto 2 e a ADI Figura 5.17. Note como há faixas vermelhas (referentes à permanência do leitor sobre a ADI Figura 5.17) entremédio à faixa verde claro. Possivelmente esse leitor está estabelecendo as relações entre os termos abordados no texto verbal e os símbolos e textos da Figura 5.17. Há um momento nessa leitura em que ele se dedica bastante a ler apenas a figura, como mostra a extensa faixa vermelha.

Logo em seguida ele passa para a ADI Texto 3 (cor azul), que tem relação com a Equação 5.5. Na leitura desse texto ele não realiza movimentações para outras ADI (a faixa azul não contém outras cores). Finalizada a ADI Texto 3 ele passa muito brevemente pela ADI Equação 5.5 (faixa marrom bem estreita) e segue para a ADI Texto 4 (cor cinza). No momento em que lê a ADI Texto 4, mais ao final, ele retorna duas vezes à ADI Equação 5.5. Note as duas faixas marrons entremédio à faixa cinza. Na ADI Texto 4 o texto verbal se refere a símbolos da Equação 5.5 e a particularidades da força de atrito cinético. Há também um apontador indexical que remete o leitor à equação. Esse leitor pode ter realizado essas movimentações verificando, na equação, algo tratado no texto.

Finalizada a coluna esquerda de texto o leitor PES1 passa para a coluna direita, iniciando pela leitura da tabela (faixa azul no gráfico). Logo em seguida ele passa à ADI Texto 5 (cor laranja). Na ADI Texto 5 há dois apontadores indexicais, um que menciona a

Equação 5.5 e outro que direciona o leitor para a ADI Figura 5.18. Esse leitor ignora o primeiro, possivelmente pela sua familiaridade com a equação, ou pelo fato do texto não trazer nenhuma informação que ele tenha julgado relevante para verificar, mas segue o segundo. Ele se desloca até a ADI Figura 5.18 (primeira faixa verde escura no meio da faixa laranja), lê alguns elementos dessa figura, e retorna ao texto verbal. Continua lendo até o final e para novamente para ler a Figura 5.18 (segunda faixa verde escura). Acompanhando as cores nesses gráficos, portanto, podemos ter uma boa ideia dos caminhos de leitura trilhados pelo leitores.

O professor do Ensino Médio (PEM1) apresenta um caminho de leitura que promove integrações entre os modos explicitamente relacionados pelos apontadores indexicais e os modos relacionados implicitamente. Esse professor inicia a leitura do texto e logo ao final do segundo parágrafo segue o apontador indexical que o direciona à Figura 5.16. Ele lê a figura e sua legenda e retorna à leitura do texto verbal. Por esse motivo há uma faixa branca entre a preta e a ocre no gráfico desse professor, pois essa parte do texto não foi selecionada como uma ADI (conforme dito anteriormente, o apontador indexical que direciona o olhar do leitor para a Figura 5.16 se encontra no final do segundo parágrafo do texto, não selecionado como uma ADI nessa análise). Para facilitar a discussão, reproduzimos o gráfico do professor PEM1 na Figura 3.13.

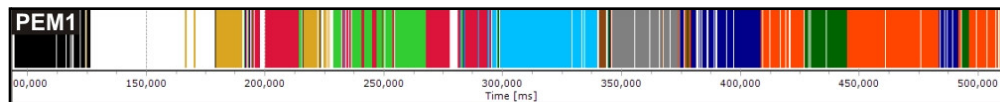


Figura 3.13: reprodução de parte da Figura 3.12; leitor pertencente ao grupo i.

Na ADI Texto 1 há um apontador indexical que direciona o leitor para a Figura 5.17. Esse professor se desloca até a figura, lê os elementos presentes nela e retorna àquela parte do texto. Esse leitor segue também o apontador indexical que o direciona da ADI denominada Texto 5 para a Figura 5.18.

Além de realizar movimentos de integração entre os modos seguindo os apontadores indexicais, esse leitor realiza muitos movimentos que não são explicitamente direcionados pelo texto. Alguns desses movimentos ocorrem entre a Figura 5.17 e o texto verbal anterior a ela. Note que há várias faixas vermelhas e verdes claras intercaladas, indicando movimentações de ir e vir entre essas duas áreas. Há também uma pequena transição no momento da leitura da Equação 5.5 e do texto que a acompanha (ADI Texto 4).

Uma movimentação mais visível se dá no momento em que esse professor está lendo a ADI denominada Texto 5. Note, na Figura 3.13, que um pouco antes da última faixa verde há uma faixa azul escura, que representa a leitura da tabela (por volta do instante 480 s). Assistindo ao *scanpath* desse leitor, identificamos que essa movimentação se deu nas

proximidades do trecho do texto verbal que fala da redução do atrito pelos óleos lubrificantes em um motor. Não é possível afirmar com certeza, mas a impressão que se tem é que esse leitor se desloca até a tabela para buscar informações sobre algo relacionado ao coeficiente de atrito das partes do motor banhadas por óleo, afinal, ele segue em grande medida a multimodalidade do texto. Esse leitor, portanto, parece compreender a necessidade de integrar os diversos modos de forma a construir significados mais profundos.

Os outros leitores também realizaram muitas transições entre o texto verbal e diferentes modos, com movimentos de ir e vir. Por exemplo, o estudante de Física FIS3, que realiza muitas transições entre as ADI Texto 2 (verde claro) e Figura 5.17 (vermelha), bem como entre as ADI Equação 5.5 (marrom) e Texto 4 (cinza). Em se tratando dessa última, é possível observar que houve várias transições entre a equação e o texto que a segue. Nesses movimentos o estudante parece atribuir sentido aos elementos da equação a partir das informações sobre os símbolos matemáticos fornecidas pelo texto verbal. Reproduzimos o gráfico desse estudante na Figura 3.14.

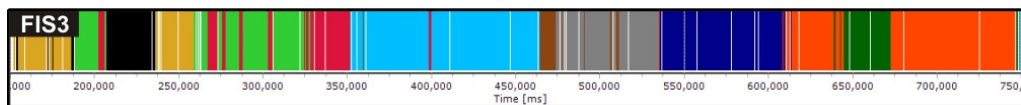


Figura 3.14: reprodução de parte da Figura 3.12; leitor pertencente ao grupo i.

No segundo grupo se encontram leitores que realizaram bem menos integrações entre os diferentes modos do que os do grupo (i), mas ainda assim, realizaram alguma integração entre diferentes modos. Esses leitores apresentam um caminho de leitura bastante direcionado pelo modo escrita, mas, em alguns momentos, realizam um movimento que foge a esse direcionamento. Desse grupo, de 19 participantes, alguns estão representados na Figura 3.15. Nessa figura temos um professor do Ensino Superior (PES5) e um do Ensino Médio (PEM5), um estudante de doutorado (DOU1) e dois estudantes de graduação, sendo um em Física (FIS8) e o outro em Engenharia de Minas (EM11).

O caminho trilhado pelo professor PES5 é completamente linear, lendo os modos de cima para baixo, até o apontador indexical Figura 5.18 (verde escuro), inserido da ADI Texto 5 (laranja). Somente nesse ponto o professor se desloca até à Figura, lê seus elementos e retorna ao texto. Um pouco mais ao fim do Texto 5 ele vai à Figura 5.18 novamente.

O professor PEM 5 tem um comportamento muito semelhante ao anterior, com a diferença que ele se dedica à leitura da Figura 5.17 antes de ler o texto verbal relacionado a ela (Texto 2). Ele começa a leitura (ocre), passa pela fotografia (Figura 5.16 – preto), inicia o Texto 2, retorna à fotografia e vai à Figura 5.17. Nesse momento, lê a Figura 5.17 por um bom tempo e volta para ler o texto verbal associado a ela (verde claro).

O estudante de Doutorado segue, em grande medida, o padrão de um texto puramente verbal, mas na leitura da Figura 5.17 (vermelho) e do texto que a antecede (verde claro), ele realiza alguma movimentação. Nesse texto há palavras e símbolos que são reproduzidos na Figura 5.17. Talvez, por uma necessidade de atribuir significados a esses termos e associá-los aos respectivos elementos da Figura 5.17, esse leitor tenha realizado essas movimentações integrando esses modos.

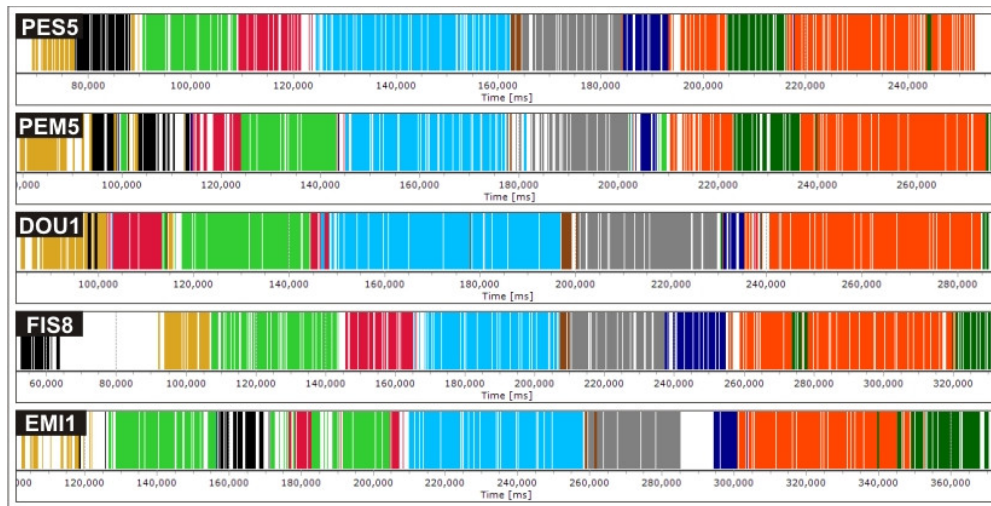


Figura 3.15: leitores pertencentes ao grupo ii.

O estudante de Física realiza duas movimentações que não seguem rigidamente o padrão da escrita. Durante sua leitura, quando ele chega ao apontador indexical Figura 5.16, ele se desloca até a figura para lê-la. Em seguida, ele retorna ao texto que estava lendo e segue para a ADI Texto 1 (em ocre). Por esse motivo aparece uma faixa branca entre o preto e o ocre em seu gráfico, pois nesse intervalo ele estava lendo o texto que se encontra antes da ADI Texto 1, que não foi selecionada como área de interesse.

Esse mesmo estudante também realiza uma movimentação entre a ADI Texto 5 (laranja) e a ADI Figura 5.18 (verde escuro), seguindo o apontador indexical que direciona o leitor dessa parte do texto para a referida figura. Em seguida ele retorna ao texto verbal e, ao final, lê a figura novamente. No caso do estudante EMI1 notamos algumas integrações do Texto 2 (verde claro) com a Figura 5.17 (vermelho) e também ao final do Texto 5 com a figura 5.18. No caso da Figura 5.17 com o Texto 2, parece um movimento de atribuição de sentidos, pois as barras não são muito estreitas e estão bem separadas, indicando um movimento bem determinado. No caso da Figura 5.18 com o Texto 5 parece um movimento realizado mais pela proximidade. As barras em verde escuro são bastante estreitas, indicando um tempo de permanência pequeno, e posicionadas ao final do texto verbal, quase sobre a figura.

No grupo (iii) temos leitores que seguem um caminho muito direcionado pelo modo escrita em quase todo o texto. Ao contrário do (i), os membros desse grupo fazem integrações apenas com a Equação 5.5 (marrom). Todos eles realizam alguma integração da equação com as ADI Texto 3 (azul claro) ou Texto 4 (cinza), que tratam de detalhes dos símbolos da equação. Dos 11 participantes nesse grupo apresentamos 5 na Figura 3.16: dois professores do Ensino Médio (PEM4 e PEM6), e três estudantes de graduação, sendo um de Física (FIS11), um de Química (QUI2) e um de Engenharia Química (EQU1).

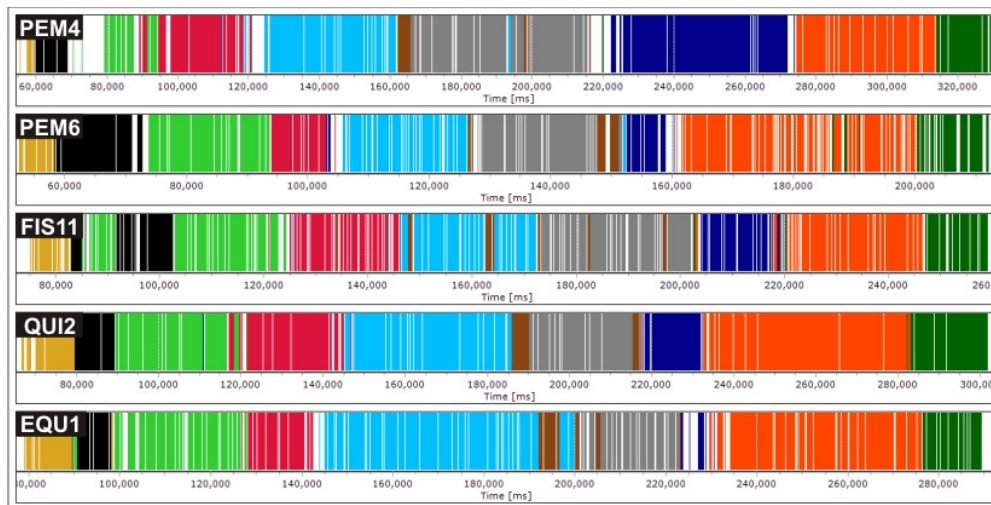


Figura 3.16: leitores pertencentes ao grupo ii.

Como se pode ver pelos gráficos da Figura 3.16, o caminho de leitura desses participantes é muito direcionado pelo modo escrita. Uma exceção mais evidente é o estudante FIS11, que volta para ler a legenda da Figura 5.16 (preto) depois de haver iniciado a leitura da ADI Texto 2 (verde claro). Mas o ponto comum que chama a atenção nesse grupo é a quantidade de movimentações entre as ADI Texto 3 (azul claro) e/ou Texto 4 (cinza) e a ADI Equação 5.5 (marrom).

Tanto o Texto 3 quanto o Texto 4 fazem menção à Equação 5.5, sendo que no último há um apontador indexical para se referir a ela. Essas movimentações, portanto, podem ter surgido como uma necessidade de estabelecer conexões entre as informações comunicadas pelos diferentes modos. Veja, por exemplo, o estudante FIS11. Ele realiza muitos movimentos de ir e vir entre os textos e a equação, como se, a cada termo tratado no texto verbal, ele se deslocasse para associar tal informação à equação. Grande parte dos leitores que realizaram mais movimentações entre a equação e o texto foram os estudantes. Para esse público, elas parecem constituir um modo cuja apreensão é mais difícil. Como as equações constituem um importante aspecto da Física, vamos abordá-las em maiores detalhes no Capítulo 5.

No quarto grupo estão os leitores que realmente não acompanham a multimodalidade do texto. Para eles, o texto multimodal é lido da mesma forma que um texto puramente verbal, de cima para baixo e da esquerda para a direita. Não há movimentos de ir e vir entre os modos. Mesmo os apontadores indexicais são completamente ignorados por esses leitores. Nos gráficos da Figura 3.17 estão representados alguns dos 7 leitores dessa categoria. São eles: professores do Ensino Superior (PES2 e PES8), estudantes de graduação em Física (FIS06), Engenharia Civil (EC1) e Química Tecnológica (QTC3).

Embora sejam muito variáveis os intervalos de tempo dedicados à leitura de cada ADI, como mostram os diferentes comprimentos das bandas coloridas dos gráficos, esses leitores seguem, de modo geral, o mesmo padrão ao trilharem seu caminho de leitura. Eles iniciam lendo o Texto 1 (o α re), observam a Figura 5.16 (preto) e passam para o texto inicial da página 149 (Texto 2 – verde claro). Esses leitores ignoram o apontador indexical presente no texto verbal que os direciona à Figura 5.17.

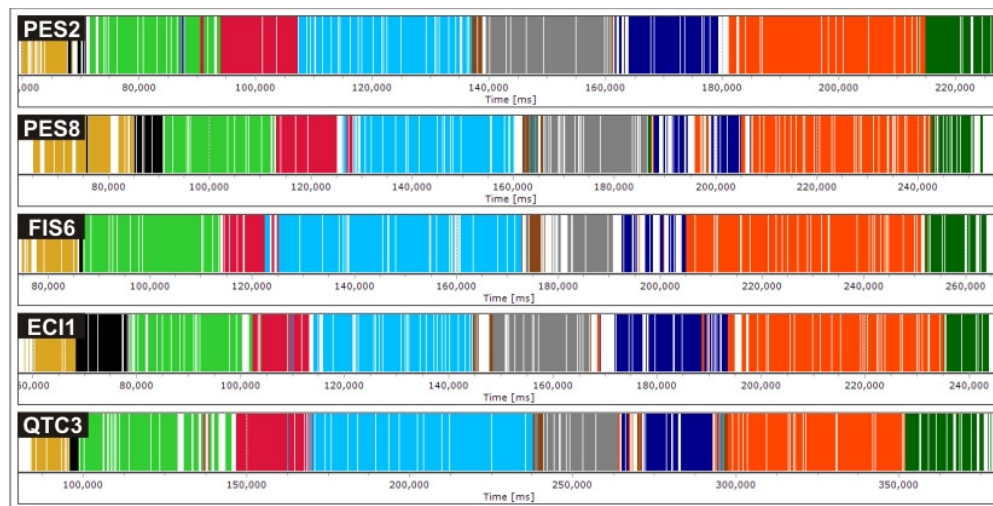


Figura 3.17: leitores pertencentes ao grupo iv.

Finalizado o Texto 2, leem a Figura 5.17 (vermelho), se movem para o Texto 3 (azul claro), passam pela Equação 5.5 (marrom) e finalizam a página lendo o Texto 4 (cinza). Após a leitura do texto verbal, no fim da coluna esquerda da página 149, os leitores se dirigem à Tabela 5.1 (azul escuro), seguem para o Texto 5 (laranja) e finalizam a página lendo a Figura 5.18 (verde escuro).

Os caminhos de leitura representados nesses gráficos se assemelham àqueles seguidos durante a leitura de um texto puramente verbal. Todos os diferentes modos são lidos pelos participantes na medida em que eles seguem o fluxo do texto verbal. Não há deslocamentos aleatórios entre os diversos modos, como sugeriria o deslocamento em blocos (Baldry e Thibault, 2006), nem movimentos de ir e vir entre trechos de texto explicitamente associados a outros modos (mesmo na página 149, que disponibiliza aos

leitores um espectro amplo deles). Mesmo a tabela, que não possui referência explícita nessa parte do texto, é lida ao findar da primeira coluna de texto da página 149, seguindo o modo tradicional de leitura de um texto puramente verbal. Os leitores que apresentam esse comportamento na leitura ignoram completamente os apontadores indexicais explícitos e implícitos.

Por fim, no último grupo, se encontram os leitores que trilham caminhos de leitura nos quais ocorre uma integração aleatória entre modos. Estamos denominando de integração aleatória a movimentação do leitor entre modos que não seguem o padrão da escrita, nem estão diretamente relacionados por apontadores indexicais implícitos ou explícitos. Identificamos 5 leitores nessa categoria, representados no gráfico da Figura 3.18.

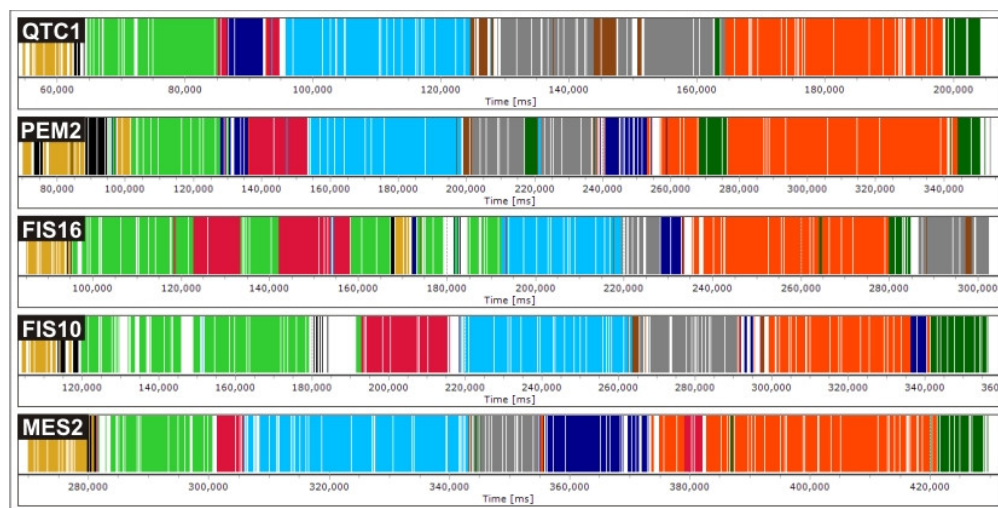


Figura 3.18: leitores pertencentes ao grupo v.

Entre esses leitores, temos 3 estudantes de graduação, sendo um de Química Tecnológica (QTC1) e dois de Física (FIS16 e FIS10), um professor do EM (PEM2) e um estudante de mestrado (MES2).

Uma parte do *scanpath* do estudante QTC1 na leitura da página 149 está reproduzido na Figura 3.19, com uma sobreposição das ADI Texto 2 (verde claro), Figura 5.17 (vermelho) e Tabela (azul escuro). Logo após ler a frase “As forças de atrito e normal são, na verdade, componentes de uma única força de contato”, que aparece acima do desenho da caixa com vetores na Figura 5.17, esse leitor se desloca até a tabela, lê alguns elementos, e retorna para a legenda da figura. Não há nada nos textos, nesse ponto, que relacione esses dois modos. Da mesma forma, não há nada que relacione a ADI Texto 4 com a Figura 5.18, que foi lida por esse estudante logo que finalizou a leitura do Texto 4 (note a faixa verde escura, referente à leitura da Figura 5.18, ao final da faixa cinza). Nesses dois casos, a proximidade entre os modos parece ter sido a razão que levou esse leitor a realizar as integrações.

a representamos por \vec{n} . O vetor componente paralelo à superfície (e perpendicular a \vec{n}) é a **força de atrito**, representada por \vec{f} . Caso as superfícies em contato não possuam atrito, f é igual a zero, mas ainda existe uma força normal. (Superfícies sem atrito são idealizações inatingíveis, como uma corda sem massa). Mas podemos assim considerá-las quando o atrito for suficientemente pequeno. O sentido da força de atrito é sempre contrário ao sentido do movimento relativo entre as duas superfícies.

As forças de atrito e normal são, na verdade, componentes de uma única força de contato.

Figura 5.17 Quando um bloco é empurrado ou puxado ao longo de uma superfície, esta exerce uma força de contato sobre o bloco.

O tipo de atrito que atua quando um corpo está deslizando sobre uma superfície denomina-se **força de atrito cinético**, f_c . O coeficiente cinético, o índice inferior 'c', serve para lembrar que existe um movimento relativo entre as duas superfícies. O **módulo** da força de atrito cinético geralmente cresce quando a força normal cresce. Por isso, você realiza uma força maior para arrastar uma caixa cheia de livros do que para arrastá-la quando ela está vazia. Esse princípio também é usado no sistema de freio de um carro: quanto mais as pastilhas de freio são comprimidas contra o disco de freio, maior é o efeito da freada.

Tabela 5.4 Valores aproximados dos coeficientes de atrito

Materiais	Coefficiente de Atrito Estático, μ_s	Coefficiente de Atrito Cinético, μ_c
Aço com aço	0,74	0,57
Alumínio com aço	0,61	0,47
Cobre com aço	0,53	0,36
Latão com aço	0,51	0,44
Zinco com ferro doce	0,85	0,21
Cobre com ferro doce	1,05	0,29
Vidro com vidro	0,94	0,40
Cobre com vidro	0,68	0,53
Teflon® com Teflon®	0,04	0,04
Teflon® com aço	0,04	0,04
Borracha com concreto (seco)	1,0	0,8
Borracha com concreto (úmido)	0,30	0,25

A Equação (5.5) é apenas uma representação aproximada de um fenômeno muito complexo. Em nível microscópico, a força de atrito e a força normal decorrem de interações intermoleculares (fundamentalmente de natureza elétrica) entre duas superfícies rugosas nos pontos onde elas se tocam (Figura 5.18). À medida que um bloco desliza sobre um piso, ligações microscópicas se formam e se rompem, e o número total dessas ligações é variável; portanto, a força de atrito cinético não é rigorosamente constante. Alisar as superfícies em contato pode, na verdade, aumentar o atrito, visto que mais moléculas se tornam aptas a formar ligações; juntar duas superfícies lisas de um mesmo metal pode produzir uma 'solda a frio'. Os óleos lubrificantes fazem diminuir o atrito porque uma película de óleo se forma entre as duas superfícies (como

Figura 3.19: ADI e scarpeth do leitor QTC1 no início da página 149.

Algo semelhante parece ter ocorrido com o professor do Ensino Médio. Logo após ler a ADI Texto 2 (verde claro), esse professor se desloca até a tabela (azul escuro). Quando está lendo o Texto 4 (cinza) ele também se desloca até a Figura 5.18 (verde escuro), como se pode ver pela faixa verde escura situada no meio da faixa cinza.

No caso do estudante (FIS16), o que nos chama a atenção é o fato de ele retornar à ADI Texto 4 após finalizar a leitura da página 149. Durante a leitura do texto, esse estudante passa muito brevemente pela Equação 5.5 (não é possível ver as linhas na Figura 3.18, pois elas são muito finas). Esse leitor havia ignorado o trecho de texto apresentado no *box* cinza, no final da coluna esquerda da página 149. Nesse *box* os autores mencionam que a Equação 5.5 não é uma relação vetorial, pois as forças normal e atrito são sempre perpendiculares. Somente quando finaliza a leitura da página 149 e vai passar para a página seguinte, esse leitor percebe o *box* e então se desloca até ele. Então ele realiza a leitura das informações e volta à Equação 5.5, conforme se pode ver pelas faixas marrons no meio da faixa cinza no final da leitura.

O ponto que destacamos nos dois últimos leitores mostrados na Figura 3.18 (FIS10 e MES2) é o fato de retornarem a modos pelos quais já haviam passado. Os gráficos desses dois leitores, reproduzidos na Figura 3.20, nos permitem dizer que eles não acompanham a multimodalidade do texto. Ambos apresentam um caminho de leitura muito orientado pela

escrita. Mas, em determinados momentos, esses leitores retornam a modos que não estão diretamente relacionados.

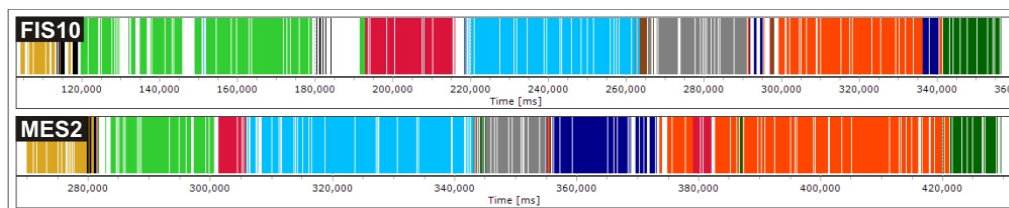


Figura 3.20: reprodução de parte da Figura 3.18; leitores pertencentes ao grupo v.

O estudante FIS10 passa muito brevemente pela tabela (azul escuro) quando finaliza o Texto 4 (cinza). Porém, no momento em que está no final da ADI Texto 5 (laranja) ele retorna à tabela. O texto verbal nesse ponto fala sobre a importância do óleo lubrificante na redução do atrito no motor. Esse movimento, assim como ocorreu com o professor PEM1, pode ser uma busca pelo valor do coeficiente de atrito do óleo com alguma superfície metálica.

No caso do estudante MES2, ele passa brevemente pela Figura 5.17 (vermelho). Segue lendo o texto normalmente, mas no momento em que se encontra no início do Texto 5 (laranja), ele retorna à figura (embora o contraste não seja tão evidente, note uma faixa vermelha posicionada no início da faixa laranja). Essa parte inicial do Texto 5 é o início da discussão acerca da natureza microscópica do atrito. Não há nada que nos pareça ligar essa parte do texto à representação das forças na Figura 5.17.

Os leitores nesse grupo parecem trilhar um caminho de leitura em acordo com as propostas de Kress (2003), e Baldry e Thibault (2006). Em determinados pontos do texto esses leitores optam por um caminho de leitura muito particular, ignorando orientações do texto e fazendo movimentações entre modos não relacionados. O estudante QTC1, por exemplo, opta por ler elementos da tabela quando estava lendo o Texto 2 (fortemente relacionado à Figura 5.17). Esse leitor, inclusive, opta por não realizar a leitura da Figura 5.17. Esses movimentos que ele realiza se assemelham ao que Baldry e Thibault (2006) chamam de salto em blocos (*cluster hopping*). Esse comportamento, no entanto, foi percebido em um número reduzido de leitores. Grande parte dos leitores seguiu um caminho fortemente guiado pelo modo escrita.

A partir da discussão realizada nos parágrafos anteriores, fica evidente a forte influência que o modo escrita parece desempenhar no direcionamento da leitura desse texto multimodal. Há leitores que seguem rigidamente o caminho de leitura de um texto puramente verbal e há outros que realizam alguma movimentação fora desse caminho de leitura. Mas, mesmo para esses, o modo escrita ainda é muito influente na escolha pelo caminho de leitura. Essa influência se mostrou muito intensa em 37 participantes, sendo

que, para 7 deles, do grupo (iv), ela parece ter sido mais significativa. Esses 7 participantes leram o texto multimodal de forma bastante linear, como se fosse um texto puramente verbal, lendo cada modo na sequência em que ele aparece na página, seguindo a lógica do padrão da escrita ocidental. Eles não promoveram muitas integrações entre os modos.

De modo oposto, para 5 participantes, a integração dos modos verbal e não verbais os levou a realizar caminhos de leitura não lineares, com muitos movimentos de ir e vir entre esses modos. Isso foi observado tanto nos momentos em que os modos estavam diretamente integrados por meio de apontadores indexicais, quanto em situações onde não estavam. Nessas últimas, os signos apresentados no texto verbal, reproduzidos também nos demais modos, parecem ter sido os elementos responsáveis pelo movimento dos leitores. Observamos isso no caso da leitura da Figura 5.17 e da Equação 5.5. Tanto no texto anterior a essa figura (ADI Texto 2), quanto no texto posterior à equação (ADI Texto 4), o texto verbal é usado para atribuir nomes e significados aos signos presentes na figura e na equação. Na medida em que o texto investe os signos com significados, aumentando sua densidade semântica, esses leitores se movem à figura e à equação para atribuir o significado ao referente apropriado.

Por fim, notamos que uma leitura mais próxima ao escaneamento modal, em que os leitores se movem pelo texto escolhendo elementos para ler, independente de estarem relacionados ou não, foi observado somente em alguns momentos da leitura de 5 participantes. Para alguns desses, a proximidade dos modos parece ter sido o elemento preponderante na definição do caminho de leitura nos trechos em que ocorreu esse tipo de movimentação. Esse é o caso dos estudantes QTC1, FIS16, e do professor PEM2. Todos eles se moveram entre modos que estavam lateralmente próximos ao ponto do texto que estavam lendo. Os outros dois, FIS10 e MES2, parecem ter tido motivações diferentes para realizarem suas movimentações.

A fim de melhor quantificar essa influência do modo escrita sobre a definição do caminho de leitura, procuramos mensurar as transições realizadas pelos leitores entre os modos presentes nas páginas 148 e 149. Os resultados são apresentados na matriz da Figura 3.22, que mostra as possíveis transições entre todas as diferentes áreas de interesse mostradas na Figura 3.11 (reproduzida na Figura 3.21).

Pela Figura 3.22 é possível observar que as

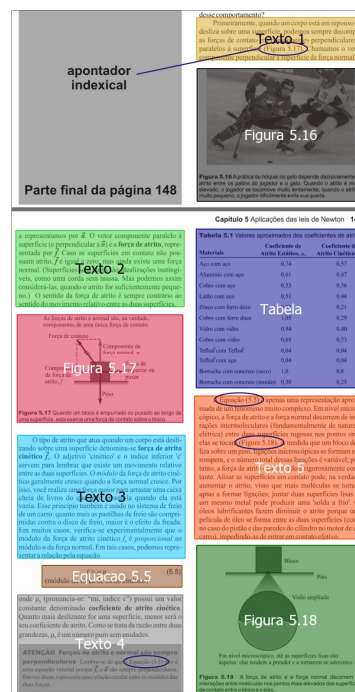


Figura 3.21 – Reprodução da Figura 3.11 da página 89.

transições entre o texto verbal e o modo diretamente relacionado a ele são muito mais significativas que as transições quaisquer entre outros modos, ainda que estejam espacialmente próximos. Para ajudá-lo a ler esse gráfico vamos discorrer sobre as células indicadas pelos números 110 (vermelho) e 92 (amarelo).

Os nomes das ADI da Figura 3.11 estão nas linhas e colunas da matriz. O número no interior da célula indica a quantidade de movimentos que ocorreram entre duas ADI. Para determinar corretamente a quantidade e o sentido dos movimentos, temos que iniciar a leitura pela linha e ir em direção à coluna. Por exemplo, partindo da linha Texto 2 e caminhando até a coluna Figura 5.17, encontramos o número 110 na célula. Isso significa que ocorreram 110 movimentos de leitores da ADI Texto 2 para a ADI Figura 5.17. Agora, no sentido oposto, isto é, da ADI Figura 5.17 para a ADI Texto 2, ocorreram 92 movimentos. Para chegar a esse número, inicie pela linha Figura 5.17 e caminhe até a coluna Texto 2.

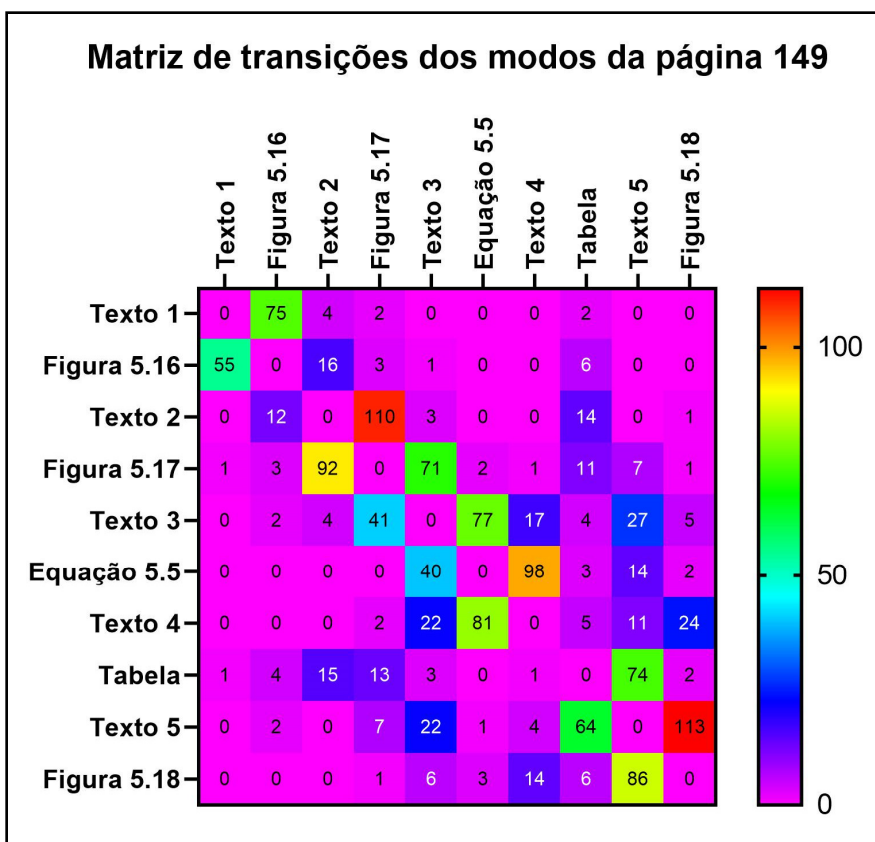


Figura 3.22: matriz de transições entre as várias ADI mostradas na Figura 3.11.

Observando os dados dessa matriz, podemos observar dois pontos importantes: i) quantidades significativas de movimentos ocorrem entre modos posicionados acima/abaixo, como por exemplo, Texto 2 e Figura 5.17, Figura 5.17 e Texto 3, Texto 5 e Figura 5.18; ii) ocorrem mais movimentos no sentido de cima para baixo que no de baixo para cima.

Quanto ao primeiro ponto, note que próximo à diagonal da matriz da Figura 3.22 se encontram as maiores quantidades de movimentos. Nessa região estão representados modos que se encontram acima ou abaixo uns dos outros. Por exemplo, da Equação 5.5 para o Texto 3 ocorreram 40 movimentos, no sentido oposto, 77. Da Equação 5.5 para o Texto 4 foram 98 movimento, no sentido oposto, 81. Quando olhamos para modos posicionados lateralmente, ainda que espacialmente próximos, o número de movimentos é muito menor. Por exemplo, da Figura 5.17 para a Tabela foram 11 movimentos, e da Tabela para a figura, 13. Ou seja, a movimentação entre os modos se dá muito mais no sentido vertical que no horizontal, mesmo entre modos espacialmente próximos.

Quanto ao segundo, os números mostram que a movimentação é maior no sentido de cima para baixo. Em todas as transições, o número de movimentos é maior nesse sentido, o que reforça a ideia de que o modo escrita desempenha um papel importante no direcionamento da leitura.

Movimentos aleatórios entre os modos, que indicam o escaneamento modal seguido por uma leitura em blocos, também acontecem, mas como se pode ver pela Figura 3.22, seu número é muito pequeno perto da quantidade de movimentos que ocorrem no sentido “normal” da leitura. Mesmo a tabela, não integrada ao texto verbal da página 149, foi lida por quase todos os participantes assim que terminaram a coluna esquerda do texto da página 149, seguindo claramente o padrão da escrita.

A partir das discussões realizadas até este ponto, fica evidente que o texto verbal parece desempenhar dois papéis importantes. Ele tanto contribui para que os leitores atribuam significados aos signos presentes nos modos não verbais, em acordo com o que afirma Doran (2018), quanto direciona o caminho de leitura, em maior ou menor medida, conforme o leitor.

Para os leitores que realizam muitas transições entre os modos, indo e vindo entre o texto verbal e os modos não verbais, o texto verbal parece auxiliá-los na significação dos elementos presentes nos modos não verbais. Tem os como exemplo a leitura da Figura 5.17. Alguns participantes leram essa figura fortemente integrada ao texto verbal que a antecede, em um movimento que sugere claramente a atribuição dos significados construídos no texto aos signos representados no diagrama da figura. Outro exemplo é a Equação 5.5 e o texto que a segue. Como esse texto atribui significados aos signos matemáticos usados na equação, alguns leitores realizaram movimentos de ir e vir entre esses modos, integrando os significados construídos em cada um deles.

Por outro lado, para um grande número de leitores, o modo escrita parece direcionar o caminho de leitura. Em vez de relacionar os diferentes modos, coordenando os elementos presentes em um e no outro, esses leitores simplesmente leem os diferentes modos na ordem em que aparecem na página, seguindo o modo da nossa escrita, de cima para baixo

e da esquerda para a direita. Isso significa a leitura de um texto multimodal de forma muito semelhante à leitura de um texto puramente verbal.

A impressão que temos, ao refletir sobre esses resultados é que muitos professores e estudantes não parecem conceber um texto multimodal como constituído de vários modos fortemente integrados. Mesmo quando o próprio texto tenta levar o leitor do texto verbal para um modo não verbal, por meio de um apontador indexical, há participantes que ignoram esse movimento. Se consideramos, a partir de Doran (2018), que a Física faz uso conjunto de linguagem, matemática e imagens para construir seu conhecimento, então a integração dos diversos modos nos parece algo necessário para sua compreensão. Isso traz implicações para nós professores quanto à necessidade de auxiliar nossos estudantes a perceberem os textos como multimodais e a realizarem, de fato, um tipo de leitura que promova a integração das informações advindas dos diferentes modos.

Em certos casos pode-se até discutir se o caminho de leitura sugerido pelo texto contribui para uma integração efetiva dos modos. Como mostrou Alves (2011), há casos em que ocorre uma quebra da coerência e da coesão multimodal do texto. Contudo, mesmo no texto usado nessa pesquisa, no qual vimos certo esforço para ajudar o leitor a integrar as informações advindas dos diversos modos, percebemos que grande parte dessa sugestão de caminho de leitura é ignorada. É necessário auxiliar os estudantes na percepção desses caminhos propostos, uma vez que constituem minimamente, tentativas de levar o leitor a integrar os diferentes modos.

Em nossa perspectiva, leituras rigidamente direcionadas pelo modo escrita, ou aquelas que se assemelham ao salto em blocos de Baldry e Thibault (2006), não contribuem para uma melhor aprendizagem a partir da leitura do texto. Nesses dois tipos de leituras os leitores podem não apreender as informações comunicadas pelos modos da maneira apropriada. Por exemplo, se o caminho de leitura segue rigidamente de cima para baixo, o leitor perde a oportunidade de atribuir, gradativamente, significados aos signos de uma figura complexa a partir do texto verbal. Em geral, esse tipo de atribuição de significados demanda movimentos de ir e vir entre o texto e a figura. De forma semelhante, em um caminho de leitura em que o leitor salta de um modo a outro, deixando de integrar modos explicitamente relacionados, certamente existirão lacunas no conhecimento construído a partir da leitura do texto.

Naturalmente, é preciso relativizar um pouco os resultados que obtivemos tendo em vista nossas escolhas metodológicas. Solicitamos que professores e estudantes realizassem a leitura de um texto didático de Física. É possível que esse texto seja, para muitos professores, principalmente do Ensino Superior, muito trivial. Seu tema, mesmo com toda a diversidade de modos, pode ser tão conhecido que eles simplesmente passaram os olhos pelo texto. Por exemplo, o professor PES8, que tem uma vasta experiência na docência, no

semestre em que realizamos a coleta de dados, estava ministrando a disciplina Fundamentos de Mecânica, utilizando o livro de onde foi retirado o texto usado na pesquisa. Para esse professor o texto é mais que conhecido. Ele gastou aproximadamente 8 minutos para ler o texto, ao passo que a média do tempo de leitura foi de 12 minutos. Quando olhamos o seu *scanpath*, as fixações são pequenas e espaçadas, revelando pouco tempo de permanência no texto. Nesse caso, não era de se esperar muita integração. Estudantes que já cursaram Fundamentos de Mecânica, que se saíram muito bem na disciplina, podem ter tido um comportamento semelhante.

Contudo, ainda que existam limitações dessa e de outras ordens, o fato é que esses dados mostram um aspecto que deve ser considerado por comunidades envolvidas com a produção e o uso dos livros didáticos: a necessidade de cuidar das formas como são construídos os caminhos de leitura que levam à integração dos modos. Se o conhecimento construído pela Física é multimodal, a comunicação desse conhecimento também será. Logo é preciso considerar uma forma apropriada de promover a integração das informações comunicadas pelos diferentes modos de maneira que o leitor de um texto o perceba como uma unidade e não como blocos de informações isoladas.

Capítulo 4 – Aspectos da leitura multimodal revelados pelos movimentos dos olhos dos leitores: leitura das páginas 150 e 151

Nesse capítulo vamos analisar a forma como os diferentes leitores interagem com o texto multimodal das páginas 150 e 151. Essas páginas constituem um exemplo prototípico da afirmação de Doran (2018) de que a física constitui o seu discurso por meio do texto verbal, da Matemática, das imagens e dos gráficos. Boa parte do texto dessas duas páginas está fortemente relacionado a uma figura que é, em si, um elemento multimodal. Essa figura reúne informações importantes sobre o fenômeno do atrito e parece constituir uma síntese para a discussão apresentada no livro. Tal noção de síntese é construída pelo posicionamento e pelos elementos que constituem a figura, que reúne vários dos elementos já abordados no texto e agrega um novo modo: o gráfico. Analisar essa figura, e como os participantes da pesquisa interagem com ela durante a leitura do texto, pode nos fornecer informações relevantes acerca da caracterização dos caminhos de leitura trilhados por esses leitores. Inicialmente faremos uma discussão sobre a figura e seus elementos e, mais adiante, discutiremos sobre os caminhos de leitura trilhados pelos participantes.

4.1 A Figura 5.19 e o texto multimodal das páginas 150 e 151

A Figura 5.19 está situada na parte inferior da página 150, circundada por um texto verbal que faz várias referências a ela por meio de apontadores indexicais. Na Figura 4.1 você pode ver o posicionamento da Figura 5.19 e o texto verbal (destacado em rosa) que trata explicitamente dos elementos nela representados.

Essa figura parece ter, nesse texto, um papel de grande relevância na abordagem didática do atrito. Suas características e posicionamento nos sugerem, pelo menos, quatro razões para sustentar essa afirmação: i) ela ocupa cerca de 20% do espaço total dedicado à abordagem do tema no livro e, diferentemente das demais figuras, se estende por toda a largura da página; ii) em sua composição foram usados, simultaneamente, quatro modos distintos: diagrama, texto verbal, equação e gráfico; iii) seu posicionamento, mais ao final do texto, e a disposição dos modos em sua composição, parecem sugerir uma ideia de síntese para a abordagem das forças de atrito, como um fechamento para a discussão realizada ao longo das páginas anteriores; iv) o texto verbal em torno da figura está fortemente integrado a ela por meio de vários apontadores indexicais que remetem o leitor a vários de seus modos.

Kress e van Leeuwen (2006) afirmam que tamanho relativo, contraste de cores, formas, disposição na página (esquerda, direita, em cima, embaixo, no centro),

posicionamento em primeiro ou segundo plano, dentre outros recursos, são maneiras de conferir importância a um elemento visual. A Figura 5.19 é a maior que aparece em todo o texto, ocupando metade da página 150. Nenhuma outra é constituída por tantos elementos distintos agrupados em um único espaço: quatro desenhos esquemáticos de caixas com vetores, seis pequenos trechos de textos verbais para caracterizar elementos visuais, quatro equações algébricas e um gráfico, além, é claro, da legenda. Em termos visuais, não há dúvidas que se trata de um elemento que chama a atenção do leitor na página. Contudo, há muito trabalho semiótico a ser feito pelo leitor para compreender as informações que ela comunica por meio de seus vários modos.

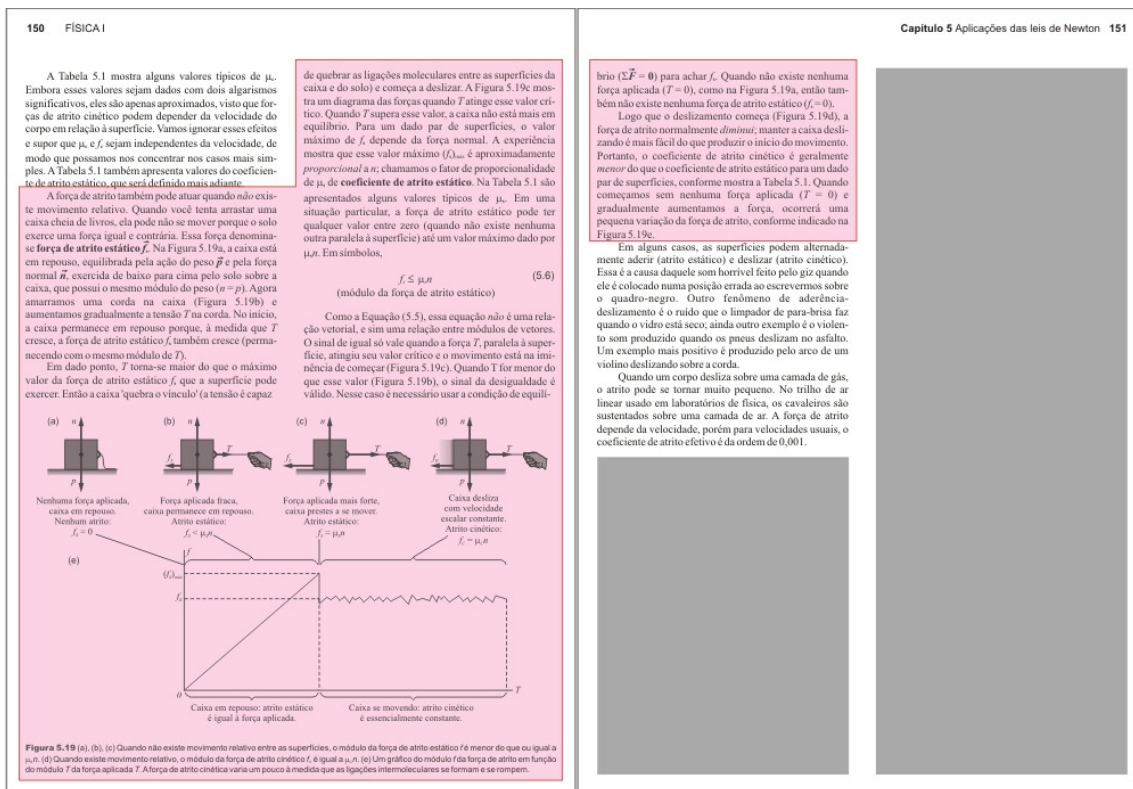


Figura 4.1: páginas 150 e 151 do livro de Young e Freedman (2008), com o texto explicitamente associado à Figura 5.19 em destaque.

Na Figura 4.2 podemos ver em detalhes os quatro modos que constituem a Figura 5.19: os desenhos esquemáticos de caixas com a representação de forças por meio de vetores, os textos verbais que acompanham cada desenho esquemático, que nomeiam as regiões do gráfico e que constituem a legenda da figura, as equações algébricas e o gráfico.

O emprego conjunto dos diferentes modos que compõem a Figura 5.19, bem com o a disposição e a repetição, com pequenas modificações, de alguns de seus signos, poderiam evidenciar uma estrutura narrativa para essa figura. Ela tem por objetivo tratar do atrito de

uma forma geral, mas o faz contando uma história sobre o movimento de uma caixa, que parte do repouso e, sob a ação de uma força, passa a se mover com velocidade constante.

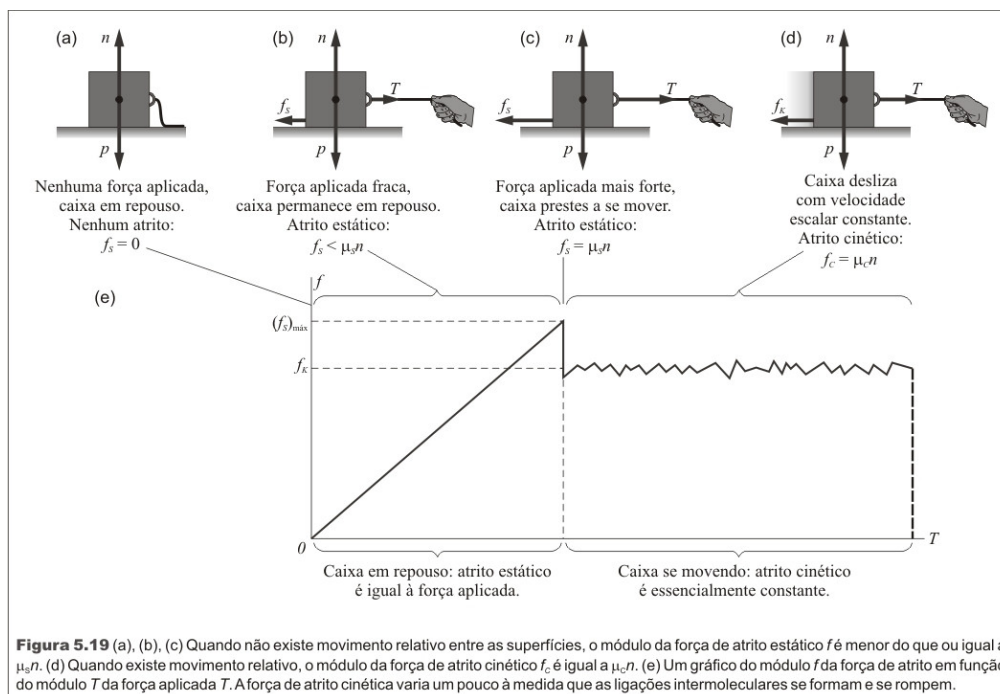


Figura 4.2 reprodução da Figura 5.19 (Young e Freedman, 2008, p. 150).

Um aspecto central de uma sequência textual narrativa é, segundo Bronckart (2003), a existência de uma trama em que os personagens se encontram implicados em acontecimentos organizados de modo sucessivo. O desenrolar dos acontecimentos envolve a criação de uma tensão, que desfaz o equilíbrio inicial e o leva a outro patamar de equilíbrio final. Ao longo desse processo, o produtor do texto seleciona e organiza os acontecimentos de modo a compartilhar com o leitor sua forma particular de compreensão da história.

Ao desenvolver sua gramática para o design visual, Kress e van Leeuwen (2006) discutem que uma figura que apresenta um processo narrativo visa apresentar ações e eventos se desdobrando no tempo, processos de mudança e arranjos espaciais transitórios. Em um primeiro momento a Figura 5.19 parece se enquadrar nessa classificação. Ela apresenta seus participantes implicados em eventos que se desenrolam sucessivamente no tempo. Além disso, podemos identificar um estado de equilíbrio inicial (a caixa em repouso), uma ação que quebra esse estado de equilíbrio (a ação da mão que puxa a caixa) e um estado de equilíbrio final (quando a caixa passa a se mover com velocidade constante). No entanto, de acordo com Kress e van Leeuwen (2006), falta a essa figura um elemento fundamental das representações visuais narrativas: a presença de um vetor. O vetor mostra algum tipo de movimento ou direção, estabelece a conexão entre os participantes

representados na figura e indica o que um realiza com o outro (lembramos ao leitor que esse vetor de Kress e van Leeuwen é uma entidade conceitual diferente do vetor usado na física para representar forças, embora, é claro, ambos compartilhem certas propriedades). Para esses autores há uma categoria que parece ocupar uma posição intermediária entre uma figura que mostra um processo analítico e outra que mostra um processo narrativo. Essa categoria, denominada de processo analítico temporal, se mostra mais apropriada à Figura 5.19.

Essa aproximação a uma figura analítico temporal decorre do fato de que não é o movimento da caixa a informação que a Figura 5.19 visa comunicar ao leitor. A figura tem por objetivo abordar o fenômeno do atrito de um ponto de vista mais elaborado, mostrando seu aspecto estático e cinético, bem como as suas várias formas de representação. O movimento da caixa é necessário pois o atrito se manifesta quando há movimento relativo entre duas superfícies ou quando há tendência de movimento relativo (caso o atrito estático esteja atuando entre as superfícies). Se não há movimento relativo, nem tendência de movimento relativo, então não há atrito.

Uma figura que realiza um processo analítico relaciona seus participantes em termos de uma estrutura parte-todo. Elas envolvem dois tipos de participantes: o portador (*carrier* – o todo) e qualquer número de atributos possessivos (*possessive attributes* – as partes). (Kress e van Leeuwen, 2006, p. 87). Esses autores discutem sete tipos diferentes de figuras que tratam de processos analíticos. Segundo eles, o que distingue uma figura analítico temporal das demais é a presença de uma linha do tempo. Kress e van Leeuwen (2006) afirmam que

linhas do tempo envolvem a dimensão temporal e isso sugere a narrativa. No entanto, essas linhas não são vetoriais e, em vez de representar a história como um desdobramento gradual de eventos, elas a analisam em estágios sucessivos com características fixas e estáveis, estágios que podem ser tratados como se fossem coisas. ... os participantes (às vezes estruturas inteiras, 'cenãs') são organizados em uma linha real ou imaginária, geralmente horizontal, às vezes vertical. A linha do tempo pode ser topográfica, desenhada em escala ou topológica, reunindo os participantes na sequência correta, mas sem desenhá-los os intervalos de tempo 'em escala'. p. 94.

Na Figura 5.19 o portador é o fenômeno do atrito, representado no todo da figura. Cada caixa, representada em um instante de tempo, bem como cada região do gráfico e cada equação, podem ser considerados como atributos possessivos desse fenômeno. Cada um desses elementos pode ser tratado como um estágio do suposto movimento que a caixa possui, estáveis naquele instante de tempo fixado no papel, que permite uma análise sobre

aspectos do movimento da caixa naquele momento. Todos esses elementos são diferentes formas de representação de partes do fenômeno, que juntos fornecem ao leitor uma visão mais ampla do fenômeno.

Para evidenciar a passagem do tempo entre cada instantâneo do movimento, a Figura 5.19 utiliza o recurso da repetição do participante (a caixa) e conta com a experiência do leitor com o modo escrita ocidental (e, como veremos mais adiante, demanda a interação com o texto verbal da página). Observando a Figura 4.2 vemos que a cada quadro a caixa se apresenta com pequenas modificações em relação aos quadros vizinhos. Por meio de comparações entre esses quadros o leitor percebe as modificações na ação da força (pela presença da mão e pela modificação no tamanho dos vetores). A compreensão que o tempo passa, no movimento representado, da esquerda para a direita, vem da experiência do leitor com a leitura de textos da esquerda para a direita. O primeiro quadro se encontra mais à esquerda, e o movimento se desenvolve em direção à direita. Além disso, essa noção é reforçada pelo uso das letras do alfabeto para designar cada instantâneo do movimento. O primeiro instantâneo é designado pela letra *a* – primeira letra –, o instantâneo seguinte, pela letra *b*, e assim sucessivamente.

A fim de garantir que o leitor perceba, de fato, as modificações representadas nos desenhos esquemáticos, são empregados também pequenos textos que descrevem a situação na qual se encontra a caixa naquele instante de tempo representado e o tipo de atrito que atua sobre ela. Quando trata do uso das imagens na física, Doran (2018) menciona suas limitações para a comunicação quando compostas apenas por elementos imagéticos, sem um texto verbal ou outro recurso. Em suas análises, ele explicita o papel dos textos verbais nas imagens como forma de ampliar a densidade semântica dos termos usados na física, pois, segundo ele, esses textos permitem à linguagem e à imagem compartilhar significados: os significados específicos associados com a tecnicidade linguística são associados aos elementos na imagem. Concordamos com essa perspectiva, mas notamos outro papel importante que os textos verbais parecem desempenhar na Figura 5.19: a delimitação da forma como ela deve ser lida, ou, dito de outro modo, com o autor orienta o leitor a compreender uma parte específica da figura. Isso significa que esses textos contribuem para educar a atenção do leitor (Ingold, 2010). Esse aspecto é de fundamental importância, uma vez que, como afirmam Kress e van Leeuwen (2006), a análise sempre envolve a seleção de algumas características que são consideradas importantes, ao passo que outras são tomadas como irrelevantes. O que deve ser tomado como relevante não está dado a priori, mas deve ser construído.

Podemos decompor a Figura 5.19 em dois grandes conjuntos: um superior, que mostra a estrutura analítico temporal sobre o movimento da caixa, e outro inferior, que exibe um gráfico que representa esse movimento. A estrutura analítico temporal na parte superior

é composta por quatro instantâneos desse movimento. Em cada instantâneo, há uma representação da caixa e das forças que atuam sobre ela na forma de vetores, com as respectivas letras que identificam cada força aplicada (n – normal, p – peso, f_s – força de atrito estático, T – tensão, força que puxa a caixa; todas elas significadas no texto verbal). Há também um texto verbal que descreve a situação física na qual se encontra a caixa (se há força aplicada ou não, se ela é forte ou fraca, se a caixa está em repouso ou movimento) e um texto que identifica o tipo de atrito que está atuando sobre a caixa (nenhum atrito, atrito estático ou atrito dinético). Por fim, é apresentada a equação algébrica que se aplica à situação física representada (confira na Figura 4.3). Esses 4 elementos se repetem ao longo das letras a , b , c e d , com variações nas figuras, nos textos verbais e nas equações.

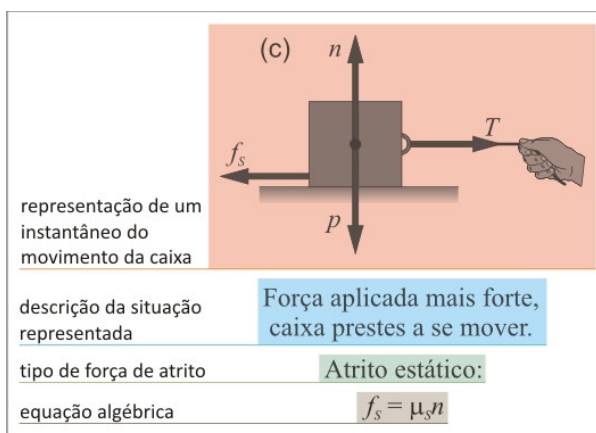


Figura 4.3: desenho esquemático, texto verbal e equação em cada letra da Figura 5.19.

Para guiar o leitor na percepção do processo analítico temporal mostrado por meio das imagens, evidenciando a mudança entre um quadro e outro, os autores se valem dos textos verbais, que direcionam a atenção do leitor para o aspecto importante a ser notado na figura, bem como o associa a equação algébrica apropriada a cada etapa do fenômeno.

Observe a sequência das letras b e c , reproduzidas na Figura 4.4. As figuras da caixa se movendo entre as letras b e c visam comunicar ao leitor a mudança na força de atrito que ocorre à medida que a força aplicada aumenta. Para restringir as possibilidades de leitura e auxiliar o leitor a compreender as mudanças que ocorrem entre um instante e outro a figura faz uso do texto verbal. O texto da letra b diz o seguinte: “Força aplicada fraca, caixa permanece em repouso.”. No texto da letra c o leitor encontra a seguinte informação: “Força aplicada mais forte, caixa prestes a se mover.”. O autor do texto orienta o leitor a perceber o que está sendo comunicado por essas duas partes da figura: entre a letra b e a letra c houve um aumento da força aplicada. Atentando para a figura, o leitor pode perceber que a única modificação percebida nos elementos visuais entre as letras b e c foi a alteração no comprimento dos vetores T (força aplicada) e f_s (força de atrito estático).

Outro aspecto importante dessa orientação dos autores é levar o leitor a perceber que, na letra c , a força de atrito atingiu seu valor máximo e que a caixa está na iminência do movimento. Se apenas os desenhos fossem apresentados, o leitor dificilmente alcançaria essa compreensão. Na letra b o texto verbal afirma o seguinte: Atrito estático: $f_s < \mu_s n$. Na letra c : Atrito estático: $f_s = \mu_s n$. Nos dois casos o texto afirma que a força de atrito que está

atuando é a estática, mas na letra c esta força atingiu o valor máximo. O uso do sinal da igualdade na equação, que denota o valor máximo para a força de atrito estática, pode ser melhor compreendido com o texto verbal que afirma que a “caixa está prestes a se mover”. Portanto, a letra c deve ser lida pelo leitor como a iminência do movimento.

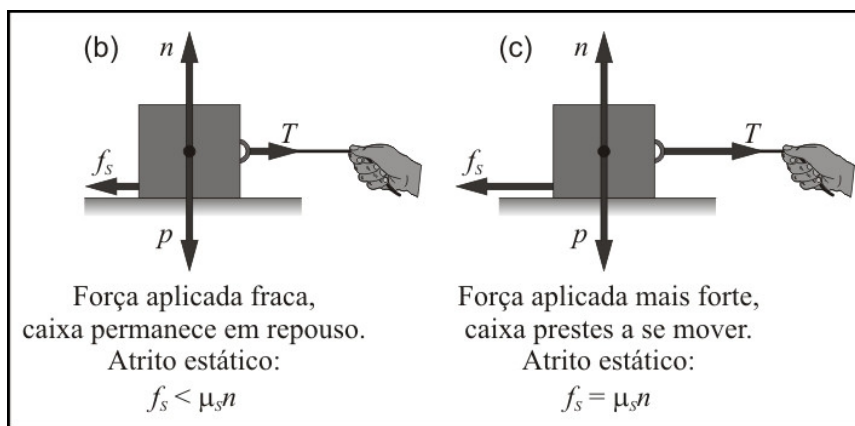


Figura 4.4: reprodução das letras (b) e (c) da Figura 5.19 (Young e Freedman, 2008, p. 150)

Portanto, a utilização conjunta dos textos verbais e imagens permite tanto o aumento da densidade semântica, quanto contribui para orientar o leitor a compreender os aspectos importantes da representação aos quais ele deve se atentar. E para auxiliar o leitor e perceber o gráfico como uma forma de representar o movimento da caixa exibido pelos diagramas, a Figura 5.19 utiliza recursos visuais com o linhas e chaves

O gráfico não possui a grandeza tempo representada em seu eixo, mas, ainda assim, mostra a covariação contínua de duas forças ao longo do tempo. Para atribuir ao gráfico a mesma noção de movimento criada nos diagramas são usadas linhas sem setas para associar cada região do gráfico aos respectivos instantes representados nas figuras. Essas linhas sem seta formam um tipo específico de estrutura analítica e significa algo como “está conectado a”, “associado a”, “relacionado a” (Kress e van Leeuwen 2006, p. 59). Como há casos em que a figura mostra um instantâneo, mas o gráfico mostra um longo intervalo de tempo (como nas letras b e d), são usadas chaves para estender a aplicação de uma representação instantânea a toda uma região do gráfico e, por conseguinte, a um intervalo de tempo extenso.

Claramente vemos que as informações comunicadas pelos diferentes modos são distintas. Enquanto a representação do movimento é realizada pelos diagramas por meio de instantâneos desse movimento (como se fossem tiradas fotografias em determinado intervalo) o gráfico e as equações cobrem intervalos contínuos e extensos de tempo. Note, durante todo o intervalo de tempo em que a força de atrito varia desde zero até seu valor máximo, o gráfico mostra uma linha contínua e a equação $f_s < \mu_s n$ é válida para toda essa parte do movimento.

Além da representação analítico temporal do movimento da caixa sobre a ação de diferentes forças, indicado na Figura 4.5 pela seta horizontal, há outro movimento, indicado pela seta vertical, que leva o leitor de uma situação específica de um contexto particular de puxar uma caixa a uma representação puramente abstrata desse movimento por meio das equações e, principalmente do gráfico. Esse movimento, esquematizado na figura abaixo pela seta vertical, contribui para reduzir a gravidade semântica e para aumentar a densidade semântica da compreensão do fenômeno do atrito.

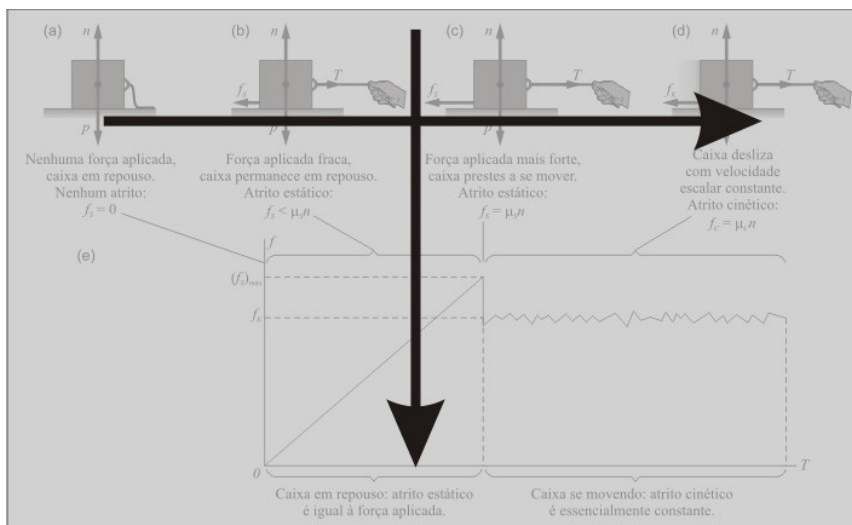


Figura 4.5: a seta horizontal indica o movimento da caixa no mundo dos objetos e eventos e a seta vertical indica um movimento em direção à generalização no mundo das teorias e modelos.

Para cada instantâneo que mostra a caixa em um possível estado de seu movimento há, como vimos, uma descrição do estado da caixa e a identificação do tipo de atrito. Logo abaixo há a equação algébrica que pode ser aplicada à situação em questão e uma linha que liga todos esses elementos de cada instantâneo a uma região específica do gráfico, seja um ponto ou uma região ampla (nas letras (a) e (c) trata-se de um único ponto específico, ao passo que nas letras (b) e (d) são regiões amplas).

Esse movimento vertical parte de uma situação que apela para a experiência do leitor em puxar ou empurrar objetos sobre o solo, sendo portanto, bastante contextualizada, para uma forma puramente abstrata de representar o movimento de um corpo sob a ação do atrito, seja em termos das equações algébricas ou do gráfico. As equações e o gráfico terão o mesmo formato mesmo sendo aplicadas a situações muito diversas e, por esse motivo, não estão presos a uma situação específica particular. Nesse sentido há uma diminuição da gravidade semântica.

Por outro lado, a densidade semântica aumenta, pois novas formas de representação do fenômeno estão sendo apresentadas ao leitor, que as incorporará ao seu conhecimento sobre o atrito. Ao final da leitura espera-se que o leitor seja capaz de lidar

com o fenômeno do atrito não apenas em termos da representação de forças sobre um corpo, mas também com a manipulação de equações, aplicando-as corretamente às diferentes fases de um movimento, e com a leitura de um gráfico que represente a ação do atrito. Cabe ressaltar que a Física é, de acordo com Bernstein (1999) e Doran (2018), uma disciplina que procura estabelecer conhecimentos cada vez mais gerais, aplicáveis a um amplo conjunto de situações. Sendo assim, esse tipo de figura, muito comum em diversos livros texto para o Ensino Superior, reproduz esse movimento que ocorre na ciência.

Até aqui realizamos um estudo dos elementos da Figura 5.19 ignorando, momentaneamente e por motivo de análise, o texto verbal que está em tomo dela. Naturalmente, não podemos ler essa figura sem considerar o texto verbal. Afinal, todos os modos presentes na página comunicam informações acerca do mesmo tema. Soma-se a isso o fato de que, nesse texto verbal que se encontra em torno da figura, vários apontadores indexicais remetem o leitor diretamente a ela. Por esses motivos, dedicaremos alguns parágrafos para tecer considerações acerca das relações entre o texto verbal e a figura.

O texto verbal da página 150 não está por completo relacionado à Figura 5.19. O primeiro parágrafo desse texto faz referência à Tabela 5.1. Nele, dois apontadores indexicais remetem o leitor aos coeficientes de atrito estático e cinético apresentados na tabela da página 149. Excluído esse primeiro parágrafo, todo o restante do texto dessa página, e também o primeiro parágrafo da página 151, fazem menção à Figura 5.19 e a elementos específicos dela. No total, oito apontadores irão direcionar o olhar do leitor para essa figura em certos momentos do texto, sendo que cinco deles se encontram na mesma página da figura (150) e os outros três na página seguinte (151). Veja na Figura 4.6 como estão dispostos esses e os demais apontadores indexicais em relação à figura, e a que parte dela eles se referem (embora colocadas lado a lado na Figura 4.6, para facilitar nossa discussão, a página 151, bem como seus apontadores indexicais, eram acessados pelo leitor com a mudança de página; estando na página 150, ele precisava rolar o mouse para ter acesso à 151).

Além dos apontadores indexicais já mencionados, há ainda outros três: dois deles fazem menção à Tabela 5.1 e um à Equação 5.5 (tanto a tabela quanto a equação se encontram na página 149). Portanto, no texto dessas duas páginas há treze apontadores indexicais, sendo que oito direcionam o olhar do leitor para a Figura 5.19.

O apontador indexical que remete o leitor à Equação 5.5 está inserido no texto logo após a Equação 5.6. A Equação 5.6 permite calcular o valor da força de atrito cinética. Essa equação surge nesse ponto do texto porque os autores optaram por discutir primeiro o atrito cinético, que envolve o movimento relativo entre duas superfícies, e deixaram o atrito estático para ser tratado por último. Dada a importância das equações na construção do

discurso da Física, optamos por tratá-las em uma seção apropriada (veja a primeira seção do Capítulo 5).

The image shows two pages from a physics textbook. The left page (150) discusses static friction, with text explaining that the friction force f_s is proportional to the normal force n and acts to oppose relative motion. It includes diagrams (a) through (d) illustrating different states of a block on a surface: (a) no force applied, (b) weak force, (c) strong force, and (d) block moving. The right page (151) discusses kinetic friction, stating that the friction force f_k is constant and opposite to the direction of motion. It includes a graph (e) showing the transition from static to kinetic friction as the applied force T increases. Annotations include a blue box on page 150 pointing to the definition of static friction, a green box on page 151 pointing to the definition of kinetic friction, and an orange box on page 151 pointing to the graph. A green box on page 151 points to the text describing the transition between static and kinetic friction.

Figura 4.6: páginas 150 e 151 do livro de Young e Freedman (2008) com a indicação dos apontadores indexiais e seus respectivos referentes.

O posicionamento da figura em relação ao texto verbal e a reunião das duas faces do atrito (estático e dinético) em uma mesma representação parecem conferir à Figura 5.19 um aspecto de construção da totalidade do fenômeno, uma síntese sobre toda a discussão a respeito do atrito realizada ao longo das páginas desse texto multimodal. Praticamente toda a discussão sobre o atrito cinético e estático se encontra antes da figura (após a figura restam apenas 10% do texto sobre o atrito). Soma-se a isso o fato de que a figura avança o texto, na medida em que apresenta o gráfico (que praticamente não é mencionado no texto verbal). As formas gráfica e algébrica de se representar um fenômeno são, como vimos, as formas mais descontextualizadas e gerais que a ciência busca alcançar e a Figura 5.19 traz esses dois tipos de representação.

Os autores escolheram como ordem para a abordagem do atrito iniciar pela força de atrito cinética. Essa discussão tem início no princípio do texto, na página 148, e vai até a página 149, onde é apresentada a equação da força de atrito cinética. No segundo parágrafo da página 150 se inicia a abordagem da força de atrito estática no texto verbal. Toda a discussão se dá em torno da situação representada na Figura 5.19, motivo pelo qual

o texto verbal que a circunda apresenta o alto número de apontadores indexicais mostrado na Figura 4.6. Essa quantidade de apontadores indexicais sinaliza que o texto verbal está fortemente relacionado à Figura 5.19, reforçando a tese de Doran (2018) de que o conhecimento na Física é constituído por uma forte interação entre linguagem, matemática, figuras e gráficos.

Para exemplificar a atuação da força de atrito estático, o texto verbal remete o leitor, primeiramente, às situações representadas nas letras (a) e (b) da Figura 5.19. O texto verbal parte de um exemplo da vida cotidiana para iniciar a discussão: “Quando você tenta arrastar uma caixa cheia de livros, ela pode não se mover porque o solo exerce uma força igual e contrária. Essa força denomina-se **força de atrito estático f_s** .”. O texto tem por objetivo fornecer ao leitor uma compreensão ampla da atuação das forças de atrito, o que demanda, necessariamente, o uso de representações como gráficos e equações algébricas. Mas para chegar a esse ponto de maior abstração ele parte de uma situação possivelmente vivenciada pelo leitor: o exemplo de arrastar uma caixa sobre o chão. Esse mesmo exemplo está representado por meio de figuras esquemáticas na parte superior da Figura 5.19. Para começar a contar a história um apontador indexical remete o leitor à Figura 5.19a, que mostra a caixa em repouso.

Conforme vimos, ao discutir o processo analítico temporal realizado pelas figuras esquemáticas da parte superior da Figura 5.19, a ideia de movimento não surge apenas das figuras, pois elas representam apenas instantâneos de um suposto movimento da caixa. Essa ideia é construída juntamente com o texto verbal. Por exemplo, quando o texto vai se referir pela primeira vez à Figura 5.19b, ele diz o seguinte: “Agora amarramos uma corda na caixa (Figura 5.19b) e aumentamos gradualmente a tensão T na corda.”. O texto verbal havia se referido à Figura 5.19a, onde a caixa se encontrava em repouso, e agora diz que uma corda foi amarrada na caixa e puxada por uma força de tensão que aumenta gradativamente. As figuras (a) e (b) mostram dois instantes de tempo fixos, mas com o auxílio do texto verbal o leitor pode compreender o que está ocorrendo com o passar do tempo e criar a compreensão do movimento contínuo da caixa.

Para um leitor em fase de aprendizagem, entender que a força de atrito estática aumenta com o aumento da força aplicada é apenas o primeiro passo. Na verdade, ele deve compreender que, em acordo com a 1ª Lei de Newton, a cada instante, o valor da força de atrito estática será exatamente igual ao valor da força de tração. Essa noção é construída conjuntamente pelo texto verbal e pelo gráfico.

A Figura 5.19b mostra apenas um momento do movimento da caixa sob a ação da força T . Sendo assim, essa figura representa apenas um instantâneo do movimento, em que $T = f_s$. Em um instante anterior ou posterior essas forças terão valores diferentes (embora f_s sempre seja igual a T nessa parte). O texto afirma isso por meio de palavras: “No início, a

caixa permanece em repouso porque, à medida que T cresce, a força de atrito estático f_s também cresce (permanecendo com o mesmo módulo de T).” O gráfico mostra essa covariação contínua que a figura não possibilita. Uma inspeção atenta do gráfico permite estimar que o ângulo é aproximadamente 45° , ou seja, a cada instante dessa parte do movimento, o valor de T é igual a f_s . Os diferentes modos, portanto, não comunicam exatamente a mesma informação para o leitor e sua integração é o elemento que permite o alcance de uma visão mais ampla do fenômeno.

O texto verbal, no entanto, não auxilia o leitor na integração apropriada das informações comunicadas por ele, pela Figura 5.19b e pelo gráfico (Figura 5.19e). A primeira menção ao gráfico ocorre na página 151, bem ao final do primeiro parágrafo: “Quando começamos sem nenhuma força aplicada ($T = 0$) e gradualmente aumentamos a força, ocorrerá uma pequena variação da força de atrito, conforme indicado na Figura 5.19e.” Ora, o gráfico da Figura 5.19e não mostra uma pequena variação do atrito. Ele representa toda a variação do atrito desde o início da atuação da força, passando pelo atrito estático máximo, chegando ao atrito cinético. Portanto, há um desencontro das informações comunicadas pelos diferentes modos que, possivelmente, pode contribuir para dificuldades de aprendizagem de um leitor que tentar estudar pelo livro. Dizer, ao final do texto, que ocorre uma pequena variação na força de atrito é deixar de explicitar muitos dos aspectos das forças de atrito que poderiam ser extraídos a partir do gráfico. Esses movimentos de integração ficam por conta do leitor e o professor deve estar atento a esse aspecto para auxiliá-los em situações nas quais ocorrem essas falhas.

Dando prosseguimento ao processo analítico temporal, o texto trata da Figura 5.19c, que representa uma situação de movimento iminente, em que a força de atrito estático atinge seu valor máximo. Explicitamente o texto afirma que a Figura 5.19c representa esse momento: “A Figura 5.19c mostra um diagrama das forças quando T atinge esse valor crítico.” (se referindo ao valor máximo da força T que, se superado, pode colocar a caixa em movimento). Olhando para a letra (c), o leitor encontrará uma situação em que as forças de tensão e de atrito são maiores que na letra (b) (os vetores são maiores), o texto verbal que acompanha a figura faz menção à iminência do movimento e a equação apresentada é $f_s = \mu_s n$.

Até esse momento não havia sido apresentada a equação para a força de atrito estático no texto verbal, embora três equações tenham sido fornecidas no interior da Figura 5.19: $f_s = 0$; $f_s < \mu_s n$; $f_s = \mu_s n$. Essas equações estão situadas bem abaixo do texto verbal que acompanha cada letra (a, b, c e d) da Figura 5.19. A partir desse momento o texto se volta para a abordagem da equação algébrica que fornece a força de atrito estático. O texto verbal nomeia a força de atrito estático máxima como $f_{s\max}$, o coeficiente de atrito estático como μ_s , remete o leitor à tabela 5.1, onde são apresentados alguns valores desse

coeficiente, e retoma uma informação importante a respeito da força de atrito estático: “Em uma situação particular, a força de atrito estático pode ter qualquer valor entre zero (quando não existe nenhuma outra paralela à superfície) até um valor máximo dado por $\mu_s n$.”. Nesse ponto o texto apresenta a equação para o módulo da força de atrito estático $f_s \leq \mu_s n$, designada como Equação 5.6.

Em seguida, o texto verbal explica quando deve ser empregado o sinal da desigualdade (<) e o sinal da igualdade (=) da equação do atrito estático, indicando que no primeiro caso a condição de equilíbrio (soma vetorial das forças iguais a zero) é o modelo físico utilizado para encontrar o valor correspondente da força de atrito (uma vez que a força de atrito estático é variável e pode ter qualquer valor entre 0 e $\mu_s n$). Mais uma vez chamamos a atenção para o fato de que não há uma única menção às regiões do gráfico que se relacionam a essas duas formas da equação para a força de atrito estático no texto. O trabalho semiótico de orquestrar esses modos fica, novamente, por conta do leitor.

No último parágrafo o texto verbal retoma a força de atrito cinético mas, como ela já havia sido discutida em detalhes anteriormente, nesse ponto o texto fornece apenas uma explicação para o fato de a força de atrito cinético ser menor que a de atrito estático. A explicação, que reside no menor valor para o coeficiente de atrito cinético, envolve um apontador indexical que remete o leitor à Tabela 5.1. O leitor que desejar verificar tal informação pode conferir na tabela, que mostra os vários valores dos coeficientes de atrito estático e cinético para vários pares de superfícies. No gráfico, o valor da força de atrito cinético é menor que o valor da força de atrito estático máxima, mas não há um apelo do texto para que o leitor perceba explicitamente essas particularidades. Pelo visto os autores assumiram que o leitor tem condições de realizar esse processo.

Vimos, portanto, como essa figura está intimamente associada ao texto verbal, com a presença de vários apontadores indexicais, e como, em alguns momentos, há uma quebra no estabelecimento das relações entre os diferentes modos. As figuras são explicita e exhaustivamente integradas ao texto verbal, as equações o são em menor escala e o gráfico praticamente não é mencionado. A menção ao gráfico nos parece inclusive equivocada, uma vez que o gráfico não mostra “uma pequena variação da força de atrito”, como diz o texto verbal. A esse respeito, a legenda nos parece mais adequada. A legenda da Figura 5.19, quando faz referência à letra (e), que remete o leitor ao gráfico, diz o seguinte: “Um gráfico do módulo f da força de atrito em função do módulo T da força aplicada T . A força de atrito cinética varia um pouco à medida que as ligações intermoleculares se formam e se rompem.”. Note que a legenda se refere corretamente à pequena variação no módulo da força de atrito cinético em função do estabelecimento e do rompimento das ligações intermoleculares das superfícies.

Por abordar um processo analítico temporal sobre o movimento da caixa, desde o repouso, sem a ação de uma força de puxar, até o momento em que a caixa começa a se mover, essa figura promove uma síntese do que foi abordado sobre o atrito. Ela congrega as principais informações sobre o atrito, a ponto de, uma pessoa já iniciada nesse tema, ser capaz de extrair as informações sobre o atrito apenas a partir da figura. Mas, como os leitores que participaram de nossa pesquisa interagiram com essa Figura 5.19? Eles realizaram esses movimentos de integração sugeridos pelo texto, ou escolheram caminhos próprios? Que estratégias utilizaram na leitura do gráfico, uma vez que ele quase não é mencionado no texto verbal? Essas são perguntas que procuramos responder na próxima subseção.

4.2 A interação dos leitores com os modos das páginas 150 e 151

Assim como ocorreu no caso das páginas 148 e 149, realizamos uma primeira aproximação aos padrões de leitura por meio do tempo empregado por cada participante na leitura do texto. O gráfico da Figura 4.7 mostra os tempos gastos pelos 47 leitores para realizar a leitura do texto verbal (a partir do 2º parágrafo da página 150, pois o 1º parágrafo não trata de elementos da figura) e da Figura 5.19. Como podemos ver, os tempos gastos pelos leitores é bastante variado entre todas as categorias, o que revela o caráter idiossincrático da leitura que já observamos na análise dos tempos de leitura das páginas 148 e 149.

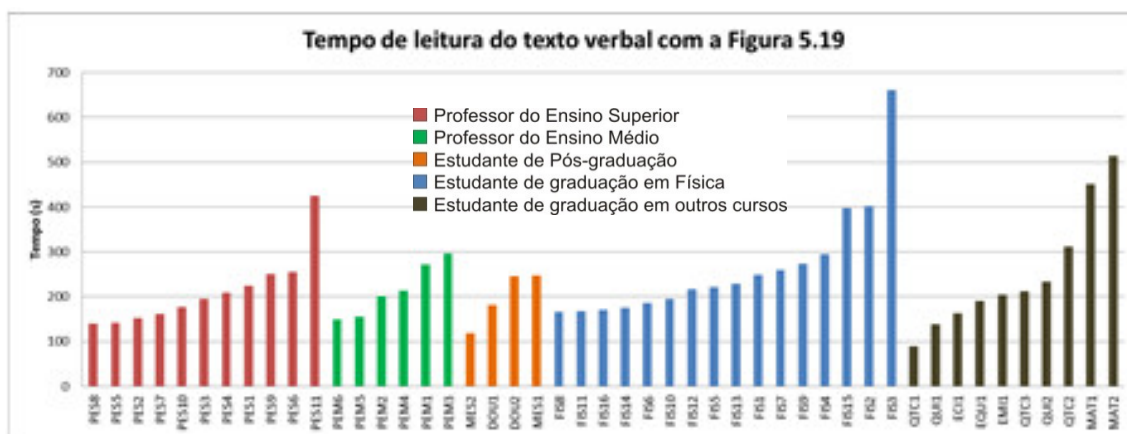


Figura 4.7: gráfico do tempo de leitura da Figura 5.19, juntamente com o texto verbal a ela associado.

O texto verbal das páginas 150 e 151 tem características diferentes do restante do texto do livro. É um texto que se refere, em sua maior parte, a uma única figura com vários modos e possui um grande número de apontadores indexicais que orientam o olhar do leitor em determinados momentos para elementos específicos dessa figura. Apesar das

diferenças, o comportamento dos participantes não parece diferir em grande medida se considerarmos a leitura de todo o texto. Comparando o gráfico da Figura 4.7 com o gráfico que mostra o tempo de leitura de todo o texto verbal (exibido pela primeira vez na Figura 3.1 e reproduzido logo a seguir, na Figura 4.8), vemos que os leitores representados nos extremos dos gráficos são basicamente os mesmos. O tempo de leitura parece então ser uma característica do leitor e não tanto do tipo de texto que ele está lendo.

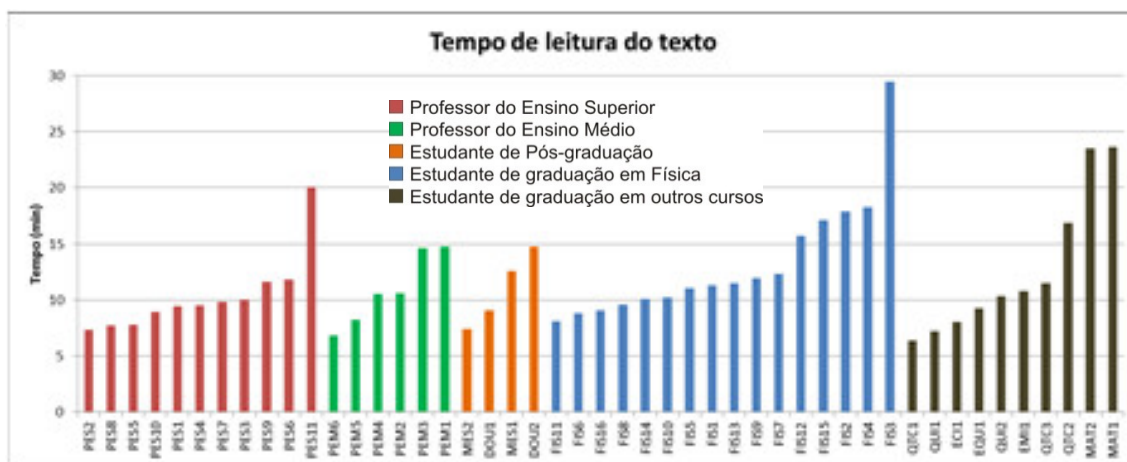


Figura 4.8: gráfico dos tempos de leitura dos participantes em todo o texto.

Procuramos também estabelecer uma comparação entre o tempo de leitura apenas da Figura 5.19 e o tempo de leitura de todo o texto das páginas 150 e 151 que está explicitamente integrado à figura. O resultado pode ser visto na Figura 4.9. Inicialmente esperávamos encontrar alguma relação direta entre maiores tempos de leitura do texto e maiores tempos de leitura da figura. Tal expectativa estava baseada na suposição que um leitor que demora mais tempo para ler o texto, supondo que ele esteja obtendo informações a partir dele, demoraria mais tempo para alcançar as informações comunicadas pela figura. Porém isso não acontece. Diversos leitores como FIS2 e FIS3, PEM3 e PEM4, PES2 e PES3, deixam claro que a interação dos leitores com o texto verbal e com a figura são situações bastante distintas.

De fato, como veremos mais adiante, há comportamentos de leitura muito variados entre os participantes. Por exemplo, há leitores que ignoram partes do texto durante a leitura. Outros têm um comportamento que os leva a escrutinar toda a figura em detalhes, ao passo que outros praticamente a ignoram. Há também o caso de leitores que acompanham apontadores indexicais que os remetem para modos semióticos situados nas páginas anteriores, o que pode implicar em maior tempo de leitura do texto (uma vez que o tempo de leitura de todo o texto foi tomado considerando o intervalo entre instante de tempo que o leitor começa a ler o 2º parágrafo da página 150 e o instante em que termina de ler o

primeiro parágrafo da página 151). Naturalmente, não são muitos os leitores que seguem os apontadores indexicais que remetem a modos presentes na página anterior.

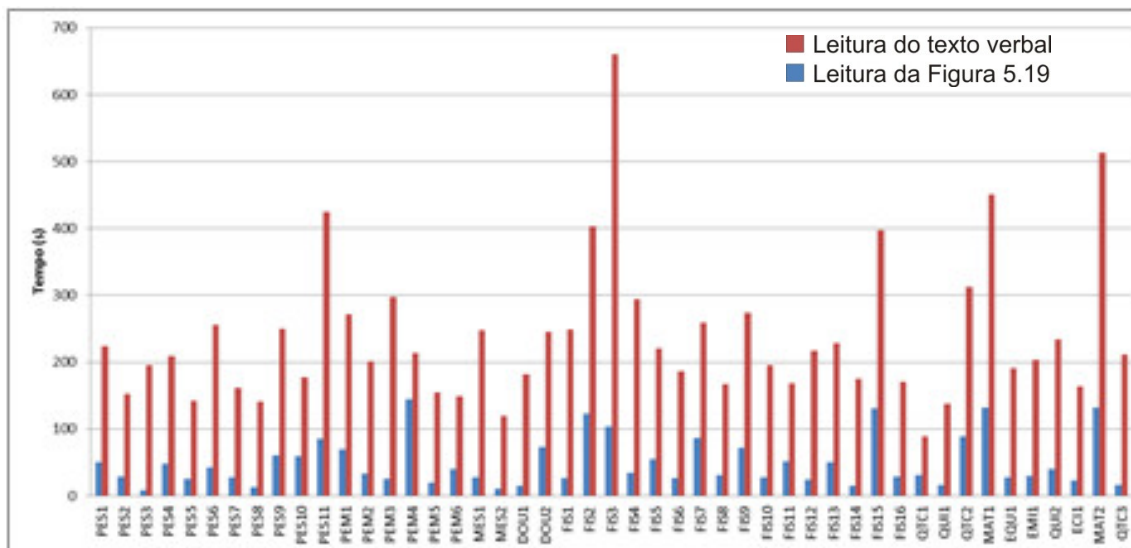


Figura 4.9: gráfico que mostra, de forma separada, os tempos de leitura da Figura 5.19 e do texto verbal associado a ela.

Conforme mostra a Figura 4.6, há no texto que circunda a Figura 5.19 um apontador indexical que remete o leitor para a Equação 5.5 e dois que o direcionam para a Tabela 5.1. O apontador que remete o leitor à Equação 5.5 está situado logo após a apresentação da Equação 5.6 (que permite determinar o módulo da força de atrito estático). O texto verbal em que ele se encontra traz a seguinte afirmação: “Como a Equação (5.5), essa equação não é uma relação vetorial, e sim uma relação entre módulos de vetores”. Dos 47 leitores, apenas oito acompanham esse apontador indexical. São eles: PES3, PES9, PEM3, MES1, FIS3, FIS9, FIS12 e FIS15. Assim que passam pelo trecho de texto que contém o apontador esses leitores se deslocam até a Equação 5.5 para verificá-la e retomam rapidamente ao texto para continuar a leitura. Veja um exemplo de movimento com o esse na Figura 4.10.

O leitor MES1 está lendo o texto logo abaixo da Equação 5.6. Ao terminar a frase ele se desloca até a Equação 5.5. No caminho ele se desloca até a coluna esquerda do texto, passando pela Figura 5.18, realiza duas fixações sobre a Equação 5.5, na página 149, retorna e continua a leitura do texto.

Por outro lado, o número de leitores que se deslocam até a tabela seguindo os apontadores indexicais dessa parte do texto é bem menor. Há dois apontadores entremio ao texto que direcionam o olhar do leitor para os coeficientes mostrados na tabela. O primeiro se situa na 9ª linha da coluna direita do texto da página 150 e diz o seguinte: “Na Tabela 5.1 são apresentados alguns valores típicos de μ_s .”. Somente o leitor FIS2 acompanhou esse apontador. O outro se encontra mais ao final, na 9ª linha do texto da

página 151 e diz o seguinte: “Portanto, o coeficiente de atrito cinético é geralmente menor do que o coeficiente de atrito estático para um dado par de superfícies, conforme mostra a Tabela 5.1.”. Esse apontador foi acompanhado por quatro leitores: PES4, DOU1, MES1 e FIS2.

um carro, quanto mais as pastilhas de freio são comprimidas contra o disco de freio, maior é o efeito da freada. Em muitos casos, verifica-se experimentalmente que o módulo da força de atrito cinético f_c é *proporcional* ao módulo n da força normal. Em tais casos, podemos representar a relação pela equação

$$f_c = \mu_c n \quad (5.5)$$

(módulo da força de atrito cinético)

nde μ_c (pronuncia-se: “mi, índice c”) possui um valor constante denominado **coeficiente de atrito cinético**. Quanto mais deslizante for uma superfície, menor será o coeficiente de atrito. Como se trata da razão entre duas grandezas, μ_c é um número puro sem unidades.

ATENÇÃO Forças de atrito e normal são sempre **perpendiculares**. Lembre-se de que a Equação (5.5) não é uma equação vetorial porque f_c e n são sempre perpendiculares. Em vez disso, representa uma relação escalar entre os módulos das duas forças.

película de óleo se forma entre as duas superfícies (como no caso do pistão e das paredes do cilindro no motor de um carro), impedindo-as de entrar em contato efetivo.

Em nível microscópico, até as superfícies lisas são ásperas: elas tendem a prender e a tornar-se resistentes.

Figura 5.18 A força de atrito e a força normal decorrem de interações entre moléculas nos pontos mais elevados das superfícies de contato entre o bloco e o piso.

50 FÍSICA I

A Tabela 5.1 mostra alguns valores típicos de μ_c . Embora esses valores sejam dados com dois algarismos significativos, eles são apenas aproximados, visto que forças de atrito cinético podem depender da velocidade do corpo em relação à superfície. Vamos ignorar esses efeitos supor que μ_c e f_c sejam independentes da velocidade, de modo que possamos nos concentrar nos casos mais simples. A Tabela 5.1 também apresenta valores do coeficiente de atrito estático, que será definido mais adiante.

A força de atrito também pode atuar quando *não* existe movimento relativo. Quando você tenta arrastar uma caixa cheia de livros, ela pode não se mover porque o solo exerce uma força igual e contrária. Essa força é denominada **força de atrito estático** f_e . Na Figura 5.19a, a caixa está em repouso, equilibrada pela ação do peso \vec{p} e pela força normal \vec{n} , excêda de baixo para cima pelo solo sobre a caixa, que possui o mesmo módulo do peso ($n = p$). Agora narramos uma corda na caixa (Figura 5.19b) e tentamos gradualmente a tensão T na corda. No início, a caixa permanece em repouso porque, à medida que T cresce, a força de atrito estático f_e também cresce (permanecendo com o mesmo módulo de T).

Em dado ponto, T torna-se maior do que o máximo

de quebrar as ligações moleculares entre as superfícies da caixa e do solo) e começa a deslizar. A Figura 5.19c mostra um diagrama das forças quando T atinge esse valor crítico. Quando T supera esse valor, a caixa não está mais em equilíbrio. Para um dado par de superfícies, o valor máximo de f_e depende da força normal. A experiência mostra que esse valor máximo ($f_{e,max}$) é aproximadamente *proporcional* a n ; chamamos o fator de proporcionalidade de μ_e , de **coeficiente de atrito estático**. Na Tabela 5.1 são apresentados alguns valores típicos de μ_e . Em uma situação particular, a força de atrito estático pode ter qualquer valor entre zero (quando não existe nenhuma outra paralela à superfície) até um valor máximo dado por $\mu_e n$. Em símbolos,

$$f_e \leq \mu_e n \quad (5.6)$$

(módulo da força de atrito estático)

Como a Equação (5.5), a Equação (5.6) também é válida para superfícies lubrificadas. Quando a força T , paralela à superfície, atingiu seu valor crítico e o movimento está na iminência de começar (Figura 5.19c). Quando T for maior do

Figura 4.10: scanpath do leitor MES1, que acompanha o apontador indexical Equação 5.5.

Esse número pequeno de leitores que seguiram esses apontadores indexicais pode ser devido ao fato de muitos terem se deslocado à tabela no 1º parágrafo do texto verbal da página 150. Por terem realizado um deslocamento recente à tabela, não sentiram necessidade de retornar a ela. Um apontador indexical no início, e outro no final do 1º parágrafo da página 150, foram usados para remeter o leitor à tabela para visualizar os coeficientes de atrito cinético e estático. No momento da leitura desse trecho os leitores

PES3, PES4, PES5, PES6, PES10, PES11, PEM2, PEM4, DOU1, MES1, MES2, FIS2, FIS15, QUI1 e QTC2 se deslocaram até lá para conferir as informações.

Um aspecto que nos chamou bastante a atenção na leitura dessas páginas do texto foi o número expressivo de leitores que realizaram algum tipo de escaneamento modal. Dentre todos os leitores, 23 realizaram algum movimento que se assemelha ao *modal scanning* de Kress (2003). Desses 23, 13 realizaram esse movimento logo que chegaram à página 150, antes de dar início à leitura do texto. Dos demais, 6 realizaram o movimento no segundo parágrafo da página (a primeira parte do texto explicitamente relacionada à Figura 5.19 por meio de apontadores indexicais). Ou seja, boa parte realiza esse movimento logo no início da leitura do texto. A Figura 4.11 mostra um exemplo desse tipo de movimento, realizado pelo estudante de Física FIS3.

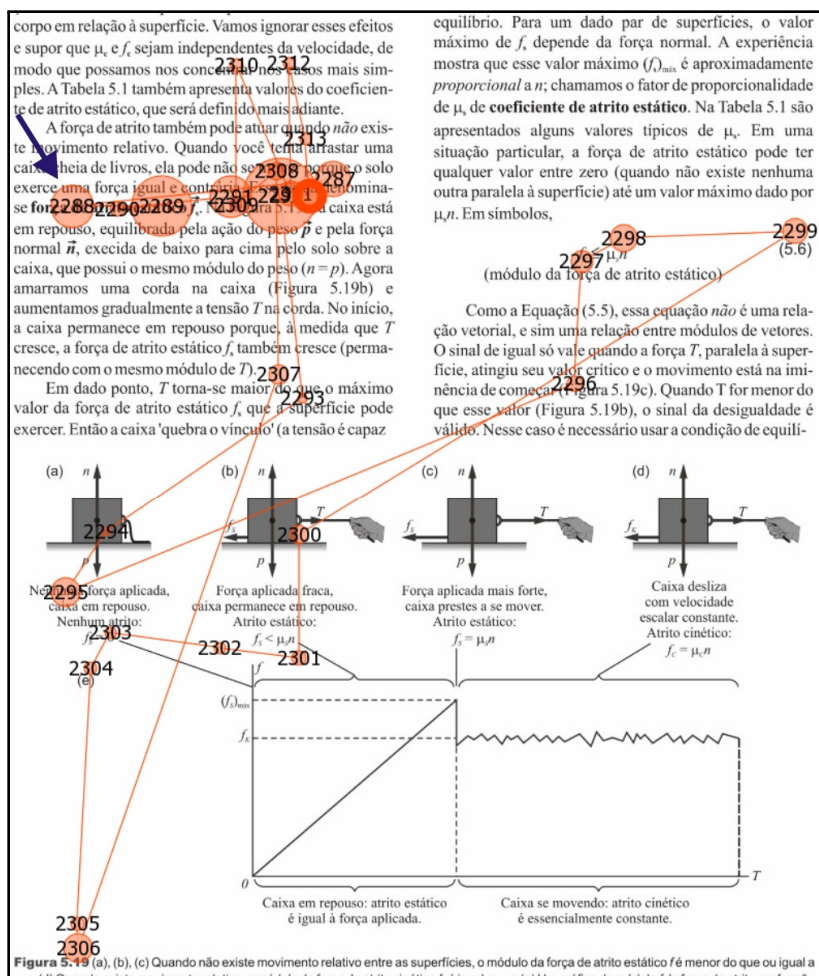


Figura 4.11: scanpath do leitor FIS3 que realiza um modal scanning quando está lendo o segundo parágrafo da página 150.

O estudante está lendo o texto nas proximidades do apontador indexical Figura 5.19a, na 5ª linha do segundo parágrafo da página 150 (indicada pela seta azul na Figura

4.11). Ele então se desloca até a Figura 5.19a, passa pela Equação 5.6, retorna à figura e volta novamente para ler o texto. Essas particularidades apresentadas pelos diferentes leitores nos mostram que os caminhos de leitura seguidos por eles são muito variáveis. Apesar disso, foi possível observar alguns padrões comuns a alguns deles.

A Tabela 5.1 mostra alguns valores típicos de μ . Embora esses valores sejam dados com dois algarismos significativos, eles são apenas aproximados, visto que forças de atrito cinético podem depender da velocidade do corpo em relação à superfície. Vamos ignorar esses efeitos e supor que μ , e f_c sejam independentes da velocidade, de modo que possamos nos concentrar nos casos mais simples. A Tabela 5.1 também apresenta valores do coeficiente de atrito estático, que será definido mais adiante.

A força de atrito também pode atuar quando *não* existe movimento relativo. Quando você tenta arrastar uma caixa cheia de livros, ela pode não se mover porque o solo exerce uma força igual e contrária. Essa força denomina-se **força de atrito estático** f_s . Na Figura 5.19a, a caixa está em repouso, equilibrada pela ação do peso \vec{p} e pela força normal \vec{n} , exceto de baixo para cima pelo solo sobre a caixa, que possui o mesmo módulo do peso ($n = p$). Agora, amarramos uma corda à caixa (Figura 5.19b) e aumentamos gradualmente a tensão T na corda. No início, a caixa permanece em repouso porque, à medida que T cresce, a força de atrito estático f_s também cresce (permanecendo com o mesmo módulo de T).

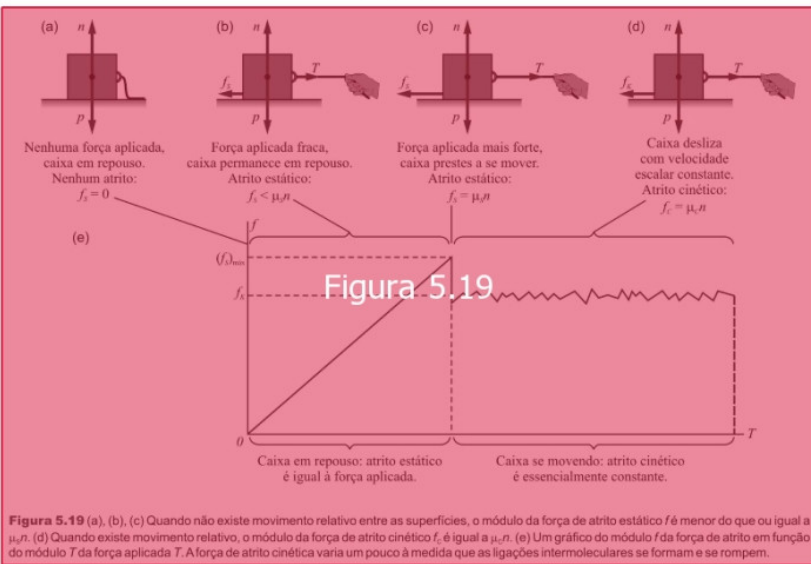
Em dado ponto, T torna-se maior do que o máximo valor da força de atrito estático f_s que a superfície pode exercer. Então a caixa 'quebra o vínculo' (a tensão é capaz

de quebrar as ligações moleculares entre as superfícies da caixa e do solo) e começa a deslizar. A Figura 5.19c mostra um diagrama das forças quando T atinge esse valor crítico. Quando T supera esse valor, a caixa não está mais em equilíbrio. Para um dado par de superfícies, o valor máximo de f_s depende da força normal. A experiência mostra que esse valor máximo ($f_{s,max}$) é aproximadamente *proporcional a n* ; chamamos o fator de proporcionalidade de μ , de **coeficiente de atrito estático**. Na Tabela 5.1 são apresentados alguns valores típicos de μ . Em uma situação particular, a força de atrito estático pode ter qualquer valor entre zero (quando não existe nenhuma outra paralela à superfície) e o valor máximo dado por μn . Em símbolos,

$$f_s \leq \mu n \quad (5.6)$$

(módulo da força de atrito estático)

Como a Equação (5.5), essa equação *não* é uma relação vetorial, e sim uma relação entre módulos de vetores. O sinal de igual só vale quando a força T , paralela à superfície, atingiu seu valor crítico e o movimento está na iminência de começar (Figura 5.19c). Quando T for menor do que esse valor (Figura 5.19b), o sinal da desigualdade é válido. Nesse caso é necessário usar a condição de equili-



brio ($\sum \vec{F} = 0$) para achar f_s . Quando não existe nenhuma força aplicada ($T = 0$), como na Figura 5.19a, então também não existe nenhuma força de atrito estático ($f_s = 0$). Logo que o deslizamento começa (Figura 5.19d), a força de atrito normalmente *diminui*; manter a caixa deslizando é mais fácil do que produzir o início do movimento. Portanto, o coeficiente de atrito cinético é geralmente *menor* do que o coeficiente de atrito estático para um dado par de superfícies, conforme mostra a Tabela 5.1. Quando começamos sem nenhuma força aplicada ($T = 0$) e gradualmente aumentamos a força, ocorrerá uma pequena variação da força de atrito, conforme indicado na Figura 5.19e.

Figura 4.12: ADI criadas nas páginas 150 e 151; cada retângulo constitui uma ADI diferente

Para chegar a esses padrões, estudamos todo o comportamento dos leitores com base nos gráficos que mostram o tempo de permanência em regiões do texto que foram definidas como áreas de interesse (ADI). Para analisar a forma como os participantes da pesquisa leram o texto verbal e a Figura 5.19, realizamos a definição de quatro ADI nas páginas 150 e 151, conforme mostra a Figura 4.12 (exibida na página anterior).

Na Figura 4.12, o texto verbal da coluna esquerda da página 150 foi nomeado como ADI Texto 1 (ocre) e o da coluna direita como ADI Texto 2 (preto). Embora essas duas ADI possam ser consideradas como um único texto, pois o texto da coluna direita é a continuação do texto da coluna esquerda, o uso desse artifício nos permite discriminar em qual dessas duas regiões os leitores realizam mais integrações com a Figura 5.19. Após o texto verbal da página 150 temos a ADI denominada Figura 5.19 (vermelho) e, na página 151, a ADI Texto 3 (verde). Esteja atento a essas cores pois elas aparecerão nos gráficos com os padrões de leitura dos participantes e serão usadas como forma de indicar diferenças nesses padrões.

A partir dos dados dos gráficos foi possível agrupar os participantes em cinco grupos distintos: i) leitores que realizam muitas transições entre texto verbal e figura, acompanhando bastante a multimodalidade do texto ao longo das três ADI (Texto1, Texto 2 e Texto3); ii) leitores que realizam poucas transições, mas ainda se movem entre texto verbal e figura em todas as três ADI; iii) leitores que realizam muitas transições principalmente no início do texto e, diferentemente do grupo anterior, não se movem entre texto verbal e figura em todas as três ADI; iv) leitores que se movem mais de uma vez entre texto e figura, mas leem a figura de forma bastante concentrada em alguns momentos, não se atendendo muito à multimodalidade do texto; v) leitores que se dedicam à leitura da figura em apenas um momento, não realizando integrações entre texto e figura, sendo, portanto, o grupo que menos acompanha a multimodalidade do texto. O Quadro 4.1 mostra como estão divididos os leitores em cada um dos grupos mencionados. A seguir trataremos desses grupos em maiores detalhes, apresentando exemplos de seus participantes.

Quadro 4.1 – grupos de leitores que emergem da análise dos gráficos dos tempos de permanência nas ADI mostradas na Figura 4.12.

Grupo	Participantes	
i	PES1, PES6, PES11, PEM 1, PEM 3, FIS9, FIS13, FIS15, QTC2	9
ii	PES9, PES10, PEM 5, DOU2, FIS10	5
iii	PES2, MES1, FIS1, FIS2, FIS3, FIS12, MAT1, MAT2, QTC3	9
iv	PES4, PES5, PES7, PES8, PEM2, PEM6, MES2, DOU1, FIS4, FIS8, FIS11, FIS14, FIS16, QUI1, QUI2, EQU1	16
v	PES3, PEM4, FIS5, FIS6, FIS7, QTC1, EMI1, ECI1	8

A Figura 4.13 mostra exemplos dos padrões de leitura de alguns dos leitores pertencentes ao 1º grupo. Nessa figura estão representados dois professores do Ensino Superior (PES1 e PES11) e um do Ensino Médio (PEM1), um estudante de graduação em Física (FIS15) e um estudante de graduação em Química Tecnológica (QTC2). Dentre os 47 participantes, identificamos 9 leitores com esse padrão de interação com o texto.

A principal característica, comum a todos os participantes desse grupo, é o fato de se deslocarem com muitos movimentos de ir e vir entre o texto verbal e a figura, várias vezes, ao longo das três ADI mostradas na Figura 4.12. Note como as faixas vermelhas, que representam períodos de tempo dedicados à leitura da figura, estão distribuídas ao longo de todos os trechos de texto verbal (ADI Texto1 - ocre, ADI Texto2 - preto e ADI Texto3 - verde).

É importante mencionar que muitos desses movimentos entre texto verbal e figura são iniciados a partir dos apontadores indexicais presentes no texto. Isso não significa que esses leitores seguem rigorosamente a orientação do apontador, no sentido de visualizar na figura, apenas o que indica o apontador. Por exemplo, quando o apontador menciona Figura 5.19a, o leitor se deslocar até ela, visualiza apenas a figura (a), e retornar ao texto. Em geral, grande parte dos leitores, ao se deslocarem até a figura, observam vários elementos e não apenas aquele ao qual o apontador se refere. Portanto, embora o apontador não seja um elemento que define o que vai ser lido na figura, sua presença no texto verbal é um elemento que desencadeia o movimento até a figura.

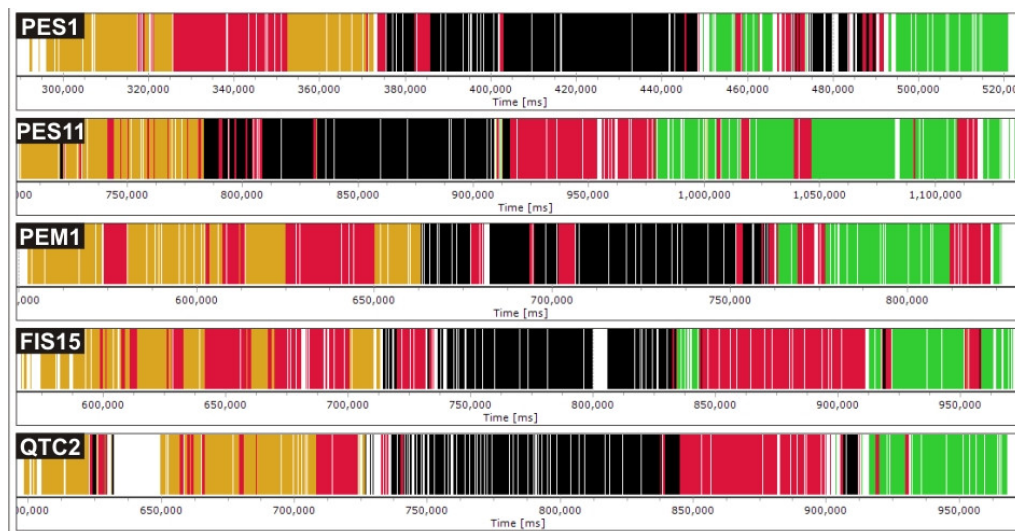


Figura 4.13: leitores pertencentes ao grupo i.

É preciso mencionar que, especificamente para esse grupo de leitores, ocorrem muitas movimentações que não estão relacionadas à presença dos apontadores: esses leitores se deslocam do texto à figura mesmo sem seguir um apontador indexical específico.

Esses leitores, portanto, gradativamente, constroem a história multimodal narrada pela figura e pelo texto verbal a respeito da ação do atrito sobre a caixa.

Outra característica interessante é que há um momento em que cada leitor se dedica a ler a figura por mais tempo (apenas o leitor PEM3 - não mostrado na figura - nesse grupo de 9, não apresenta esse comportamento). Em geral, nesse momento, o leitor se dedica a ler os vários elementos representados, se movendo entre as caixas com vetores, lendo os textos verbais que aparecem embaixo das figuras das caixas, observando as equações, visualizando diferentes regiões do gráfico e lendo a legenda da figura.

Esse momento varia tanto em termos de duração, quanto da posição da qual o leitor parte para fazer essa leitura mais profunda da figura. Por exemplo, os leitores PES1 e PEM1 realizam essa leitura enquanto se encontram na primeira parte do texto (ADI Texto 1 - ocre). Logo no início da leitura, quando ocorrem os primeiros movimentos entre o texto verbal e a figura, esses leitores sentem a necessidade de se apropriar dos vários elementos representados nela e por isso se deslocam até à figura, permanecendo lá por um tempo mais longo. Por outro lado, os leitores PES11 e QTC2, realizam essa leitura ao final da ADI Texto 2 (preto), ou seja, após a leitura de todo o texto verbal anterior à figura. A impressão que se tem a respeito desses leitores é que eles preferem realizar uma leitura mais completa da figura após a apropriação de algum conhecimento sobre o que está representado nela. Não parece ser o caso de não atribuírem importância à figura, pois em vários momentos anteriores eles se deslocaram até ela.

Por fim, o leitor FIS15 deixa para realizar essa leitura mais demorada após chegar à ADI Texto 3 (verde), ou seja, quando se encontra mais ao fim do texto verbal. Nesse grupo há mais outros dois leitores que realizam essa leitura mais demorada na ADI Texto 3 (não mostrados na Figura 4.13). Esses leitores optam por fazer uma leitura mais aprofundada da Figura 5.19 após a leitura de boa parte do texto verbal, com muitas integrações entre texto e partes da figura. Considerando que certos elementos da figura são significados ao longo do texto verbal, que associa termos técnicos aos elementos visuais representados na figura, o comportamento desses leitores parece sugerir uma preocupação em atribuir sentido a todos os elementos da figura; um fechamento para a leitura, atribuindo sentido àquela representação.

A despeito dessas similaridades, o restante do processo de leitura é bastante idiossincrático. Há leitores como o PES11, que se move várias vezes entre o texto verbal e a figura nas proximidades de um apontador indexical. Nas proximidades do primeiro apontador indexical que direciona o leitor para a Figura 5.19a, esse leitor se move entre o texto e a figura a por três vezes. Comportamento semelhante é observado por esse leitor quando ele acompanha o apontador indexical Figura 5.19b e Figura 5.19c (note como as

barras vermelhas estão distribuídas ao longo de toda a faixa ocre e preta, regiões onde se localizam esses apontadores indexicais).

Além de realizarem muitas integrações entre o texto verbal dessas páginas e a Figura 5.19, alguns dos leitores desse grupo também realizaram movimentos de integração com outras partes do texto. Por exemplo, o leitor FIS15, realizou movimentos entre o texto e a equação 5.5, que aparece na página 149. Nos gráficos da Figura 4.13 esses movimentos aparecem como as faixas brancas mais largas no meio da faixa preta (referente à ADI Texto2). O texto verbal abaixo da equação 5.6 da página 150 diz o seguinte: “Como a Equação (5.5), essa equação *não* é uma relação vetorial...”. Esse leitor realizou, nesse momento, um deslocamento até a Equação 5.5 a fim de verificar a qual equação o texto faz menção. Para esses leitores (e outros, como veremos) essa indicação funciona como um apontador indexical que remete o leitor a outro ponto do texto ao qual ele se refere.

O leitor QTC2 também realiza um movimento para fora da página 150. A extensa faixa branca que aparece durante a leitura da ADI Texto 1 é um movimento que esse leitor realiza até as páginas iniciais do texto. Esse movimento se assemelha ao *modal scanning* de Kress (2003). Ele tem início quando o leitor está lendo o texto verbal nas proximidades do primeiro apontador indexical que orienta para a Figura 5.19a (bem no início da ADI Texto1 - ocre). Em um intervalo de tempo aproximado de 34 s esse leitor passa pela figura 5.19, pela equação 5.6, pela Tabela 5.1, pelas Figuras 5.17, 5.18, pela Equação 5.5 e pela legenda da Figura 5.16, ou seja, realiza uma revista geral no texto. Infelizmente, conforme já afirmamos em outros pontos, só temos acesso ao filme com a leitura após a realização de todo o teste, de modo que não temos como entrevistar o leitor acerca desse caminho de leitura, mas nos parece que esse participante fez uma retomada

149

Atenção Quando um bloco é empurrado ou puxado ao longo de uma superfície, esse movimento ocorre graças ao atrito.

O tipo de atrito que atua quando um corpo está deslizando sobre uma superfície depende da força de atrito cinético f_c . O coeficiente de atrito cinético μ_c depende para limitar que existe um movimento relativo entre as duas superfícies. O módulo da força de atrito cinético f_c depende desse coeficiente de atrito cinético μ_c e da força normal F_N . Entretanto, você realiza uma força maior para atritar uma caixa cheia de livros do que para atritar a quando ela está vazia. Esse princípio também é usado no sistema de freio de um carro, quando não se consegue a força de atrito necessária para parar o carro, os pneus deslizam sobre o asfalto.

Equação (5.5) só apenas uma representação matemática de um fenômeno muito complexo. Em nível microscópico, a força de atrito e a força normal decorrem de interações intermoleculares (fundamentalmente de natureza elétrica) entre duas superfícies rugosas nos pontos onde elas se tocam (Figura 5.18). A medida que um bloco desliza sobre as protuberâncias, as ligações intermoleculares se formam e se rompem, e a interação entre as superfícies não é simplesmente contínua. A força de atrito cinético não é proporcional ao tempo. Além das superfícies em contato pode, na verdade, haver um atrito, visto que essas moléculas se tornam apenas a formar ligações; entre duas superfícies lisas de um material metálico pode produzir uma "solda de frio". Os elos intermoleculares fazem deslizar o atrito porque uma película de óleo se forma entre as duas superfícies (como o caso de pneus e as pistas de gelo) ou no motor de um carro, impedindo-as de entrar em contato efetivo.

Figura 5.17 Quando um bloco é empurrado ou puxado ao longo de uma superfície, esse movimento ocorre graças ao atrito.

Figura 5.18 Quando um bloco desliza sobre uma superfície, as ligações intermoleculares se formam e se rompem, e a interação entre as superfícies não é simplesmente contínua. A força de atrito cinético não é proporcional ao tempo. Além das superfícies em contato pode, na verdade, haver um atrito, visto que essas moléculas se tornam apenas a formar ligações; entre duas superfícies lisas de um material metálico pode produzir uma "solda de frio". Os elos intermoleculares fazem deslizar o atrito porque uma película de óleo se forma entre as duas superfícies (como o caso de pneus e as pistas de gelo) ou no motor de um carro, impedindo-as de entrar em contato efetivo.

150 FÍSICA 1

A Tabela 5.1 mostra alguns valores típicos de μ_c . Embora esses valores sejam dados para dois materiais significativos, eles apenas aproximados, visto que a força de atrito cinético depende da velocidade do corpo em relação à superfície. Alguns materiais exibem efeitos de adesão que são μ_c que dependem da velocidade, de modo que possuem um coeficiente em casos mais simples. A Tabela 5.1 também apresenta valores do coeficiente de atrito cinético, que são geralmente maiores do que os de atrito estático. Quando você tenta arrastar uma caixa cheia de livros, ela pode não se mover porque o módulo da força de atrito estático f_e é maior do que o módulo da força aplicada F_a . Quando você aplica uma força F_a para mover a caixa, que possui o mesmo módulo de f_e ($\mu_e F_N$). Agora, aumentando um pouco a força aplicada F_a , a caixa se move e o coeficiente de atrito cinético μ_c é menor do que o de atrito estático μ_e . Assim, a caixa se move e o coeficiente de atrito cinético μ_c é menor do que o de atrito estático μ_e .

Como a Equação (5.5), essa equação não é uma relação vetorial, e tem uma relação entre o módulo de valores. O sinal de igual só vale quando a força F_a é paralela à superfície, atingindo seu valor crítico e o movimento está na iminência de começar (Figura 5.19). Quando F_a tem um ângulo que não vale (Figura 5.19b), o sinal da desigualdade é válido. Nesse caso é necessário usar o conceito de equilíbrio.

Figura 5.19 (a) Quando não existe movimento relativo entre as superfícies, o módulo da força de atrito estático f_e é igual ao sinal de igual. (b) Quando existe movimento relativo, o módulo da força de atrito cinético f_c é igual ao sinal de menor do que. (c) Quando existe movimento relativo, o módulo da força de atrito cinético f_c é igual ao sinal de menor do que. (d) Quando existe movimento relativo, o módulo da força de atrito cinético f_c é igual ao sinal de menor do que. (e) Quando existe movimento relativo, o módulo da força de atrito cinético f_c é igual ao sinal de menor do que. (f) Quando existe movimento relativo, o módulo da força de atrito cinético f_c é igual ao sinal de menor do que.

Figura 5.19 (a) Quando não existe movimento relativo entre as superfícies, o módulo da força de atrito estático f_e é igual ao sinal de igual. (b) Quando existe movimento relativo, o módulo da força de atrito cinético f_c é igual ao sinal de menor do que. (c) Quando existe movimento relativo, o módulo da força de atrito cinético f_c é igual ao sinal de menor do que. (d) Quando existe movimento relativo, o módulo da força de atrito cinético f_c é igual ao sinal de menor do que. (e) Quando existe movimento relativo, o módulo da força de atrito cinético f_c é igual ao sinal de menor do que. (f) Quando existe movimento relativo, o módulo da força de atrito cinético f_c é igual ao sinal de menor do que.

Figura 4.14: scanpath do leitor QTC2 ao realizar um escaneamento modal.

dos vários modos pelos quais passou antes de se dedicar a essa parte do texto. Veja esse caminho na Figura 4.14, na página anterior.

O próximo grupo sobre o qual voltamos nossa atenção também realiza movimentos entre texto verbal e figura ao longo de todo o trecho, porém, em menor número que o primeiro grupo. Encontramos cinco leitores nesse grupo: dois professores do Ensino Superior (PES9 e PES10) e um do Ensino Médio (PEM5), um estudante de doutorado (DOU2) e um estudante de física (FIS10).

Nesse grupo não encontramos leitores como PES11 ou FIS15 (do 1º grupo) que realizam muitas movimentações entre o texto verbal e a figura. Em geral, os movimentos são mais escassos (veja na Figura 4.15).

Outra característica comum aos participantes desse grupo é a ida à figura por apenas uma vez ao longo da leitura da ADI Texto 3. Enquanto há duas ou três movimentações significativas entre a ADI Texto 1 e a Figura 5.19, há apenas uma na ADI Texto 3 (apesar de parecer que o leitor PES9 vai mais de uma vez à figura quando está lendo o Texto 3, a extensa faixa branca no meio dessa ADI é um movimento até a Equação 5.5, seguida por uma passagem pela Equação 5.6 e um retorno ao texto. Nessa movimentação o leitor passa os olhos pela figura e o software registra essa passagem, porém ele não parece ler algo nesses momentos).

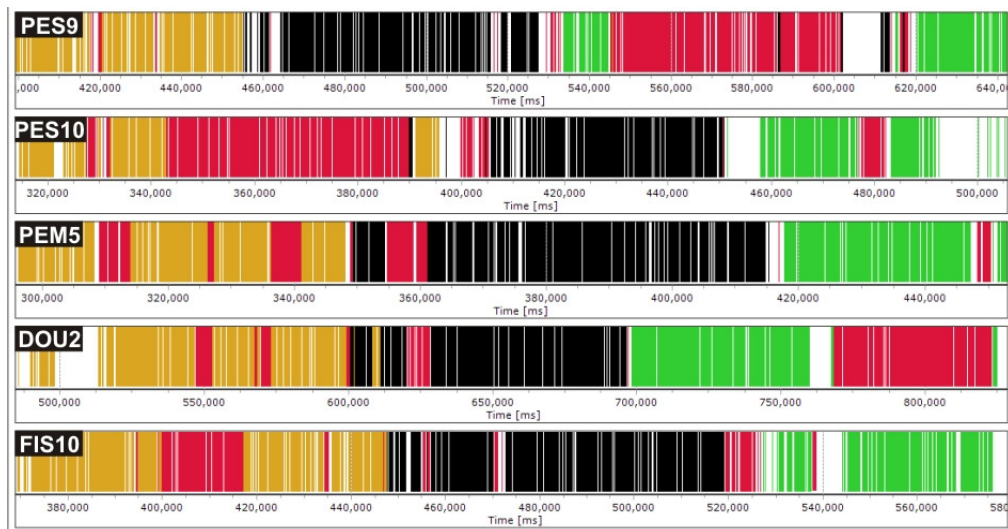


Figura 4.15: leitores pertencentes ao grupo ii.

Assim como no 1º grupo, alguns leitores se detêm na figura por mais tempo, para uma leitura mais profunda, em determinado momento. Os leitores PES9 e DOU2 fazem isso quando se encontram na ADI Texto 3, após a leitura de boa parte do texto. Os leitores PES10 e FIS10 optam por fazer essa leitura bem no início do texto, quando estão lendo o Texto1. De modo diferente, o leitor PEM5 não exibe um momento em que ele se detém na

figura por um tempo consideravelmente maior que os demais (note como há três faixas vermelhas com tamanhos aproximados, mas nenhuma delas é muito maior que as outras como ocorre com os outros leitores).

Essas movimentações se assemelham em alguma medida àquelas dos participantes do grupo (i), em que alguns têm uma necessidade de se apropriarem dos elementos da figura logo no início da leitura do texto verbal, ao passo que outros o fazem ao final do texto, como se a leitura da figura demandasse um conhecimento de todos os seus elementos significados pelo texto.

O próximo grupo possui um comportamento de leitura bastante próximo ao anterior, com a diferença que seus leitores não retomam à Figura 5.19 após terem se deslocado para a ADI Texto 3 (a ADI Texto 3 se encontra na página 151). Veja, na Figura 4.16, cinco, dentre os nove leitores que pertencem a esse grupo. São eles: um professor do Ensino Superior (PES2), um estudante de mestrado (MES1), um estudantes de Física (FIS12), um estudante de Matemática (MAT1) e um de Química Tecnológica (QTC3).

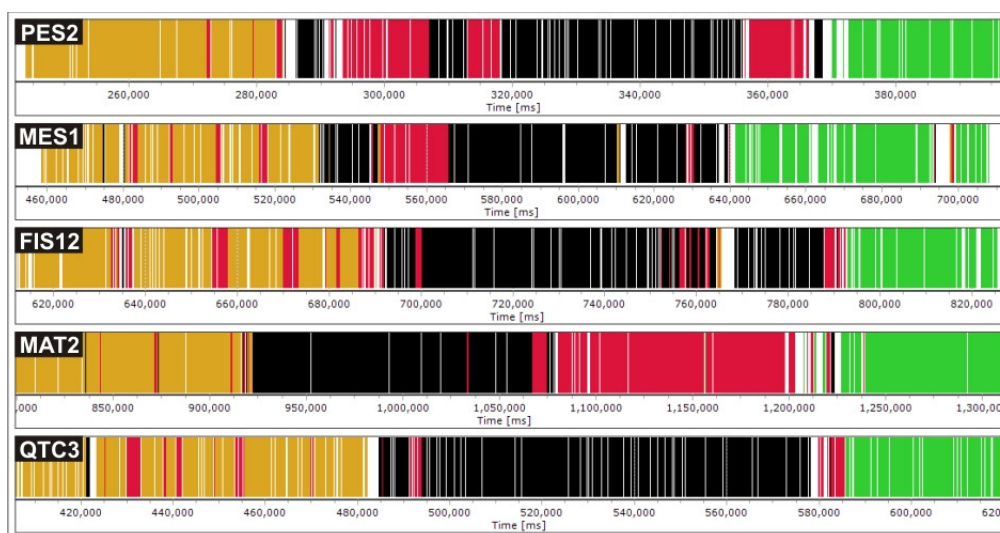


Figura 4.16: leitores pertencentes ao grupo ii.

Há três características sobre os leitores pertencentes a esse grupo que merecem ser destacadas. A primeira, que todos realizam um bom número de movimentações entre o texto verbal e a Figura 5.19, seguindo a multimodalidade do texto, principalmente na ADI Texto 1. É preciso notar, entretanto, que há grandes diferenças na forma como diferentes leitores realizam essas movimentações. Por exemplo, o leitor MAT2 tem uma característica peculiar de se deslocar à figura, a cada vez que surge um apontador indexical, com uma ou duas fixações (note como as faixas vermelhas são bem estreitas, indicando um pequeno tempo de permanência na ADI Figura 5.19 a cada deslocamento). Somente ao final da ADI Texto2 esse leitor se desloca até a figura e visualiza seus vários elementos em detalhes. De

modo diferente, leitores como FIS12 e QTC3 se detêm por um pouco mais de tempo a cada vez que vão à figura (note como as faixas vermelhas são um pouco mais largas que do leitor MAT2 na ADI Texto 1). Contudo, considerando o tempo total de leitura, esses dois leitores não fazem uma exploração muito demorada dessa figura.

Segunda, conforme já afirmamos, nenhum dos leitores desse grupo retorna à figura após passar para a ADI Texto 3 (a pequena faixa vermelha presente na ADI Texto 3 do leitor MES1 se refere a uma passagem breve dos olhos pela figura quando esse leitor retorna da leitura da Tabela 5.1, não configurando, portanto, uma leitura de algum elemento da figura). Esse comportamento é bastante curioso e parece difícil de explicar. A proximidade física da Figura 5.19 com o texto não parece ser a explicação. Quando o leitor se encontra na página 150 e rola o mouse para a página seguinte, ele ainda visualiza a figura, contudo, não retorna a ela, ignorando os vários apontadores indexicais da ADI Texto 3. O que nos parece, nesse grupo de leitores é que enquanto o texto verbal se encontra antes da figura os leitores entendem que há elementos em ambos que devem ser relacionados. Uma vez que o texto prossegue para além da figura não há mais elementos a serem significados ou compreendidos. Outra possível explicação é que esses leitores consideram que tudo o que havia para ser significado o foi no texto anterior à figura.

A despeito desse comportamento na ADI Texto 3, é preciso reconhecer que esses leitores não desprezam a multimodalidade do texto por completo, inclusive, muitos de seus movimentos nas ADI Texto 1 e Texto 2 partem de apontadores indexicais

Como próximo grupo apresentamos os leitores representados na Figura 4.17. Para compor essa figura selecionamos alguns exemplos representativos dos 16 indivíduos que apresentam esse comportamento de leitura. São eles: um professor do Ensino Superior (PES4) e um do Ensino Médio (PEM6), um de mestrado (MES2), um estudante de Física (FIS4) e um de Química (QUI1).

De início, podemos observar que nesse grupo se encontram representantes de todas as categorias de leitores: professores de Ensino Superior e Médio, estudantes de mestrado e doutorado (não mostrado na Figura 4.17, mas presente entre os membros desse grupo), estudantes de graduação em Física e de outros cursos, ou seja, é um padrão bastante comum. A principal característica desse grupo é que esses leitores, apesar de se deslocarem por mais de uma vez do texto verbal à figura, não acompanham a multimodalidade do texto em grande medida. Ao contrário, esses leitores seguem um caminho de leitura bastante particular, que ignora boa parte dos apontadores indexicais que se encontram no texto. Por exemplo, o leitor MES2 não realiza movimento algum à figura enquanto está lendo a ADI Texto 1 (lembramos que nessa ADI estão presentes 2 apontadores indexicais). O leitor QUI1, por outro lado, vai à figura apenas quando lê a ADI Texto 1, não retornando mais à figura no restante da leitura.

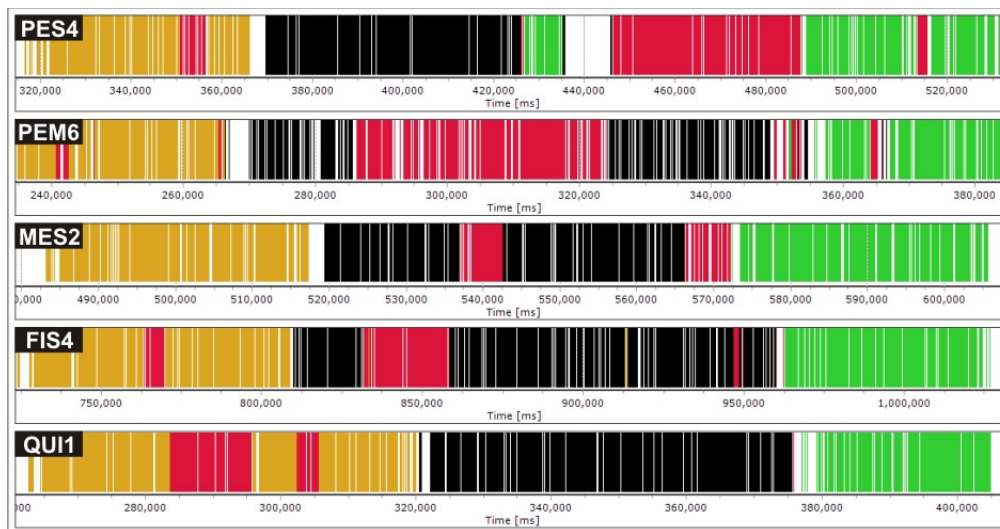


Figura 4.17: leitores pertencentes ao grupo iv.

Do total de 16 participantes nesse grupo, somente três realizam movimentações entre o texto verbal e a figura nas três ADI, como ocorreu com o leitor PEM6. Esse leitor se desloca até a figura bem no início da ADI Texto 1, no meio da ADI Texto 2, quando realiza uma leitura em detalhes da figura, e retorna a ela quando lê a ADI Texto 3. Onze participantes realizam leituras da figura em duas ADI, como os leitores PES4 e FIS4. Nesse caso encontramos variações: leitores que vão à figura na ADI Texto 1 e Texto 2, Texto 1 e Texto 3, e Texto 2 e Texto 3. Apenas dois participantes leem a figura em apenas uma ADI, como os leitores MES2 e QUI1.

Assim como ocorreu no grupo anterior, dos 16 leitores, 11 não retornam à figura após passarem para a ADI Texto 3. A pouca movimentação desses leitores entre o texto verbal e a figura ocorre apenas durante a leitura das ADI Texto 1 e Texto 2.

Novamente temos a repetição de um comportamento recorrente em vários leitores, qual seja, o de dedicar um tempo maior para a leitura da figura em algum momento do texto. Isso fica bastante evidente em onze leitores desse grupo, como PES4, PEM6, FIS4 e QUI1. Embora se movimentem mais de uma vez à figura, há um momento em que esses leitores se demoram mais na leitura. Desses onze, cinco o fazem no final da ADI Texto 2, e dois no início do Texto 3. Esses leitores parecem recorrer à figura para uma leitura detalhada somente após a leitura de certo bloco de texto verbal. O padrão de leitura que vai à figura após a ADI Texto 2 é muito comum, pois é o momento em que termina o texto verbal e segue-se a figura de acordo com a diagramação do texto. Embora menos comum, o padrão de voltar à figura no início da ADI Texto 3 também aparece, pois o início da ADI Texto 3 é a continuação da frase que teve início no fim da ADI Texto 2. Sendo assim, há vários leitores

que finalizam o Texto 2, passam para o Texto 3, terminam de ler a frase e retornam à figura. Para esses leitores o texto verbal parece ter forte direcionamento na leitura.

Por fim apresentamos um grupo que ignora por completo a multimodalidade do texto. Temos, na Figura 4.18, cinco participantes, dentre os oito, que se enquadram nesse grupo. Nessa figura estão representados um professor do Ensino Superior (PES3) e um do Ensino Médio (PEM4), um estudante de Física (FIS5), um estudante de Química Tecnológica (QTC1) e um de Engenharia Civil (EC1).

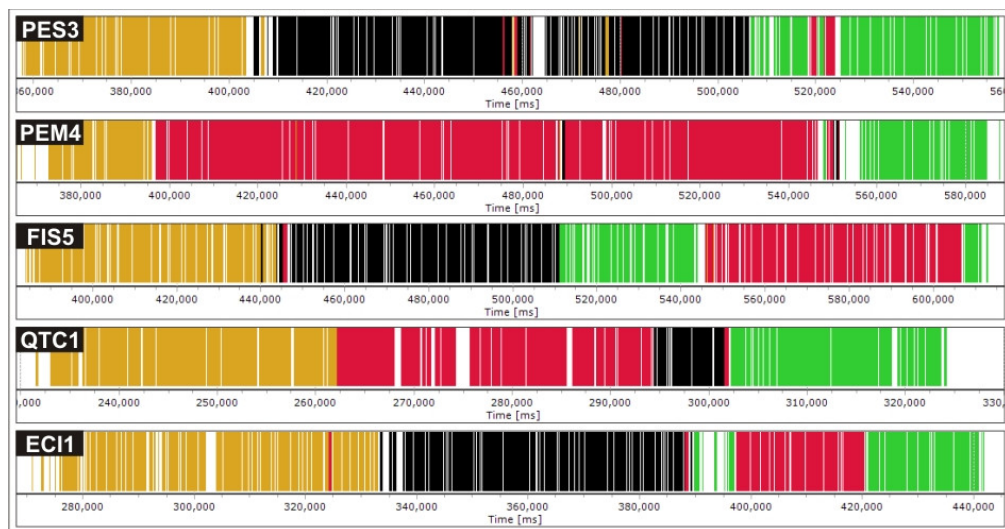


Figura 4.18: leitores pertencentes ao grupo v.

Como se pode ver pelos gráficos da Figura 4.18, a principal característica desse grupo de leitores é a ida à Figura 5.19, basicamente em um único momento ao longo de todo o trecho de texto das páginas 150 e 151. Mesmo em situações onde parece ocorrer algo diferente, como por volta de 442,5 s para FIS5, ou 302 s para QTC1, trata-se de uma breve passagem pela região da figura que é registrada pelo software. No caso do leitor FIS5 a faixa vermelha refere-se a um pequeno escaneamento multimodal que ele realiza passando pela figura e indo até o início do Texto2, quando se desloca do Texto 1 para o Texto 2. A faixa vermelha que aparece no gráfico do leitor QTC1 se refere ao momento em que ele se desloca da ADI Texto 2 para a ADI Texto 3 e passa pela região da figura, pois ela se encontra entremedio às duas ADI. Nesse caso ele não se detém em nada específico. No filme do *scanpath* desse leitor, vemos apenas seus olhos se movendo em um caminho direto do Texto 2 para o Texto 3.

Apesar dessa semelhança, os gráficos mostram caminhos de leitura distintos entre os leitores. O leitor PES3 praticamente não lê a figura. Ele se detém sobre ela, visualizando uns poucos elementos, por cerca de 8,25 s enquanto que a média do tempo de leitura é 49,7 s. A posição do texto verbal que esse leitor escolhe para ir até a figura é também um

indicativo que a figura parece ter pouca importância para ele. Somente após passar por todo o texto verbal da página 150 é que ele se desloca à figura. Esse último comportamento é também apresentado por outros três leitores, sendo que dois deles estão representados na Figura 4.18: FIS5 e ECI1.

O leitor FIS5 lê todo o texto verbal, incluindo boa parte da ADI Texto 3, primeiro. Somente ao finalzinho do texto verbal ele retorna à figura para realizar sua leitura. Ele lê a figura em detalhes, visualizando todos os seus elementos. O Leitor ECI1 se desloca à figura logo que finaliza a primeira frase da ADI Texto 3 (que é continuação da ADI Texto 2). Esses três leitores parecem seguir um caminho de leitura fortemente orientado pelo modo escrita. Eles leem todo um bloco de texto verbal primeiro, para só então se dedicarem à leitura da figura.

Outros dois participantes também compartilham certas semelhanças em seus caminhos de leitura. Os leitores PEM4 e QTC1 praticamente não leem a ADI Texto 2. O leitor QTC1 inicia a leitura da ADI Texto 1 e, ao final do primeiro parágrafo, se desloca até a figura. Ele lê vários elementos na figura e, ao finalizar, apenas corre o olho em algumas partes do Texto 2. O leitor PEM4, professor do Ensino Médio, nem chega a olhar a ADI Texto 2 e segue direto para a ADI Texto 3 após a leitura da Figura 5.19.

Esses caminhos de leitura são possíveis, pois todo o material está visualmente disponível ao leitor e ele pode escolher como trilhá-los. No entanto, trata-se de um comportamento pouco comum, exibido por apenas dois leitores. Do ponto de vista da compreensão do texto há lacunas que não serão preenchidas, uma vez que a ADI Texto 2 discute partes importantes relacionadas ao fenômeno do atrito estático.

O fato de os leitores desse grupo não realizarem movimentos de ir e vir entre o texto verbal e a figura, seguindo a multimodalidade do texto, não significa que não leram os elementos da Figura 5.19 (com exceção do professor PES3, que realmente quase não leu a figura). Os *heatmaps* dos leitores FIS5 (Figura 4.19) e PEM1 (Figura 4.20), o primeiro pertencente ao grupo dos leitores que não segue a multimodalidade do texto e o segundo ao grupo dos que seguem, revelam que ambos leram vários elementos na Figura 5.19. O leitor FIS5 não realizou movimentos de ir e vir entre o texto e a figura, ao passo que o PEM1, ao contrário, fez muitas movimentações nesse sentido.

O *heatmap* indica, em colorações diferentes, o tempo dedicado a cada área do material visualizado pelo leitor: as áreas em vermelho indicam tempos de permanência maiores, seguidas pelas amarelas, que indicam um tempo um pouco menor. As regiões em azul e verde indicam os menores tempos de permanência. A partir dos *heatmaps* é possível ter um mapa da atenção do leitor nas várias áreas da Figura 5.19.

Os *heatmaps* das Figuras 4.19 e 4.20 mostram que os diferentes leitores têm focos de atenção distintos, mas ambos visualizaram muitas partes da Figura 5.19. O estudante

FIS5 apresentou os maiores focos de atenção nos textos verbais das letras (a), (b) e (c) da figura, bem como na leitura da legenda. Um pouco menos de atenção foi dada à curva do gráfico, mais especificamente onde ocorre a mudança do atrito estático para o dinético e ao texto situado próximo à chave que identifica a região de repouso da caixa (próximo ao início do eixo x do gráfico). O professor PEM1, por outro lado, apresentou os maiores tempos de fixação nos diagramas de força, no texto verbal da letra (d), na representação dos símbolos usados para designar as forças de atrito próximas ao eixo y e na curva do gráfico, novamente na parte da curva em que o atrito muda de estático para cinético. Quase nenhuma atenção foi dada por ele à legenda.

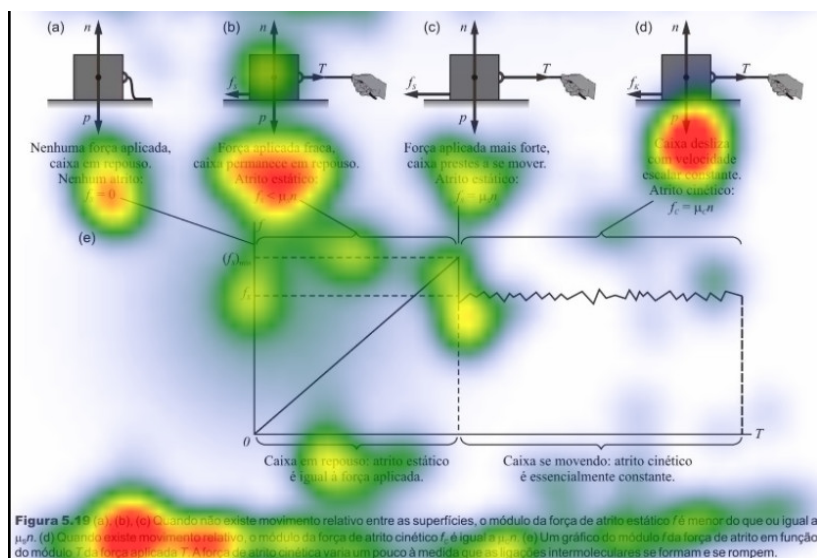


Figura 4.19: heatmap do leitor FIS5 após a leitura da Figura 5.19.

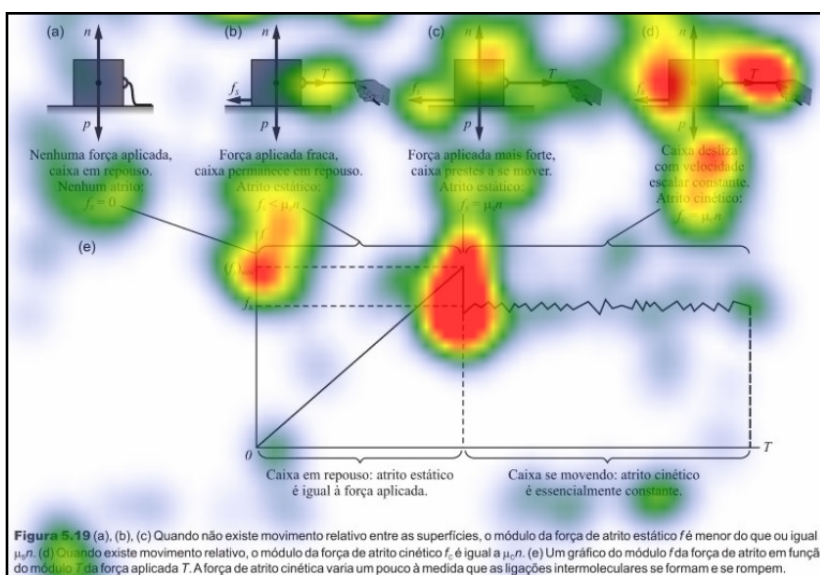


Figura 4.20: heatmap do leitor PEM1 após a leitura da Figura 5.19.

Embora existam diferenças quanto ao foco de atenção, ambos os leitores se dedicaram à leitura de elementos da figura. O ponto que queremos discutir aqui é a forma de leitura e como ela pode influenciar na construção do significado comunicado pelo texto multimodal.

Em acordo com as afirmações de Doran (2018), esse trecho de texto multimodal constrói o conhecimento a partir do uso conjunto dos textos verbais, dos diagramas, das equações algébricas e do gráfico. A discussão da ação do atrito sobre um corpo parte de uma situação de alta gravidade semântica. Todo o texto verbal da página está baseado no exemplo da caixa que se encontra em repouso e entra em movimento pela ação de uma força que a puxa para a direita. A partir dessa situação particular o texto vai gradativamente se movendo para representações mais gerais.

A construção do conhecimento sobre o atrito a partir desse texto requer do leitor a integração de partes específicas do texto com elementos também específicos da Figura 5.19. Por meio dos apontadores indexicais, o texto verbal vai direcionando o olhar do leitor, a cada instante, para as representações da figura. Esse movimento tanto auxilia o leitor na percepção correta das representações, uma vez que elas são limitadas, quanto possibilita o aumento da densidade semântica, na medida em que, a cada ida à figura, o leitor associa a certos termos do texto verbal, uma representação esquemática de vetores, uma equação e um trecho do gráfico.

O que pudemos observar em nossa pesquisa é que esse caminho de leitura, que vai passo a passo integrando os diferentes modos, não é seguido em grande medida. Naturalmente, temos que relativizar um pouco essa questão pois, no caso dos professores, por exemplo, pode ser que a escolha em pular essa integração passo a passo tenha relação com o conhecimento que eles possuem sobre o atrito. Há, no entanto, leitores cujos comportamentos desafiam essa colocação. Há professores dos Ensinos Superior e Médio que trilham caminhos de leitura que promovem muitas integrações e há estudantes, que supostamente teriam um menor conhecimento sobre o atrito, que não realizam muitas integrações.

Quando comparamos os grupos de leitores que acompanham a multimodalidade do texto, e aqueles que a ignoram, nos Quadros 3.1 e 4.1, percebemos que alguns leitores estão presentes nos mesmos grupos, nos dois Quadros. O Quadro 3.1 trata dos grupos de leitores que identificamos na leitura das páginas 148 e 149 e o Quadro 4.1 dos grupos referentes à leitura das páginas 150 e 151. Para facilitar nossa discussão, reunimos no Quadro 4.2 esses dois grupos de leitores.

Os professores PES1, PEM1 e o estudante QTC2, fazem parte, nos dois casos, do grupo de leitores que acompanham em grande medida a multimodalidade do texto. Esses leitores realizaram muitas integrações entre os modos, indicadas pela intensa

movimentação observada nos gráficos da leitura das ADI. Essa parece ser uma característica desses leitores, pois mantiveram o mesmo comportamento em todo o texto.

Por outro lado, os leitores PES3, FIS6 e ECI1 aparecem, nos dois casos, no grupo dos leitores que ignoraram a multimodalidade do texto. Para esses leitores os modos devem ser lidos na ordem em que aparecem na página, mesmo quando há uma indicação de um caminho diferente, proposto por um apontador indexical. Como no caso anterior, essa também parece ser uma característica desses leitores, pois se comportaram da mesma forma ao longo de todo o texto.

Outro aspecto interessante que observamos pelo Quadro 4.2 é o aumento no número daqueles que realizaram mais integrações entre os modos na leitura das páginas 150 e 151 (9), quando comparados com aqueles que realizaram muitas movimentações na leitura das páginas 148 e 149 (5). É possível que essa maior movimentação esteja relacionada à maior presença de apontadores indexicais que remetem o leitor aos diferentes elementos da figura. Como vimos, existem 8 apontadores indexicais que direcionam o leitor aos elementos da Figura 5.19, distribuídos ao longo de todo texto das páginas 150 e 151. Além disso, são vários os momentos em que o texto trata dos signos presentes na figura. É possível que essa maior integração entre texto verbal e figura tenha favorecido a realização de movimentos entre esses modos para uma maior quantidade de leitores

Quadro 4.2: reprodução dos grupos i e iv do Quadro 3.1 e dos grupos i e v do Quadro 4.1.

Grupo		Participantes	
Leitura das páginas 148 e 149	Leitores que acompanham a multimodalidade do texto	PES1, PEM1, MES1, FIS3, QTC2	5
	Leitores que não acompanham a multimodalidade do texto	PES2, PES3, PES8, FIS6, FIS14, ECI1, QTC3	7
Leitura das páginas 150 e 151	Leitores que acompanham a multimodalidade do texto	PES1, PES6, PES11, PEM1, PEM3, FIS9, FIS13, FIS15, QTC2	9
	Leitores que não acompanham a multimodalidade do texto	PES3, PEM4, FIS5, FIS6, FIS7, QTC1, EMI1, ECI1	8

Essas particularidades sobre o comportamento dos leitores que observamos ao acompanhá-los na leitura do texto, nos leva a algumas considerações importantes acerca do uso dos livros textos no ensino. O primeiro ponto é que há, de fato, leitores com padrões de leitura muito distintos. Considerando que o conhecimento da Física é comunicado por diferentes modos, então deve haver uma preocupação, tanto de produtores de material didático, quanto de professores, concenente à leitura dos textos multimodais. Se por um lado é difícil conceber mudanças na produção de um livro, pois isso envolve mudanças na diagramação e no projeto gráfico, que em última instância reflete no custo final do produto

(embora não seja impossível), por outro vemos como mais fácil e necessário que professores auxiliem seus alunos na correta compreensão desses textos. Se encontramos limitações no texto, como a falha do texto em integrar o gráfico ao texto verbal, o professor deve estar atento para auxiliar seus estudantes na construção desse caminho. A esse respeito, formadores de professores também devem se ocupar com essa questão, uma vez que os futuros professores terão em suas mãos os alunos que irão aprender pelos livros didáticos e, portanto, terão que assumir esse papel de educar a atenção dos leitores novatos para a leitura apropriada de textos multimodais.

Considerando essa diversidade de comportamentos quanto à leitura de textos multimodais, uma última consideração para finalizar esse capítulo diz respeito ao que ainda precisa ser investigado em trabalhos futuros. Infelizmente não tivemos condições de avaliar em que medida uma leitura que segue mais ou menos a multimodalidade do texto afeta a aprendizagem a partir do texto, mas temos a intuição que esses diferentes tipos de leitura apresentados pelos participantes têm influência na percepção dos signos e na compreensão do fenômeno que eles representam.

Capítulo 5 – Leitura e manipulação de equações e gráficos

Conforme já discutimos, a Física, seja como área de conhecimento, seja como disciplina escolar, se constitui por meio da utilização de textos verbais, de imagens de diversos tipos e da Matemática (Doran, 2018). Em certas áreas é até possível falar dos conceitos físicos com base em textos verbais e diagramas (embora não seja comum), mas em áreas como a Mecânica Quântica, a Matemática adquire um papel central. Para O'Halloran (2005), essa importância que a Matemática adquiriu pode ser devida ao fato de que ela se desenvolveu como modo semiótico cuja gramática confere aos seres humanos a capacidade de abordar os problemas de maneira que nenhum outro modo possibilita. Seja por meio das equações ou dos gráficos, a Matemática está sempre presente nos textos de Física.

Nesse capítulo vamos analisar algumas interações dos leitores com equações algébricas e gráficos, tanto na leitura do texto na tela, quanto na resolução das questões abertas na folha de papel.

Antes de passarmos às análises, precisamos introduzir uma distinção para referências às figuras. Retiramos o texto sobre o atrito do Capítulo 5 do livro de Mecânica de Young e Freedman (2008). Por esse motivo, as figuras do livro recebem a numeração 5.16, 5.17, 5.18 e 5.19. Como agora estamos no capítulo 5 da tese, para não haver confusão entre as referências às figuras da tese e às figuras do livro, vamos utilizar o negrito para designar as últimas. Assim, se o texto trazer a designação Figura 5.17, trata-se de uma figura da tese; se trazer a designação **Figura 5.17**, refere-se a uma figura do livro texto.

5.1 As equações para as forças de atrito cinético e estático

No texto utilizado na pesquisa são apresentadas duas equações algébricas, uma para o cálculo do módulo da força de atrito cinético e outra para o estático. A presença da Matemática é tão natural nos textos de Física que as equações surgem naturalmente, como parte da abordagem dos fenômenos. Na Figura 5.1 estão reproduzidos os trechos das páginas 149 (A) e 150 (B), onde são apresentadas as duas equações no texto.

Nos textos didáticos para o Ensino Superior é comum que as equações sejam destacadas do corpo principal do texto verbal por meio de espaços e identificadas por números (as equações nas Figuras 5.1A e B são identificadas pelos números 5.5 e 5.6). Esses dois recursos funcionam tanto para destacar as equações, quanto para facilitar as referências que o texto faz a elas por meio de apontadores indexicais. Por exemplo, o texto abaixo da Equação 5.6 (Veja Figura 5.1B) se inicia da seguinte forma: “Como a Equação

(5.5), essa equação ...”. O leitor pode acessar a Equação 5.5 procurando pelo número que a identifica.

A O tipo de atrito que atua quando um corpo está deslizando sobre uma superfície denomina-se **força de atrito cinético** \vec{f}_c . O adjetivo 'cinético' e o índice inferior 'c' servem para lembrar que existe um movimento relativo entre as duas superfícies. O *módulo* da força de atrito cinético geralmente cresce quando a força normal cresce. Por isso, você realiza uma força maior para arrastar uma caixa cheia de livros do que para arrastá-la quando ela está vazia. Esse princípio também é usado no sistema de freio de um carro: quanto mais as pastilhas de freio são comprimidas contra o disco de freio, maior é o efeito da freada. Em muitos casos, verifica-se experimentalmente que o módulo da força de atrito cinético f_c é *proporcional* ao módulo n da força normal. Em tais casos, podemos representar a relação pela equação

$$f_c = \mu_c n \quad (5.5)$$

(módulo da força de atrito cinético)

onde μ_c (pronuncia-se: “mi, índice c”) possui um valor constante denominado **coeficiente de atrito cinético**. Quanto mais deslizante for uma superfície, menor será o seu coeficiente de atrito. Como se trata da razão entre duas grandezas, μ_c é um número puro sem unidades.

ATENÇÃO Forças de atrito e normal são sempre **perpendiculares**. Lembre-se de que a Equação (5.5) não é uma equação vetorial porque \vec{f}_c e \vec{n} são sempre perpendiculares. Em vez disso, representa uma relação escalar entre os módulos das duas forças.

B de quebrar as ligações moleculares entre as superfícies da caixa e do solo) e começa a deslizar. A Figura 5.19c mostra um diagrama das forças quando T atinge esse valor crítico. Quando T supera esse valor, a caixa não está mais em equilíbrio. Para um dado par de superfícies, o valor máximo de f_s depende da força normal. A experiência mostra que esse valor máximo ($f_{s,max}$) é aproximadamente *proporcional* a n ; chamamos o fator de proporcionalidade de μ_s , de **coeficiente de atrito estático**. Na Tabela 5.1 são apresentados alguns valores típicos de μ_s . Em uma situação particular, a força de atrito estático pode ter qualquer valor entre zero (quando não existe nenhuma outra paralela à superfície) até um valor máximo dado por $\mu_s n$. Em símbolos,

$$f_s \leq \mu_s n \quad (5.6)$$

(módulo da força de atrito estático)

Como a Equação (5.5), essa equação *não* é uma relação vetorial, e sim uma relação entre módulos de vetores. O sinal de igual só vale quando a força T , paralela à superfície, atingiu seu valor crítico e o movimento está na iminência de começar (Figura 5.19c). Quando T for menor do que esse valor (Figura 5.19b), o sinal da desigualdade é válido. Nesse caso é necessário usar a condição de equi-

Figura 5.1: trechos das páginas 149 e 150 do livro de Young e Freedman (2008) onde são apresentadas as equações para o cálculo das forças de atrito cinético (A) e estático (B).

O primeiro desses números indica o capítulo e o segundo a ordem dessa equação no capítulo. No caso dessas equações, elas se encontram no Capítulo 5 e já haviam sido apresentadas outras 4 equações anteriores a essas nesse capítulo. Esse código de dois números permite que os apontadores indexicais façam referências à equações no mesmo capítulo ou em capítulos diferentes. Trata-se de um recurso bastante útil, pois ocorre de apontadores indexicais de um capítulo remeter o leitor a uma equação apresentada em outro capítulo. Isso acontece até mesmo entre diferentes volumes de uma mesma coleção. Por meio desse código o leitor pode estabelecer a relação que o autor deseja em determinado momento do texto.

A atribuição de sentidos aos símbolos presentes em uma equação é algo que depende do texto verbal. Conforme Doran (2018), o texto verbal nomeia e atribui significados aos símbolos. No início do trecho da Figura 5.1A, por exemplo, o texto verbal diz o seguinte: “O tipo de atrito que atua quando um corpo está deslizando sobre uma superfície denomina-se **força de atrito cinético** f_c . O adjetivo 'cinético' e o índice inferior 'c' servem para lembrar que existe um movimento relativo entre as duas superfícies.”. A partir desse momento, esses símbolos (f_c) não significam apenas as letras f e c, mas sim, a força

de atrito que atua entre duas superfícies que estejam se movimentando uma em relação à outra. A esse respeito, fazemos um breve parêntese para chamar a atenção para o fato de que, no gráfico da **Figura 5.19**, os tradutores se esqueceram de mudar o índice k (de *kinetic*, do inglês) para o índice c (no texto a força de atrito dinético é representada por f_c e no gráfico por f_k). Embora pareça um deslize irrelevante, um esforço maior será necessário para que um aprendiz associe o símbolo correto ao gráfico.

O texto faz o mesmo para os demais símbolos da equação. A força normal (n) já havia sido introduzida no Capítulo 4 do livro e é retomada como uma componente da força de contato, perpendicular à superfície, no início da página 149. O coeficiente de atrito cinético (μ_c) é abordado no texto logo abaixo da Equação 5.5. São fornecidas várias informações sobre ele, incluindo a forma como seu nome deve ser pronunciado, uma vez que se trata de uma letra grega nova, inserida no discurso da física nesse livro (é possível que grande parte dos estudantes tenham tido contato com esse coeficiente no Ensino Médio, mas como o livro de Mecânica é o primeiro com o qual os estudantes têm contato no Ensino Superior, os autores tiveram essa preocupação).

Algo semelhante pode ser dito a respeito da equação para a força de atrito estático mostrada na Figura 5.1B. No entanto, devido às características dessa força, sua abordagem é um pouco mais longa. Os detalhes da equação $f_c = \mu_c n$ foram abordados ao longo de 20 linhas do texto verbal, ao passo que, para a equação $f_s \leq \mu_s n$ foram necessárias 37. Além disso, a discussão dos símbolos dessa equação envolveu também a **Figura 5.19** (abordada em detalhes na primeira seção do Capítulo 4). A explicação para a necessidade da presença do relacionador \leq (menor ou igual) nessa equação passa pela discussão do movimento da caixa sendo puxada por uma força. Reproduzimos a **Figura 5.19** na Figura 5.2 para que o leitor possa acompanhar a discussão.

O texto que nomeia o símbolo f_s com o força de atrito estático está logo no início do segundo parágrafo da página 150: “A força de atrito também pode atuar quando não existe movimento relativo. Quando você tenta arrastar uma caixa cheia de livros, ela pode não se mover porque o solo exerce uma força igual e contrária. Essa força denomina-se **força de atrito estático f_s** .”. Em seguida o texto verbal faz referência à **Figura 5.19** e afirma que, se a caixa não se move, mesmo sendo puxada, é porque a força de atrito aumentou: “No início, a caixa permanece em repouso porque, à medida que T cresce, a força de atrito estático f_s também cresce (permanecendo com o mesmo módulo de T).”. Chega um momento, no entanto, que essa força atinge um valor máximo. Ao tratar desse momento, o texto verbal faz novas referências à **Figura 5.19** e nomeia outros dois símbolos “A experiência mostra que esse valor máximo (f_s)_{máx} é aproximadamente proporcional a n ; chamamos o fator de proporcionalidade de μ_s de coeficiente de atrito estático.”.

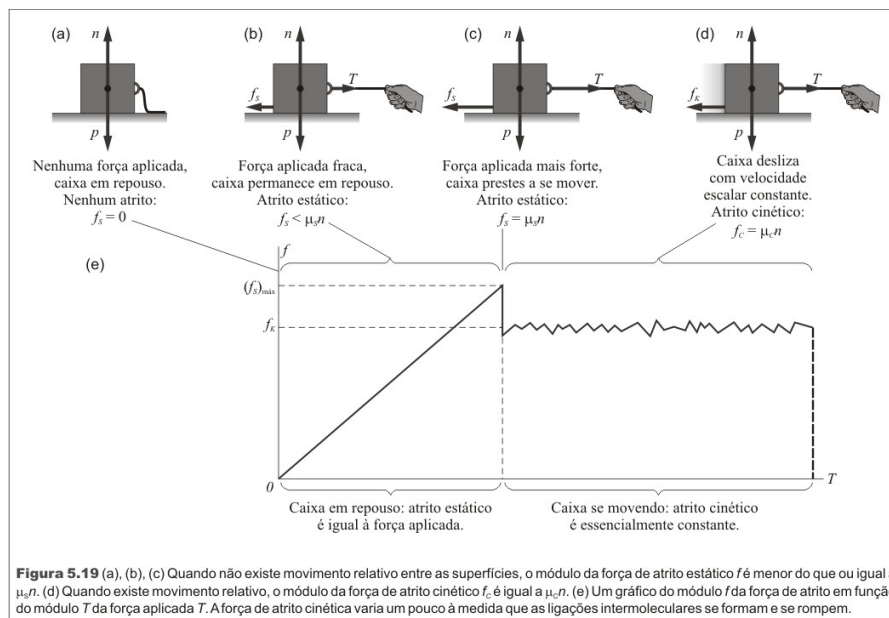


Figura 5.2 reprodução da Figura 5.19 (Young e Freedman, 2008, p. 150).

Mais adiante, o texto verbal traz uma informação importante acerca da atuação da força de atrito estático: “Em uma situação particular, a força de atrito estático pode ter qualquer valor entre zero (quando não existe nenhuma outra paralela à superfície) até um valor máximo dado por $\mu_s n$.” Então é apresentada a equação com os símbolos mencionados no texto e por fim, logo abaixo da equação, são retomados os sinais presentes nela: “O sinal de igual só vale quando a força T , paralela à superfície, atingiu seu valor crítico e o movimento está na iminência de começar (Figura 5.19c). Quando T for menor do que esse valor (Figura 5.19b), o sinal da desigualdade é válido.”

Esse texto é um bom exemplo das colocações de O’Halloran (2005) acerca do discurso da Matemática. Para ele, a Matemática se constitui em íntima interação com a linguagem (texto verbal), com os símbolos matemáticos e com as imagens. A construção de significados para a equação algébrica nesse texto não emerge unicamente da Matemática, mas de uma interação entre a equação, o texto verbal e a **Figura 5.19**. Ao longo de todo o trecho analisado, o texto verbal é usado para nomear e significar os símbolos que aparecem na equação (f_s , $(f_s)_{\max}$, μ_s). Ele também constrói, juntamente com a figura, o significado para o símbolo \leq na equação. Como esse sinal, na verdade, é uma junção de dois símbolos ($<$ e $=$), o texto define o domínio de cada um deles na situação física representada pela equação. Portanto, após passar por todo esse trecho, que orquestrou texto verbal, equação e figura, o leitor deve visualizar a equação 5.6 da forma mostrada na Figura 5.3, onde a parte superior se aplica ao repouso, antes da iminência do movimento e a parte inferior se aplica na iminência do movimento.

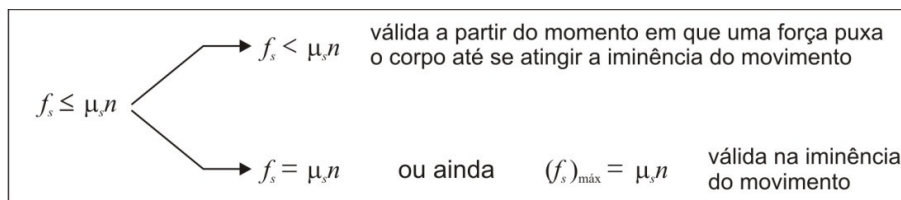


Figura 5.3: condensação de significados na Equação 5.6.

É surpreendente a quantidade de significados condensados nos símbolos da equação 5.6: i) a força de atrito à qual essa equação se refere é estático (indicado pelo subscrito 's'); ii) a força de atrito estático depende das características das superfícies em repouso (μ_s) e da compressão das superfícies (n); iii) a força de atrito estático pode variar desde zero (quando não há força aplicada) até um valor máximo ($(f_s)_{\text{máx}}$); iv) essa equação possui dois domínios de validade ($<$ e $=$).

Essa capacidade de condensar informações é o que confere à matemática a propriedade de aumentar a densidade semântica da física (Doran, 2018). Todo o conjunto de significados explicitados no parágrafo anterior se encontra em apenas seis símbolos na Equação 5.6. Esse símbolo (f_s), carregado de significados, pode agora ser relacionado a tantos outros textos e equações, participando de novas construções na física (por exemplo, quando aplicado à resolução de um problema).

5.2 Acompanhando a leitura da Equação 5.5

Vimos que a atribuição de sentidos aos símbolos de uma equação demanda a presença do texto verbal, que nomeia e significa seus símbolos. Durante a leitura de um texto com uma equação, portanto, devem ocorrer movimentos de ir e vir entre o texto e a equação que sinalizem esse processo de atribuição de significados. Quando analisamos os grupos de leitores durante a leitura das páginas 148 e 149, chamamos a atenção para o grande número de participantes que realizaram transições entre o texto verbal e a equação 5.5. Naquela ocasião, definimos as áreas de interesse (ADI) Texto 3, Equação 5.5 e Texto 4 para avaliar a forma como os leitores interagiram com elas (veja essas ADI em destaque na Figura 5.4).

A ADI Texto 3, em azul, é o texto verbal que

O tipo de atrito que atua quando um corpo está deslizando sobre uma superfície denomina-se **força de atrito cinético** f_c . O adjetivo 'cinético' e o índice inferior 'c' servem para lembrar que existe um movimento relativo entre as duas superfícies. O **módulo** da força de atrito cinético geralmente cresce quando a força normal cresce. Por isso, você realiza uma força maior para arrastar uma caixa cheia de livros do que para arrastá-la quando ela está vazia. Esse princípio também é usado no sistema de freio de um carro: quanto mais as pastilhas de freio são comprimidas contra o disco de freio, maior é o efeito da freada. Em muitos casos, verifica-se experimentalmente que o módulo da força de atrito cinético f_c é **proporcional** ao módulo n da força normal. Em tais casos, podemos representar a relação pela equação

Equação 5.5 (5.5)
 $f_c = \mu_c n$
 (módulo da força de atrito cinético)

onde μ_c (pronuncia-se: "mi, índice c") possui um valor constante denominado **coeficiente de atrito cinético**. Quanto mais deslizante for uma superfície, menor será o seu coeficiente de atrito. Como se trata da razão entre duas grandezas, μ_c é um número puro sem unidades.

Texto 4
ATENÇÃO Forças de atrito e normal são sempre **perpendiculares**. Lembre-se de que a Equação (5.5) não é uma equação vetorial porque f_c e n são sempre perpendiculares. Em vez disso, representa uma relação escalar entre os módulos das duas forças.

Figura 5.4: ADI para avaliar a integração da Equação 5.5 com os textos anterior e posterior.

nomeia a força de atrito cinético e estabelece a relação de proporcionalidade entre essa força e a normal. A ADI Equação 5.5, em marrom, é a própria equação, destacada do corpo do texto principal. Por fim, a ADI Texto 4, em cinza, é o texto abaixo da Equação 5.5 juntamente com o quadro. O texto abaixo da equação trás informações sobre o coeficiente de atrito cinético (μ_c) e o quadro afirma que a Equação 5.5 relaciona apenas os módulos dos vetores. Nesse quadro aparece o apontador indexical Equação 5.5, que remete o leitor a ela.

Na Figura 5.5 o leitor pode verificar alguns gráficos que mostram as movimentações de participantes durante a leitura desse trecho do texto. É possível que o leitor reconheça alguns desses gráficos, pois eles já foram analisados na terceira seção do Capítulo 3, embora, naquela ocasião, com outro enfoque. Nesses gráficos, a faixa azul dara diz respeito à permanência do olhar do leitor na ADI Texto 3, a marrom na ADI Equação 5.5 e a cinza na ADI Texto 4.

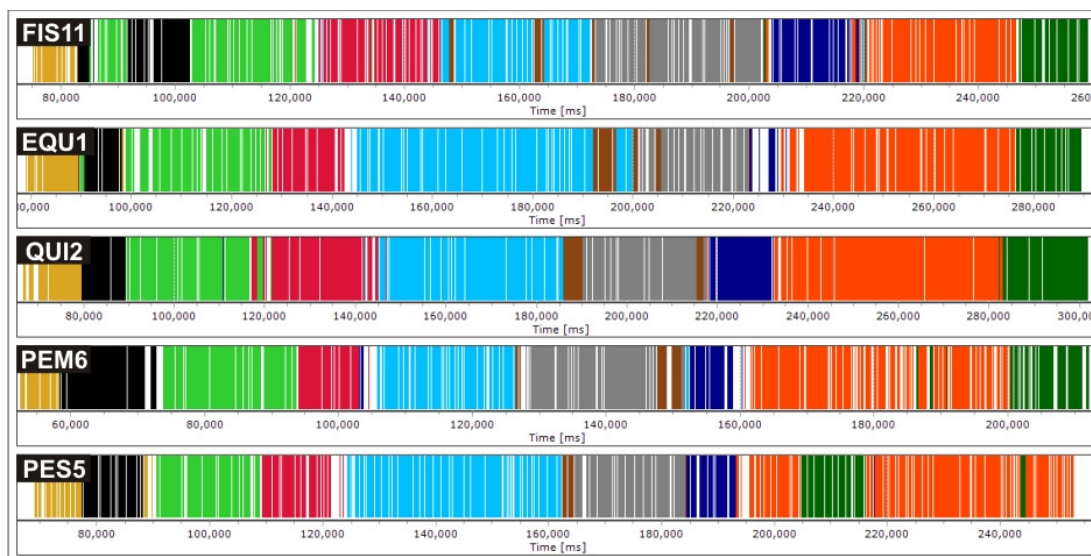


Figura 5.5: leitores que realizaram integrações da Equação 5.5 com os textos verbais anterior e posterior a ela.

Embora os leitores mostrados na Figura 5.5 tenham apresentado um caminho de leitura muito direcionado pelo modo escrita, nos textos em torno da equação esse comportamento é diferente. O estudante FIS11, por exemplo, se movimenta várias vezes entre a ADI Equação 5.5 (marrom) e as ADI Texto 3 (azul claro) e Texto 4 (cinza). O estudante EQU1 também vai à equação nas duas ADI de texto verbal. Outro comportamento muito comum na leitura desse trecho de texto é aquele representado pelos leitores QUI2 e PEM6. Eles se deslocam à equação quando finalizam a ADI Texto 3 e retornam mais ao final da ADI Texto 4, após a leitura do quadro.

Todos esses movimentos parecem indicar uma significação dos símbolos e relações presentes na equação, afinal, todos esses leitores fazem movimentos de ir e vir entre a equação e o texto verbal. O retorno à equação, após passar por ela uma vez, pode indicar uma confirmação, ou verificação, de algo mencionado no texto verbal. Esse tipo de comportamento foi muito observado entre os estudantes e entre os professores do Ensino Médio. As categorias que mais realizaram esse tipo de movimento foram os professores do Ensino Médio (5 em 6), os estudantes de outros cursos (6 em 10) e os estudantes de Física (9 em 16). Ele foi menos observado nos professores do Ensino Superior, cujo comportamento se assemelha mais ao leitor PES5 da Figura 5.5. Esse leitor passa pela equação apenas ao final da ADI Texto 3 e segue adiante, sem retornar a ela.

Essa diferença de comportamento com relação à leitura da equação pode ser devida à maior experiência do professor do Ensino Superior com esse modo específico. Principalmente considerando que vários dos professores lecionam a disciplina Mecânica, é possível que este seja assunto mais que comum para eles. Os símbolos e as relações dessa equação devem ser muito conhecidos. Ao contrário, para os estudantes, que em alguns casos estavam cursando a disciplina pela primeira vez no semestre em que foi realizada a pesquisa, o comportamento foi bem diferente.

Os tempos dedicados à leitura dessa equação também diferem entre as categorias. O gráfico da Figura 5.6 mostra que os professores do EM e os estudantes apresentaram os maiores tempos de permanência. Em particular, os estudantes de Física apresentaram um tempo bem maior que as demais categorias.



Figura 5.6: gráfico das médias dos tempos de permanência na Equação 5.5 por categorias de leitores.

Voltar nossa atenção para os tempos de permanência dos leitores nos modos isoladamente nos revelou um dado bastante interessante. Consideramos cada um dos modos presentes no texto como uma ADI e levantamos os tempos de permanência de cada leitor nesses modos. Dentre todos os modos, as equações apresentaram os menores tempos de permanência: 4,9 s e 5,4 s para as equações 5.5 e 5.6 respectivamente. Esse resultado é compreensível na medida em que elas ocupam pouco espaço da página, principalmente se comparadas a figuras como a 5.19.

Apesar do pequeno tempo de permanência dedicado a elas, temos razões para acreditar que um grande esforço foi realizado pelos leitores para atribuir significado a esses elementos. O gráfico da Figura 5.7 apresenta as médias, para todos os leitores, do tempo médio de duração das fixações em cada modo presente no texto. Esse tempo médio de duração das fixações é calculado pela divisão do intervalo de tempo total de permanência sobre o modo, pelo número de fixações realizadas sobre esse modo. No texto, cada figura, cada equação e o texto verbal foram definidos como diferentes ADI. No total, foram 8 ADI: **Figuras 5.16, 5.17, 5.18 e 5.19**, Equações 5.5 e 5.6, Tabela 5.1 e texto verbal (usamos as mesmas ADI mostradas na Figura 3.3).

Dentre todos os modos, esses tempos foram maiores para a **Figura 5.17** e para as Equações 5.5 e 5.6, o que implica que nesses modos, em média, os leitores demoraram mais tempo em cada fixação do olhar. Logo a seguir abordaremos a questão das equações e, na próxima seção, voltaremos nossa atenção para a **Figura 5.17**.

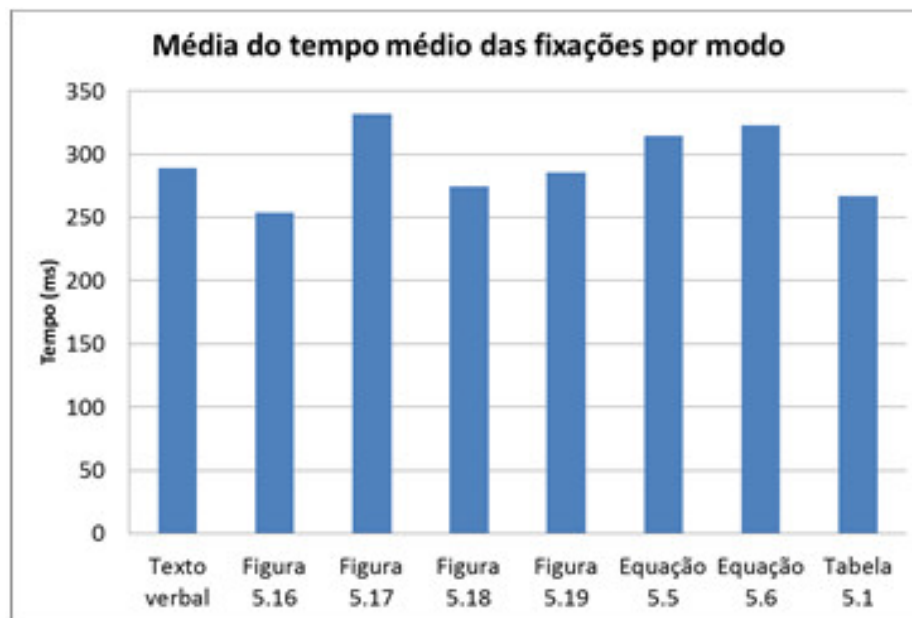


Figura 5.7: gráfico da média, entre todos os leitores, do tempo médio das fixações em cada modo (cada modo foi definido como uma ADI, conforme a Figura 3.3)

Conforme discutimos no capítulo de metodologia, o *eye-tracking* não nos permite afirmar com certeza que esse maior tempo de duração das fixações significa reflexões sobre a informação lida. No entanto, considerando as movimentações que observamos entre texto e equação, mostradas nos gráficos da Figura 5.5 acima, cremos que seja possível afirmar que os leitores estivessem atribuindo significados aos símbolos das equações. Observando o *scanpath* de alguns leitores quando da leitura da Equação 5.6, pudemos notar o quanto seus olhos permanecem parados sobre a região da equação. Veja na Figura 5.8 como alguns leitores se detêm por muito tempo na leitura da Equação 5.6. Os círculos de grande diâmetro indicam tempos de permanência mais longos em uma fixação. Na Figura 5.8 estão representados estudantes de Física FIS6 (A) e de Química Tecnológica QTC2 (B) e o professor do Ensino Médio PEM2 (C).

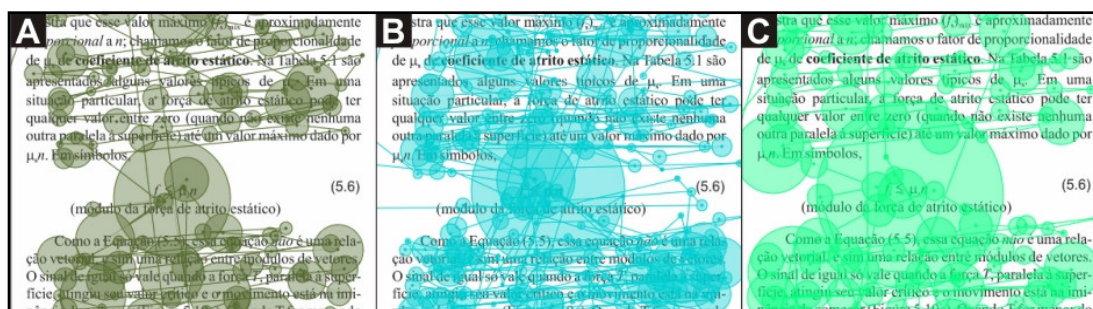


Figura 5.8: *scanpaths* dos leitores FIS6 (A), QTC2 (B) e PEM2 (C) durante a leitura da Equação 5.6 da página 150.

É importante ressaltar que o estudante FIS6 não teve dificuldade em lidar com as questões do teste que demandavam a manipulação de equações, o que parece indicar que ele lida bem com esse modo. Apesar disso, a equação foi um modo que demandou bastante sua atenção. O estudante QTC2 afirmou, na entrevista, que estava estudando mecânica no semestre em que participou da coleta de dados sendo, portanto, bem recente a sua experiência com a Mecânica no ES. O fato de não ter experiência com esse tipo de equação, principalmente com o uso do sinal \leq (pouco comum em equações na física), pode ser um fator importante para compreender sua demora na leitura da equação. No caso do professor PEM2 é interessante avaliarmos sua leitura considerando sua fala a respeito dessa equação:

PEM2: Até quando o objeto está em repouso, primeira lei de Newton, tá? Quando vai entrar em movimento, aí se fala, tem a tendência, a iminência do movimento. Na iminência do movimento eu nem colocava menor ou igual, botava que era igual à força de atrito estático máxima. Nunca expliquei como sendo menor ou igual à força de atrito estático.

Essa forma de representação possivelmente já foi vista pelo professor em seu período de formação na universidade, afinal, dentre os inúmeros livros de física para o Ensino Superior que analisamos, sejam mais antigos ou mais modernos, a equação para a força de atrito estático é apresentada sempre na forma da Equação 5.6. Contudo, nos livros de Ensino Médio essa representação não é comum (dado o foco de nossa pesquisa não realizamos uma avaliação extensa em obras de Física para o EM, mas ao longo de nossa experiência como professor, não lembramos de ter visto essa equação, dessa forma, em tais obras).

Essa percepção de maiores tempos médios de fixação e permanência, bem como a realização de mais transições entre texto verbal e equações, nos permitem dizer que a atribuição de significados aos símbolos de uma equação é algo que demanda tempo e esforço para a integração das informações comunicadas pelos diferentes modos. É possível que a questão da leitura e interpretação das equações não esteja recebendo a devida atenção por parte dos professores, o que os leva, invariavelmente, a perceber uma grande dificuldade dos estudantes com a matemática.

Em uma das perguntas da entrevista, solicitávamos aos professores que se manifestassem sobre sua percepção pessoal a respeito da interação dos estudantes com os tipos de modos com os quais eles se depararam no texto lido: texto verbal, gráficos, equações, diagramas e fotografias. Mais precisamente, perguntávamos aos professores se eles percebiam, por parte dos estudantes, uma maior dificuldade em lidar com alguns desses modos. Dos 18 professores, 12 mencionaram dificuldades com a matemática, sendo que dois mencionaram apenas as equações, seis apenas os gráficos e quatro os gráficos e as equações (Veja a Figura 5.9).

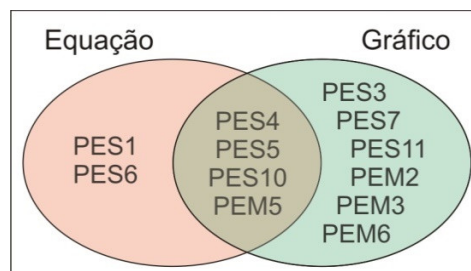


Figura 5.9: percepção dos professores acerca das dificuldades dos estudantes com equações e gráficos.

O problema das equações na física não diz respeito apenas à compreensão da gramática da Matemática. Segundo Redish (2008, apud Karam e Pietrocola, 2009) é como se a Matemática usada na Física tivesse características diferentes daquela ensinada pelos matemáticos. Algumas diferenças são elicitadas por esse autor, como o fato de, na Física, damos nomes diferentes às constantes e variáveis, utilizamos símbolos para representar ideias em vez de quantidades, diminuímos/obscuremos as diferenças entre constantes e variáveis, investimos os símbolos com significados complexos

Uma equação como $F = ma$, do ponto de vista da Matemática, expressa uma simples relação de igualdade entre a variável F e o produto ma . De modo bastante distinto, na Física o símbolo F dessa equação representa a força resultante sobre um corpo e carrega em si

uma gama de significados: soma vetorial de todas as forças que atuam sobre um corpo e que resultam da interação entre esse corpo e os demais com os quais ele interage; grandeza com módulo, direção e sentido muito bem definidos pelas regras da adição vetorial. De igual forma o símbolo a denota a aceleração sofrida pelo corpo em que atua a força F , cuja definição é uma taxa de variação temporal da velocidade. O símbolo m também é carregado de significados específicos. Na equação acima ele representa a massa, definida pela Física como uma medida da inércia de translação de um corpo. De fato, não é de surpreender que a Matemática na Física tenha contornos muito específicos.

O professor PES1, quando fala sobre a dificuldade que percebe nos estudantes com respeito à lida com equações, parece se referir a essa dificuldade dos estudantes em transpor os conhecimentos da Matemática para a Física.

PES1: Se você escrever, por exemplo, uma equação de reta $y = ax + b$, ele sabe que aquilo é uma equação de reta. Aí você escreve $x = x_0 + vt$ ele não consegue perceber que aquilo é uma equação de reta. Então assim, a simbologia, nem sempre ele consegue associar, apesar da matemática estar muito clara, a equação estar muito clara; ele não consegue perceber que aquilo é uma equação de reta.

Outra fala interessante, sobre essa questão da matemática na física vem do professor PEM5. Ele havia falado que percebe muita dificuldade dos estudantes com a leitura de gráficos. Então realizamos uma intervenção perguntando sobre os demais modos que ele viu no texto: fotografias, esquemas, equações, tabelas e texto verbal. Sua resposta foi a seguinte:

PEM5: Muitas vezes eu vejo o aluno pegando a equação e pra ele aplicar a equação é simples: é batar o número certo no lugar certo. Então ficar fazendo equação operacionalmente pra eles é fácil. Entender as relações conceituais por trás da equação, aí talvez eu cobque num nível igual ou muito próximo da leitura de um gráfico.

Essas duas falas revelam que há um domínio da Matemática na Física que parece não ser coberto por sua gramática. Há certas especificidades do uso da Matemática na Física que precisam ser melhor compreendidos a fim de que nossos estudantes possam lidar bem com isso, ou teremos, como afirma Pietrocola (2002), uma contínua transferência de responsabilidades acerca do aprendizado da Física para a Matemática. Em nossas entrevistas surgiram falas entre os professores no sentido de apontar que “a base matemática dos estudantes é muito ruim” ou ainda “falta aos alunos o conhecimento matemático necessário”. Falas como essa, segundo Pietrocola (2002), revelam um

posicionamento que atribui à Matemática apenas o papel de instrumento para a resolução de exercícios na Física.

A fala do professor PEM5 evidencia um fato que é a aplicação mecânica das equações na resolução de problemas de Física. A fim de sondarmos, entre os participantes, esse modo de uso da Matemática, inserimos no teste escrito a questão nº 9, reproduzida na Figura 5.10.

Questão 9 – A figura desse exercício representa uma caixa de peso igual a 225 N sob a ação de uma força $F = 126$ N. Na situação mostrada a caixa se encontra em repouso.

a) Desenhe, na figura, a força de atrito que age sobre a caixa.

b) Qual o valor dessa força de atrito? Dados: $\mu_s = 0,76$ e $\mu_c = 0,54$.

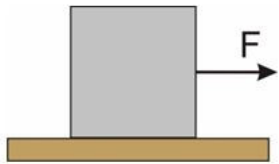


Figura 5.10: questão nº 9 do teste escrito aplicado aos participantes.

Essa questão, nesse formato, foi aplicada a 38 participantes. Com a letra (a) desejávamos verificar se houve mudança na forma como os estudantes representam as forças de atrito nos corpos em comparação com o trabalho de Caldas (1999). Essa autora relata que, em geral, os participantes da pesquisa que ela conduziu representavam a força de atrito na separação entre as duas superfícies, de modo que ficava difícil saber em qual corpo a força atuava. Esse foi um dos aspectos, apontados por essa autora, da dificuldade de os estudantes preverem o movimento dos corpos sob a ação do atrito. Dos 38 participantes que responderam a essa questão, um não desenhou a força, 8 desenharam a força na junção, 9 desenharam um pouco acima da junção, mas não na direção do centro de massa, e 20 desenharam no meio da caixa, na direção do centro de massa. Esse é um resultado bom, pois nesses 29 que desenharam fora da junção, há uma indicação clara sobre em qual corpo a força atua.

Voltando nossa atenção para a questão que envolve a equação, uma resposta correta à letra (b) demanda do participante o uso da condição de equilíbrio de um corpo. Se a caixa está em repouso, a força de atrito só pode ser igual a 126 N, afinal, a soma das forças sobre ela deve ser nula, logo a força de atrito deve ser igual à força F em módulo.

A busca por uma resposta correta para essa questão não demanda, necessariamente, o uso da equação. Mas alguns leitores, principalmente entre os professores, realizaram o cálculo da força de atrito estático máxima. Com base no valor encontrado, justificaram o uso da condição de equilíbrio, pois a força de puxar era menor que a força de atrito estático máxima. Trata-se de uma forma de resolução que se assemelha muito àquela que o professor utiliza quando resolve um exercício em discussões na sala de aula. É uma forma didática de resolução, que procura justificar o uso da equação

em determinada situação. Mas nem todos os participantes empregaram o cálculo de forma apropriada.

Nessa questão tivemos 50% de acertos e 50% de erros. Considerando a simplicidade da questão, julgamos problemático esse alto número de erros. Podemos distribuir os participantes que a erraram em três categorias (veja o Quadro 5.1). As respostas dos participantes do primeiro e do terceiro grupos evidenciam uma aplicação matemática apressada e mecânica, sem refletir sobre o cálculo que está sendo realizado. Conforme já apontamos, a aplicação da Matemática na Física deve considerar um significado que está além da expressão algébrica. A resolução de um problema não passa apenas pela realização de cálculos, mas pela compreensão da situação física envolvida. Um fato que deve ser mencionado é que os leitores passaram por essa informação, explicitamente, no texto, quando ele afirma que se a força de atrito é menor que o valor máximo, então a condição de equilíbrio deve ser usada para se determinar o valor da força de atrito.

Quadro 5.1: grupos de participantes por tipo de erro cometido na resolução da questão nº 9.

Participante	Tipo de erro
PES2, PES3, DOU2, MES2, FIS2, FIS4, FIS5, FIS7, QTC1, QU2, QTC3	Calculou o valor da força de atrito estático máxima e o deu como resposta
PEM4, EMI1, QTC2, MAT1, MAT2, FIS9	Realizou outros tipos de cálculo, como multiplicar o módulo de F por μ_c
FIS3, EQU1	Calculou os valores de ambas as forças, estático máxima e cinético, mas não forneceu uma resposta para a questão

Os participantes do grupo 2, além de terem problemas com a situação física, também encontram problemas com a matemática em si. Esses leitores não foram capazes de empregar a equação da forma apropriada, mesmo tendo acesso a ela na tela do computador (o texto lido na pesquisa estava à disposição dos leitores em um *notebook* na mesa onde respondiam as questões, além de ser lhes dito que poderiam consultar o entrevistador caso necessário).

Para finalizar essa seção, no que diz respeito às equações na Física, gostaríamos de tecer algumas considerações sobre a necessidade de os professores estarem atentos à questão da matemática no desenvolvimento de equações, o gênero de textos matemáticos que Doran (2018) chama de derivações. Nessas derivações, parte-se de uma, ou de um conjunto de equações, com o objetivo de se chegar a uma nova relação entre seus símbolos que, por vezes, se constitui como um novo conceito, ou um resultado útil a ser fisicamente discutido.

O'Halloran (2005) discute que esse tipo de texto obedece a uma forma padronizada, em que os símbolos matemáticos são repetidos de cima abaixo como forma de permitir ao leitor o rastreamento do desenvolvimento. Ocorre que, em determinados casos, parte dessas derivações são tidas como triviais para o leitor, chegando a ser omitidas em determinadas situações. Isso ocorre, principalmente, quando o desenvolvimento envolve algum passo onde a matemática é necessária, como uma derivação ou uma integração, por exemplo.

Poder-se-ia argumentar que não há problema, uma vez que o estudante tem acesso ao professor para sanar suas dúvidas. Caso não consiga encontrar no livro o passo que falta, ele poderia consultar o professor. No entanto, a fala dos estudantes a seguir nos indica a necessidade de considerar esse processo muito comum na Física. São as falas dos estudantes de física FIS5, do mestrado em física MES1 e de engenharia de minas EMI1. No caso dos estudantes de graduação e do mestrado em Física, essas falas foram dadas como resposta à pergunta da entrevista que solicitava que os estudantes que falassem sobre suas dificuldades em lidar com os diferentes modos de comunicação. No caso do estudante de Engenharia de Minas, a resposta se referia à pergunta do entrevistador sobre a forma como ele utiliza o livro didático.

FIS5: Geralmente eu tenho dificuldade com as passagens, assim quando eles vão demonstrar uma equação, aí essas passagens [o entrevistador fala: o famoso é fácil ver que] é, é fácil ver que, e eu não vejo; essa é a principal dificuldade assim

MES1: Tem uns casos que a gente tem na física que são clássicos, os caras não abrirem toda a cortá, né? E detesto quando colocam aquele 'é fácil ver que'. Aquilo ali eu me sinto muito burro, porque quando o cara fala que é fácil ver e aí você vai abrir o negócio e não consegue enxergar de jeito nenhum

EMI1: Eu usei o livro mais pra rever a matéria, mesmo, e tipo pra tirar dúvida, porque a gente fica até com vergonha na aula de perguntar alguma coisa e tal, aí você vai tirar a dúvida do livro sozinho; em casa você vai ler a matéria de novo para poder entender.

Os dois primeiros estudantes deixam claro que a falta de determinados passos nas derivações nos livros de física é um problema e é comum (constituem casos clássicos, segundo MES1). E pela fala do estudante EMI1, é possível que a sala de aula não seja o ambiente onde os alunos possam encontrar amparo. O medo/vergonha de se colocar diante da turma leva alguns estudantes a permanecerem com suas dúvidas.

Naturalmente, há um caminho longo a ser percorrido no sentido de tornar a sala de aula um ambiente mais amistoso, onde todos se sintam integrados, participantes e bem

valorizados, mas o ponto que queremos chamar a atenção aqui é para que o professor esteja atento a esse aspecto. Se no estudo da Física em nível de graduação há certas derivações que não podem ser deixadas de lado, como parece ser o caso, dada a ênfase nesse tipo de gênero matemático nesse nível de ensino, então há que se ter um cuidado especial nos casos em que o texto didático omite certas passagens da derivação. A partir das reflexões de Redish (2005), é possível que a realização de uma integração na Física não seja uma mera aplicação de uma regra matemática para integrar funções

5.3 A leitura da Figura 5.17

Nessa seção vamos abordar a questão do maior tempo médio de fixação na **Figura 5.17**, que mencionamos na seção anterior, quando discutimos os maiores tempos médios de fixação nas equações. Naquela ocasião, com base no gráfico da Figura 5.7, mencionamos que a **Figura 5.17** também havia recebido fixações de longa duração. É provável que o maior tempo de fixação nessa figura também tenha a ver com a Matemática. Nessa figura estão representadas as forças que atuam sobre uma caixa que se move para a direita pela ação de uma força. Na Figura 5.11 reproduzimos a **Figura 5.17**, bem como o texto verbal que faz referência aos seus elementos. Esse texto verbal tem início na página 148 e foi reproduzido na Figura 5.11 acima da linha pontilhada. Nessa parte do texto há um apontador indexical que direciona o olhar do leitor para a figura.

O texto verbal que faz referência à **Figura 5.17** introduz a força de atrito como uma componente da força de contato que a superfície do solo exerce sobre a superfície do bloco. O texto então denomina de força normal a componente perpendicular à superfície e de força de atrito a componente paralela. Ao nomear a força de atrito, objeto da seção do capítulo, o texto apresenta as palavras em negrito, como forma de reforçar a atenção do leitor.

Tanto professores quanto estudantes se viram surpresos com essa representação. Embora ela esteja fisicamente correta, não é comum que as forças normal e atrito sejam abordadas como uma componente da força de contato da superfície sobre o corpo. Para tecer nossas discussões,

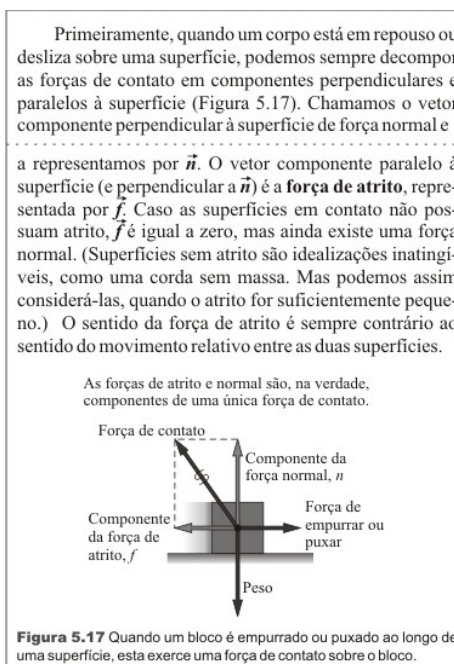


Figura 5.11: reprodução do trecho do texto com a Figura 5.17 (Young e Freedman, 2008, p. 149).

selecionamos os trechos das entrevistas de 2 estudantes e de 2 professores a respeito dessa figura. A pergunta da entrevista solicitava aos participantes que falassem, em sua avaliação, o que cada um dos modos comunicava para o leitor do texto. Cada modo estava apresentado na tela do computador e era mostrado também em uma folha de papel para o entrevistado. Conforme já mencionamos, os modos além da fotografia não forneceram exatamente as respostas na direção que esperávamos (muitos entrevistados descreveram os modos, em vez de falar que informação eles comunicavam). Apesar disso, as falas a seguir nos são úteis para entender porque a **Figura 5.17** pode ter apresentado o mais alto tempo médio de fixação.

PES6: Acho que esse aí é um diagrama padrão né, que a gente usa pra representar forças. O que eu achei de diferente, que nem sempre você vê é que ele põe essa resultante aqui né, da força de contato. Na verdade muitas vezes você põe só a força de atrito a normal e você não fala que na verdade isso, a soma das duas, é que te daria a força de contato verdadeira entre as duas coisas [se referindo às duas superfícies].

PES5: O que eu achei curioso é que ele chama a atenção, ele faz uma resultante da normal com a força de atrito, porque no fundo as duas forças são de contato né, eu acho que tem outros livros que não juntam essas duas forças pra chegar numa resultante. Você discute a normal como uma força de contato e depois você discute a força de atrito como uma outra força de contato. Achei bem curioso isso, achei novo, assim

A fala desses dois professores revela um aspecto das simplificações que por vezes podem conferir visões distorcidas sobre os fenômenos. Apesar de serem originárias de uma mesma interação, por vezes, normal e atrito são tratadas como forças de contato de origens diferentes. Devido à nossa necessidade analítica para explicar os fenômenos observados, ou mesmo tratá-los matematicamente, separamos em duas componentes perpendiculares. Com o passar do tempo, achamos que tudo isso é tão normal, como disse o professor PES6, “é um diagrama padrão”, que não nos ocupamos em preocupar com as formas como os estudantes percebem essas entidades idealizadas/teóricas.

As falas dos estudantes MAT1 e FIS3 a respeito dessa figura também dizem respeito à novidade que essa representação da força resultante significa para eles

MAT1: Porque está falando aqui que essas são as componentes né, da força de contato, e eu não sabia disso ... esse aqui foi bem importante pra mim porque isso aqui eu não sabia não.

FIS3: Essa daqui é uma típica da física né, essa figura aqui porque tudo a gente tem que decompor em força então tem que ter essa figura. Essa daqui óh (aponta o dedo para o desenho da resultante) te confesso é a primeira vez que eu raciocinei com essa força de contato aqui óh. Eu só fazia essa (move o dedo sobre a força de atrito) essa (move o dedo sobre a força normal) e pronto. Nunca tinha unido as ... (duas - balança o dedo indicador e o médio, um contra o outro, indicando a quantidade).

É possível que os mais altos tempos médios de fixação dos leitores sobre essa figura tenham, então, a ver com o fato de ter surgido uma representação pouco comum para estudantes e professores. Sendo algo que chama a atenção, parece sensato admitir que mais tempo seja gasto pelo leitor visualizando aquele elemento que vê na tela. Quando avaliamos a contribuição de cada categoria para o aumento desse tempo médio, vemos que as maiores contribuições foram dos estudantes e dos professores do Ensino Médio (veja o gráfico da Figura 5.12).

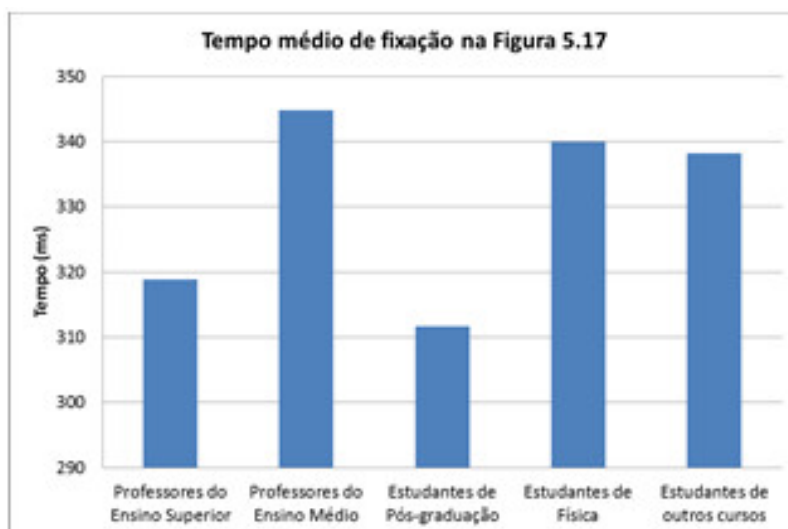


Figura 5.12: gráfico da média do tempo médio das fixações na Figura 5.17, por categorias de leitores.

Os vetores também são entidades matemáticas muito presentes na física, em particular na Mecânica, onde a representação e a manipulação de forças têm um papel fundamental no estudo das Leis de Newton. Muitas outras grandezas são também representadas por vetores, como velocidade, aceleração, campos elétricos e magnéticos, dentre outras. Dadas as especificidades da álgebra vetorial, operar com vetores costuma ser algo bastante complicado para os estudantes, principalmente porque a aplicação dos vetores na física ocorre em estreita interação com a trigonometria – outra área da matemática que os estudantes encontram dificuldades.

A partir das falas do professor PES6 e do estudante FIS3 pode-se perceber que a presença de vetores é algo muito comum na física. O tipo de diagrama mostrado na **Figura**

5.17 costuma ser explorado de modo exaustivo no estudo da Mecânica. Apesar disso, não são poucos os estudantes que têm dificuldade com a representação de forças e, principalmente, com previsões sobre o movimento dos corpos quando o assunto é a aplicação de forças de atrito sobre eles (Caldas, 1999). Isso apenas reforça a necessidade de destacarmos e discutirmos com os estudantes essas representações que tomamos como comuns no ensino da Física. Seja por apresentarem regras específicas de manipulação pela gramática da Matemática, seja pelos contornos específicos que tais representações adquirem quando usadas na Física, elas estão longe de serem comuns ou triviais para os estudantes.

5.4 Percepções dos leitores sobre os gráficos

Talvez o tipo de gráfico mais comum na Física seja o cartesiano, composto por dois eixos perpendiculares aos quais são associadas grandezas físicas. A relação entre as grandezas é fornecida pela curva do gráfico, que representa visualmente a sua co-variação contínua (Lemke, 1998). Além dos gráficos cartesianos, Doran (2018) também aborda outros tipos de gráfico que podem ser encontrados na construção do conhecimento da física, como os *arrays* unidimensionais, com uma única grandeza representada ao longo de um único eixo, e os multidimensionais, com mais de duas grandezas representadas nos eixos. Além disso, Doran (2018) discute as particularidades dos gráficos associados a diagramas esquemáticos. Dada a importância desse modo na construção do conhecimento da Física, incluímos uma questão no teste e uma pergunta na entrevista específicas sobre os gráficos. Nessa seção abordaremos alguns de nossos achados a partir desses instrumentos.

No teste escrito, que os participantes resolveram em uma folha de papel, havia uma questão que demandava a leitura de um gráfico. Esse teste foi aplicado aos leitores logo após a leitura do texto na tela do computador. A questão está reproduzida na Figura 5.13.

A resolução correta da questão demanda a orquestração das informações advindas do texto verbal, do gráfico e a equação que fornece a força de atrito cinético $f_c = \mu_c n$. A fim de não inserir um novo elemento na questão, mudando a grandeza representada no eixo das abscissas, mantivemos o gráfico da força de atrito em função da força de tensão que puxa a caixa, semelhante ao gráfico da **Figura 5.19** (mais adiante trataremos desse ponto). Para resolver a questão o leitor precisaria manipular a equação do atrito cinético de modo a isolar o valor do coeficiente de atrito, solicitado como resposta à questão: $\mu_c = f_c/n$. Desse modo ele chegaria à conclusão que precisa dos valores da força de atrito cinético e da força normal. Assumindo uma situação semelhante à **Figura 5.19**, o peso, fornecido no

enunciado, é igual, em módulo, à força normal. Do gráfico ele retira o valor da força de atrito cinético, $f_c = 25$ N. Resolvendo a divisão, ele chegaria ao resultado 0,25.

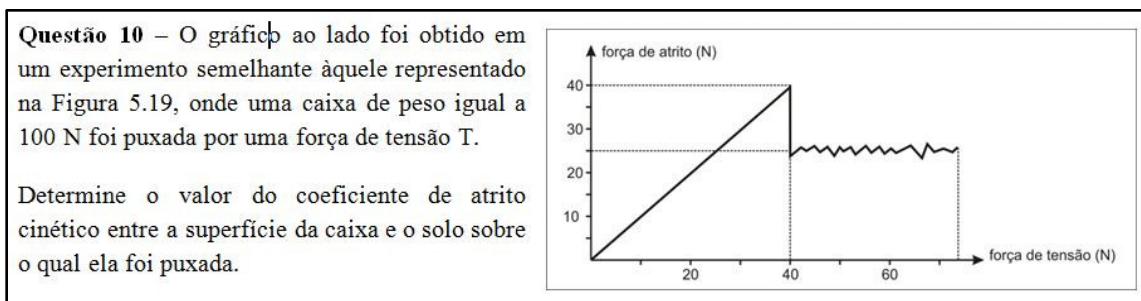


Figura 5.13: questão nº10 do teste escrito aplicado aos participantes.

Dos 37 participantes que responderam a essa questão, 26 acertaram, sendo que desses, 21 apenas mostraram o cálculo algébrico (a resposta do professor PES8 não foi contada, pois ele a deixou em função da força de tensão; não forneceu o valor numérico). Os outros 5 apresentaram as condições da atuação da força para justificar o cálculo algébrico. Cabe ressaltar que todos esses eram professores do Ensino Superior. Respostas como as mostradas na Figura 5.14 (PES1) e 5.15 (PES4), ambas de professores do Ensino Superior, indicam uma forma de raciocínio muito próxima àquela praticada por professores em situação de ensino. Nessas ocasiões é comum que o professor estabeleça para os alunos as condições de aplicação das equações, a fim de que eles compreendam seus limites de validade.

A inclinação da reta indica μ_s (atrito estático).
 Como está em movimento, $f_c = \mu_c N$. Assim, pelo gráfico, $f_c = 25$ N (veja círculo). Logo $\mu_c = \frac{f_c}{N} = \frac{25}{100}$
 $\mu_c = 0,25$.

Figura 5.14: resolução da questão nº 10 do teste escrito, realizada pelo participante PES1.

Como não há deslocamento vertical o módulo da normal será igual ao do peso, $N = 100$ N,
 a força de atrito cinético é de 25 N. Então,
 $\mu_c = \frac{f_c}{N} = \frac{25}{100} = 0,25$

Figura 5.15: resolução da questão nº 10 do teste escrito, realizada pelo participante PES4.

Dos que erraram, podemos categorizar os tipos de erros em 4, conforme o Quadro 5.2.

Quadro 5.2 grupos de participantes por tipo de erro cometido na resolução da questão nº 10.

Participante	Tipo de erro
MES1	Leu o valor incorreto no eixo y, mas manipulou a equação corretamente
FIS2, FIS5, PEM3, EQU1	Manipulou a equação corretamente, mas utilizou o valor da força de atrito estático máxima no cálculo
QTC2, EM11, MAT2	Realizou outros cálculos, em alguns casos, criando novas equações
PES2, DOU1	Montou a equação corretamente, com os valores corretos, mas se equivocou com o valor da divisão 25/100
MAT1	Não soube responder à questão

Desses 11 leitores o professor PES2 e o estudante DOU1 erraram apenas a divisão. Eles montaram corretamente a equação, usaram os valores corretos extraídos do gráfico, mas no momento de dividir 25/100, forneceram como resposta 0,4. Esse resultado nos parece uma confusão com os números 4, 25 e 100 (25 é igual a $\frac{1}{4}$ de 100; $\frac{1}{4} = 0,25$; etc).

Os erros dos demais leitores se encontram em problemas com a leitura e compreensão dos dados comunicados pelo gráfico e com a manipulação dos modos. O leitor MES1, por exemplo, fez a leitura errada no eixo do gráfico. Embora tenha manipulado corretamente os modos e a expressão algébrica, usou o valor da força de atrito como 15N, em vez de 25N.

Por outro lado os leitores FIS2, FIS5, PEM3, EQU1 manipularam a equação de forma correta para exprimir o valor de μ_c , mas usaram o valor da força de atrito estático máxima no cálculo (o valor do pico do gráfico). Claramente esses leitores não se apropriaram do gráfico como uma ferramenta para a comunicação de informações. Se o atrito é cinético, não pode ser usado o valor da força de atrito estático máxima; deveriam ter se atentado para a região cinética do gráfico.

Os leitores QTC2 e MAT2 até realizaram a leitura correta da força de atrito cinético no gráfico, mas no momento de fazer a substituição na equação usaram o valor de 40N. Para esses leitores o problema parece ser na operação com a equação. O leitor EM11, de forma diferente, dividiu o valor da força de atrito estático máxima por 100 e depois multiplicou o resultado por 40. No caso desse leitor não conseguimos inferir o que possa ter ocorrido, uma vez que apenas essa operação está registrada como resposta.

É interessante olhar para esses dados juntamente com uma questão da entrevista que solicitava aos estudantes que falassem acerca de sua percepção sobre dificuldades em lidar com os diferentes modos com os quais tiveram contato no texto. Vimos, na seção

anterior, que em uma questão semelhante, na qual os professores foram solicitados a falar sobre as dificuldades que percebiam nos estudantes em lidar com determinados modos, que grande parte mencionou os gráficos e as equações, sendo que o número dos que mencionaram explicitamente os gráficos foi maior que o número dos que mencionaram equações. No caso dos estudantes, as respostas mostram outra percepção.

Dos 26 estudantes entrevistados, apenas 9 admitiram encontrar algum tipo de dificuldade em lidar com determinados modos. Os leitores FIS5 e FIS4 disseram ter dificuldades em lidar com as derivações na física, quando elas não são dadas e omitem passos. O estudante QTC3 afirma ter dificuldade quando os diagramas são confusos e o FIS13 disse ter dificuldades em concentrar no texto verbal. Os estudantes FIS9, FIS15, FIS16, EMI1 e MAT2 afirmaram encontrar dificuldades com gráficos. Por exemplo, FIS15 disse ter dificuldade em extrair informações dos gráficos, ao passo que MAT1 afirmou que “tem horas que não entende o que o gráfico quer falar”. O estudante EMI1 também se manifestou acerca de suas dificuldades, dizendo não gostar muito de gráficos porque “tem que interpretar para entender”.

A dificuldade do estudante EMI1 pode ser facilmente visualizada em sua interação com o gráfico da **Figura 5.19**. A Figura 5.16 mostra o *heatmap* da leitura desse estudante. Note como ele observa as caixas e os textos, em alguns casos com grandes fixações, mas praticamente não realiza fixações na parte do gráfico. Seu olhar se move ao longo de todo o espaço do gráfico mas não parece se atentar a elementos específicos para significá-los.

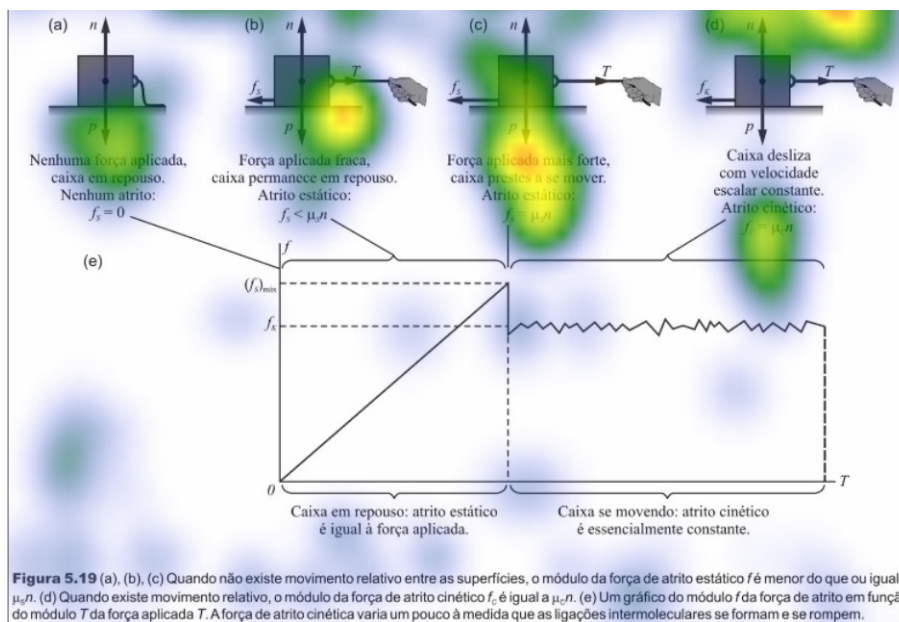


Figura 5.16: *heatmap* da leitura da Figura 5.19 realizada leitor EMI1.

Portanto, dos estudantes que erraram a questão que solicitava a leitura de um gráfico, com a posterior manipulação de uma equação (FIS2, FIS5, PEM3, EQU1, QTC2,

EMI1, MAT2), apenas dois, EMI1 e MAT2, manifestam consciência sobre sua dificuldade em lidar com os gráficos. FIS5 disse ter dificuldades com derivações e os demais afirmaram não ter dificuldades. Isso deixa claro que nem sempre os estudantes têm consciência sobre suas dificuldades em lidar com determinados modos. Isso fica muito evidente na diferença de avaliação dos professores e dos estudantes que relatamos. Enquanto 12 professores afirmaram que os estudantes tinham muitas dificuldades com gráficos e/ou equações, somente 2 estudantes afirmaram ter dificuldades com esses modos.

Diante desses resultados é preciso estar atento a dois pontos: i) é necessário auxiliar os estudantes acerca de uma tomada de consciência acerca de suas limitações com a manipulação desses modos; ii) não se pode cair na falácia, muito comum segundo Pietrocola (2002), de afirmar que a falta de conhecimentos em matemática seja responsável pelo fracasso escolar em física.

A fim de finalizar nossas discussões acerca das percepções dos leitores sobre os gráficos na física, trazemos uma das questões da entrevista, que solicitava aos participantes que se manifestassem acerca de diferenças e semelhanças entre dois gráficos sobre o atrito. A questão está reproduzida na Figura 5.17.

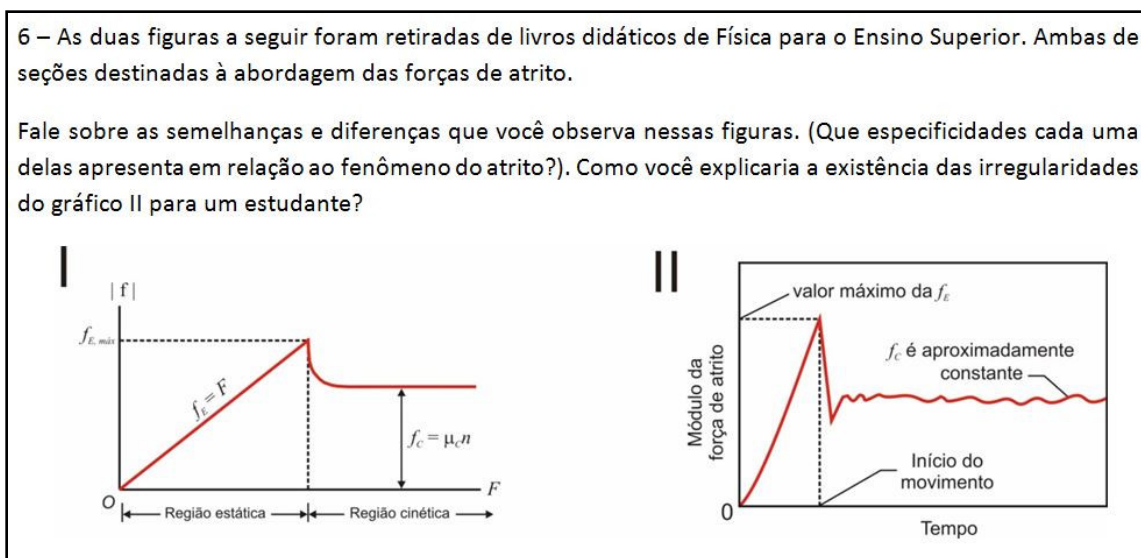


Figura 5.17: pergunta nº 6 da entrevista realizada com os participantes.

Ambos os gráficos foram retirados de livros textos de física para o Ensino Superior. Ao colocar a questão para os participantes, o entrevistador afirmava que o contexto no qual os gráficos estavam inseridos se assemelhava ao da Figura 5.19: os gráficos representam a variação da força de atrito que atua sobre um corpo que é puxado desde o repouso até entrar em movimento. O gráfico I representa a força de atrito em função da força F que puxa o corpo, e o gráfico II representa a força de atrito em função do tempo.

É fato que muitas vezes a leitura de um gráfico se inicia pela curva, uma vez que, devido à nossa experiência com gráficos, aprendemos que a curva expressa a relação entre as grandezas sendo, portanto o elemento mais chamativo. Além disso, como ambas as curvas se destacam pela cor, esse é, sem dúvida, o elemento mais chamativo. Passada essa percepção inicial, espera-se que os leitores se dediquem aos demais elementos importantes para a leitura de um gráfico, como os textos verbais e, principalmente, os eixos e as grandezas neles representadas.

Apesar de os gráficos acima representarem o mesmo tipo de situação física, a grandeza no eixo das abscissas é diferentes nos dois casos. A fim de não tornar cansativa para o leitor a descrição dessas diferenças, vamos apresentá-las no Quadro 5.3.

Quadro 5.3: síntese das diferenças entre os dois gráficos da Figura 5.17.

Gráfico I	Gráfico II
Se apresenta como o gráfico, com os eixos bem delimitados	Se apresenta como figura, onde os eixos fazem parte da moldura
As grandezas são representadas nos eixos na forma de símbolos	As grandezas são representadas nos eixos com seus nomes por extenso
Gráfico da força de atrito com o função da força que puxa a caixa	Gráfico da força de atrito como função do tempo
Indica o domínio das regiões estática e cinética da força de atrito	Indica apenas onde se dá o início do movimento
Apresenta equações junto ao gráfico	Não apresenta equações junto ao gráfico
A curva da força de atrito estática é uma reta do início ao fim	A curva da força de atrito estática não é uma reta do início ao fim
Há uma transição suave do atrito estático máximo para o atrito cinético	Há uma transição brusca do atrito estático máximo para o atrito cinético
A força de atrito cinético é constante	A força de atrito cinético é aproximadamente constante, com pequenas variações

Embora sejam muitas as diferenças entre os dois gráficos, não vamos nos ater em discutir todas elas nesse texto. Vamos nos dedicar a algumas que nos parecem importantes do ponto de vista da interação dos alunos com esses modos e de sua relevância para o ensino.

Há um ponto que passa praticamente despercebido, creio eu, devido à nossa experiência em lidar com gráficos cartesianos ao longo de nosso processo de escolarização. Trata-se do fato de que o gráfico I se assemelha mais àquilo que estamos acostumados a chamar de gráfico, com a definição clara dos eixos, com a representação das grandezas e da curva entre esses eixos. O gráfico II se assemelha mais a uma figura, uma vez que seus eixos são parte de uma moldura. Às vezes, por escolha estética ou outro fator, optamos por utilizar a representação de uma forma pouco comum e isso pode levar a alguma percepção inapropriada do modo. Entre nossos participantes, dois falaram sobre essa questão: o

estudante de física FIS7 e o professor do Ensino Médio PEM4. Transcrevemos a seguir a fala do professor.

PEM4: A questão também do contorno, esse aqui ele tá mais fácil pro aluno ler (aponta para o gráfico I) do que esse aqui (aponta para o gráfico II). [O contorno, como assim? Pergunta o entrevistador]. O contorno, dentro de uma caixa, entendeu? Esse aqui (aponta para o gráfico I) está com mais aspecto de gráfico e o aluno tem mais facilidade, os eixos estão facilmente visíveis.

Embora apenas dois participantes, entre 36, tenham mencionado esse fato, nos parece pertinente considerá-la quando pensamos sobre os estudantes em fase de enculturação nas práticas da ciência escolar. Se a leitura de gráficos demanda a correta percepção de eixos, de grandezas representadas neles, então direcionar a atenção para esses elementos com clareza pode implicar em uma melhor apropriação desse modo pelos estudantes.

Outro ponto que merece alguma consideração a respeito dos eixos é quanto à forma como as grandezas são representadas neles. No gráfico I as grandezas são representadas pelos seus respectivos símbolos: $|f|$ significa módulo da força de atrito e F a força que puxa o corpo; no gráfico II os nomes das grandezas foram escritos por extenso: Módulo da força de atrito e Tempo. Também no gráfico I foi indicado apenas o valor da força de atrito estático máxima pelo símbolo ($f_{E, \text{máx}}$) ao passo que no gráfico II está escrito “valor máximo da f_E ”. Alguns participantes notaram essas diferenças e teceram as seguintes declarações a esse respeito.

FIS2: Aqui está descrevendo e aqui só fala o símbolo, quer dizer, se a pessoa esquecer o que que é f_c , tem que voltar lá no texto e aqui já está escrito o que é né? (aponta para o gráfico II).

EM1: A II é mais fácil de interpretar porque está explicado; igual o índice do gráfico, está falando que o eixo x é o tempo e o y é o módulo, já aqui não (aponta para o gráfico I) você tem que saber que a fórmula, que isso aqui identifica o atrito. Então pra poder interpretar isso daí você teria que ter um uma coisa bem um entendimento prévio pra poder identificar, já o II tá bem explicadinho.

Esses dois estudantes se depararam com uma situação que requer cautela. Por um lado o uso de símbolos, munidos de significados construídos pelo texto verbal, constitui um recurso altamente valioso que facilita e constitui a construção de conhecimentos na Física. Por outro, demanda do leitor uma base de conhecimentos compartilhados para que ele

possa perceber tal símbolo como um signo que lhe comunica alguma informação a respeito de um referente. O que nos parece pertinente para o ensino, a esse respeito, é a necessidade de se criar estratégias eficientes para guiar o olhar dos estudantes para a percepção e apropriação desses símbolos como blocos de significados úteis à ciência. Esse guiar o olhar significa não apenas auxiliar na percepção dos significados imbricados em um símbolo, mas também mostrar aos estudantes que o processo de construção do conhecimento requer a utilização desse mecanismo e que, portanto, os alunos precisam se apropriar dessa forma de representação das informações. Esse mecanismo é, como já discutimos em outras partes deste trabalho, parte constitutiva do que denominamos como ciência.

É interessante notar que alguns participantes, como os estudantes FIS2 e EM11, tenham se atentado para esse aspecto dos símbolos, que parece tão pequeno, e que algo mais chamativo, como a diferença nas grandezas representadas nos eixos das abscissas dos gráficos, tenha passado despercebido pela maioria dos leitores. Dentre os professores dos Ensinos Superior e Médio, que somam no total 12 participantes, 7 mencionaram explicitamente a percepção das diferenças nos eixos das abscissas (5 do ES e 2 do EM). Entre os alunos, apenas 2, em 20, perceberam essa diferença. Isso não significa que os estudantes não prestaram atenção à figura. Por exemplo, sobre a percepção das diferenças nas curvas (não linearidade do início da curva do gráfico II, variações bruscas ao passar do atrito estático para o cinético, irregularidades na parte cinética), 8 professores, em 12 (66%), afirmaram perceber diferenças (4 PES e 4 PEM). Entre os alunos o índice é um pouco maior: 15 em 20 (75%). Portanto, os alunos se atentaram para as figuras, mas parece que deixaram escapar elementos essenciais para uma boa leitura de um gráfico.

Dessa forma, não causa estranheza o fato de tantos professores afirmarem que os estudantes não sabem lidar com gráficos. O gráfico pode ser mostrado para o estudante, mas se ele não possui os códigos necessários para interpretá-lo, se ele não sabe direcionar seus olhos para os elementos essenciais que lhe permitam ler esse modo, não há informação comunicada a ele pelo gráfico. Os estudantes parecem focar em pontos mais evidentes, como a curva do gráfico, deixando de lado um importante elemento para a significação da curva que é a grandeza representada no eixo e a escala de medida.

Ainda falando sobre a questão das grandezas representadas nos eixos dos gráficos, notamos algo interessante na entrevista do professor PES5. Alguns professores, ao perceberem a diferença entre as grandezas representadas nos eixos das abscissas, passaram a questionar porque o gráfico II apresentava a força em função do tempo. Boa parte deles estranhou a princípio, pois trata-se de uma representação pouco comum (ou pelo menos, a que se dá pouca atenção, uma vez que o gráfico II foi retirado de um livro tradicionalmente muito utilizado nos cursos de física). Em seguida, após pensarem um

pouco, disseram que talvez fosse uma ideia interessante para resolver a questão da velocidade constante na representação do atrito cinético. O ponto rico das discussões com esses professores foi a percepção que não apenas há potencialidades e limitações entre modos distintos, mas o próprio modo pode apresentar possibilidades e limitações distintas dependendo da forma como é construído. Para continuar nossa discussão trazemos a fala do professor PES5. Essa fala veio em um momento em que lhe perguntamos qual dos dois gráficos ele preferiria usar ao abordar o atrito com seus estudantes

PES5: Eu tenho a impressão que isso aqui pareceria mais realista (falando das irregularidades do gráfico II) ... talvez eu acrescentasse aqui (no gráfico II) essa informação (apontado para a reta da força de atrito estático do gráfico I), só que tem que tomar cuidado porque aqui é tempo, né?

Esse professor parece se encontrar em um dilema acerca dos dois gráficos. Ele nota potencialidades e limitações em cada um e se vê diante de uma dificuldade em fazer uma escolha, possivelmente por não ter tido tempo para pensar sobre essa questão calmamente.

O gráfico I encerra em si uma informação sobre a força de atrito estático que é fundamental para a compreensão de sua atuação em um corpo, qual seja, que enquanto não foi atingido seu valor máximo, o módulo dessa força é exatamente igual ao valor da força aplicado ao corpo. Em um gráfico da força de atrito em função da força que puxa o corpo isso é facilmente representado por uma reta com inclinação de 45° que passa pela origem, como no gráfico I (o professor PES5 chega a mencionar que no gráfico I a curva tem inclinação de 45° nessa parte). Porém, quando chega na parte cinética há um complicador acrescentado por esse gráfico: o corpo não pode estar em movimento com velocidade constante.

Se a força de tensão está representada no eixo das abscissas, ela continua crescendo da esquerda para a direita, mas a força de atrito cinético não varia. Ora, se a força de atrito cinético é constante e a força de tensão aumenta continuamente, a resultante das forças sobre o corpo aumenta continuamente (supondo a massa do corpo constante). Logo o corpo se encontra com um movimento cuja aceleração varia no tempo. Esse tipo de movimento não é comumente abordado no ensino da física. Os movimentos comumente estudados na física são o movimento com velocidade constante, quando a resultante das forças é nula, e o movimento com aceleração constante, quando a resultante das forças é diferente de zero, mas tem um valor que não se altera no tempo.

O movimento com velocidade constante costuma ser usado como forma de simplificar as discussões. É o movimento cuja modelagem é mais simples (embora não seja o mais simples de se reproduzir experimentalmente). Na **Figura 5.19d** (veja a Figura 5.18)

podemos ler que na parte do atrito cinético o texto abaixo da figura diz que a caixa desliza com velocidade constante. Isso facilita a discussão porque, se a velocidade é constante, as forças de atrito e de tensão têm módulos iguais e sentidos opostos. A descrição da situação física se torna muito simples. Porém em um gráfico da força de atrito em função da força de tensão isso não pode ocorrer, porque F está aumentando continuamente.

A rigor, isso não é um problema, pois em nossa modelagem sobre o atrito assumimos que ele não depende da velocidade, logo, não faz diferença

que o corpo se mova acelerado ou com velocidade constante. A propósito, é exatamente essa a postura tomada por Nussenzveig (2002), que opta por fazer um gráfico da força de atrito em função da força que puxa o corpo (Veja a Figura 5.19). No finalzinho do texto o autor afirma que o corpo se move com movimento “uniformemente acelerado”.

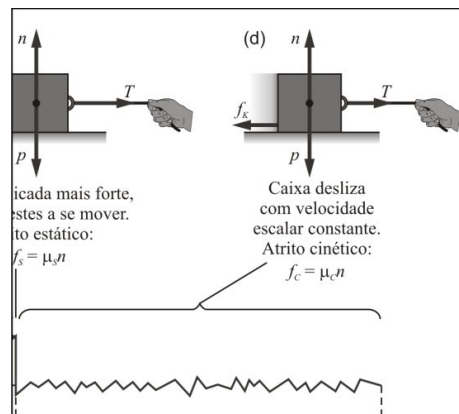


Figura 5.18: destaque para o texto abaixo da caixa que diz que ela se move com velocidade constante.

forças. Geralmente, μ_c e μ_e são menores que 1.

Verifica-se experimentalmente que μ_c é aproximadamente independente da velocidade instantânea de escorregamento (desde que ela não atinja valores muito elevados). Assim, se $|F|$ continua crescendo a partir de F_e , $|F_a|$ permanece aproximadamente constante no valor F_c . O gráfico ao lado mostra a variação de $|F_a|$ em função de $|F|$; a parte linear corresponde à (5.2.3). Note que, para $|F| > F_e$, temos $|F + F_a| > 0$, de modo que a resultante das forças horizontais é $\neq 0$, e o movimento do bloco é uniformemente acelerado.

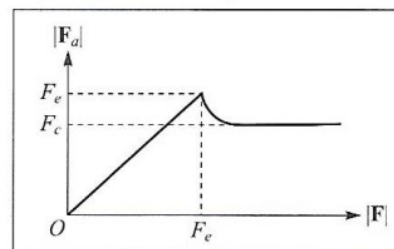


Figura 5.7 Variação da magnitude da força de atrito com a força aplicada.

Figura 5.19: reprodução de parte da página 87 do livro de Nussenzveig (2002).

Por outro lado, o gráfico em função de tempo não oferece essa restrição para a força de atrito cinético. Quando a abscissa representa o tempo, não há a necessidade de a força de tensão estar aumentando. De fato, ela pode continuar constante. Isso ocorre em experimentos nos quais se realiza a medição da força de atrito com um sistema automatizado, como o mostrado na Figura 5.20.

Um motor puxa um bloco com velocidade constante. Um sensor de força, acoplado ao bloco e ao motor, faz a leitura da força de atrito em função do tempo. Na verdade o sensor faz a leitura da força que puxa o bloco, mas ao longo de quase todo o movimento essa força é igual á força de atrito. O detalhe da Figura 5.20 mostra um gráfico da força de atrito em função do tempo.

Esse gráfico se assemelha muito àquele mostrado no gráfico II da Figura 5.17 e, de fato, a partir do momento em que entra em movimento, o bloco se move com velocidade aproximadamente constante. Nesse momento, em que a velocidade é aproximadamente constante, a força de atrito é igual à força que o motor exerce para puxá-la. Mas, para manter a fidedignidade com o experimento, os autores do livro de onde foi retirado o gráfico II mantiveram a curva não linear no início do movimento.

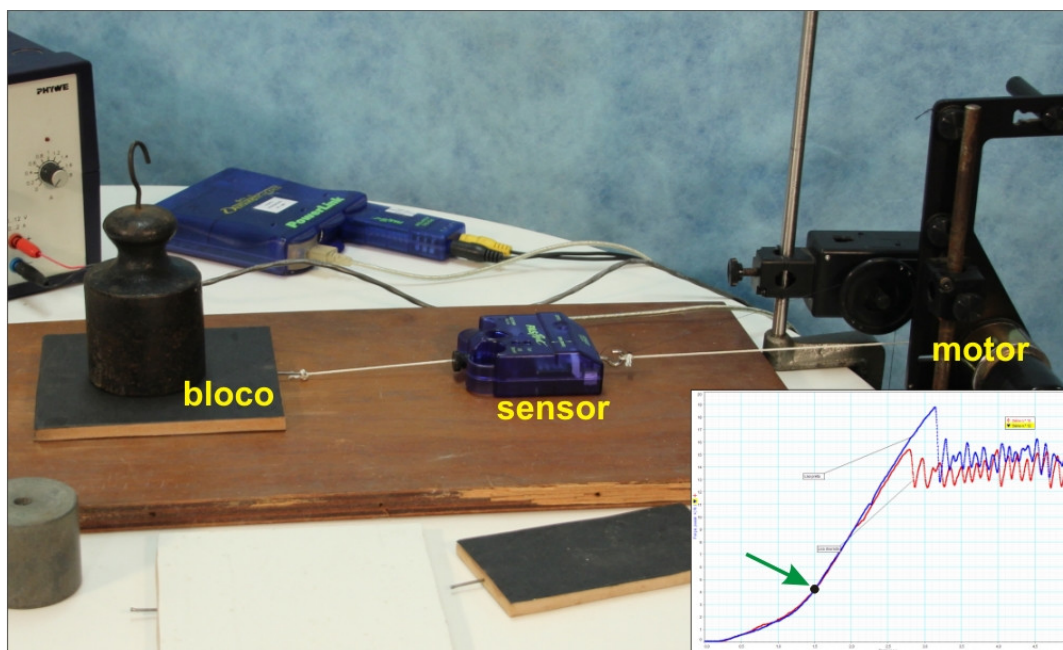


Figura 5.20: aparato experimental para o estudo das forças de atrito entre duas superfícies. Fonte: <http://demonstracoes.fisica.ufmg.br/demo/216/1K20.32-Atrito-estatico-e-atritocinetico>.

Essa não linearidade não significa que a força de atrito não seja igual à força que puxa a placa. Significa apenas que essa força não varia linearmente em função do tempo (fatores como a elasticidade da corda irão interferir nesse resultado). Mas o que é mais importante para nossa discussão é que, a partir do momento indicado pelo ponto na Figura 5.20 (a seta verde indica esse ponto), a força varia de modo linear com o tempo, ou seja, pode-se escolher um tempo específico em que o gráfico será exatamente o mostrado na **Figura 5.19**, como o sugere o professor PES5.

Essa consciência sobre as limitações intrínsecas na forma como constituímos os modos tem implicações importantes para o ensino. O modo que se encontra no texto didático não é passível de modificação pelo professor, mas estar atento a essas particularidades é de fundamental importância para que o professor auxilie seus alunos, trazendo novos recursos que complementem aqueles apresentados no texto, apontando as limitações como as mostradas ao longo desse texto. Durante a leitura e as conversas sobre o material lido, poucos foram os professores que mencionaram a impossibilidade do

movimento com velocidade constante para a caixa representada na Figura 5.19. Entre os alunos, nenhum apontou essa impossibilidade. Isso mostra que a atenção a esses detalhes tem um papel importante se pensarmos na interação de aprendizes com esses modos.

É possível fazer escolhas para a construção dos modos que atendam melhor às necessidades dos estudantes. Fornecer boas mediações para a abordagem dos assuntos em sala é condição que não assegura, mas amplia as possibilidades de aprendizagem. Como parece ter ocorrido com o professor PES5, refletir sobre outras possibilidades de representação pode nos auxiliar a extrair o melhor de cada modo de forma a proporcionarmos melhores experiências para nossos alunos.

Outro ponto em que parece haver divergências grandes entre professores e estudantes é quanto à percepção do gráfico I como algo idealizado e do gráfico II como algo empírico, ou pelo menos mais próximo de uma realização experimental. Dentre os participantes da pesquisa, 9 professores em 12 (5 PES 4 e 4 PEM, 75%) reconheceram de alguma forma que o gráfico I trata de uma situação mais idealizada, em certo aspecto, mais teórico e próximo a uma experiência didática, ao passo que o gráfico II trata de uma situação que poderia ter sido originada a partir de uma situação empírica, de um experimento realizado.

Os elementos do gráfico que originaram essa percepção são o início não linear da curva da força de atrito estático e a força de atrito cinético variável no gráfico II, em oposição às linhas retas e constantes mostradas no gráfico I. Esses elementos, então, funcionam como indicadores de uma possível distinção ideal x real. Tal suposição pode ser encontrada na fala de alguns professores como de PEM5, que afirma que “o gráfico da I mostra uma ciência muito bonitinha”.

Por outro lado, entre os estudantes essa percepção foi apontada por apenas 7 em 20 (35%). Os demais não realizaram declarações explícitas a esse respeito. Embora não se possa dizer algo sobre a percepção dos demais nesse sentido, nos chama a atenção o fato de que muitos professores emitiram opinião acerca dessa característica e os alunos não. Avaliando algumas concepções fornecidas pelas respostas dos estudantes, talvez a explicação resida no fato de que eles não percebiam as representações dessa forma, o que pode levar a compreensões incorretas do fenômeno. As respostas dos estudantes EQU1 e MAT2 a essa questão revelam suas concepções

EQU1: A semelhança eu acho que é até o início do movimento, é bem parecido, e a grande diferença é depois que o movimento começa e eu acho que essa diferença talvez esteja ligado com a superfície, ser mais lisa ou ... não sei.

MAT2: Só que aqui oh, parece que o atrito (aponta para a região cinética do gráfico II) do segundo gráfico está maior do que o atrito (aponta para região cinética do gráfico I) do primeiro; é como se a superfície do primeiro gráfico, ela fosse bem mais lisa do que a do segundo gráfico.

Pelo menos 7 alunos apresentaram, explicitamente em suas falas, ideias semelhantes a essas. Em particular, o estudante MAT2, que aponta na tela para as regiões a que ele se refere, deixa claro que ele percebe os dois gráficos como resultados empíricos de dois experimentos, um realizado em uma superfície muito lisa e outro em uma superfície mais rugosa. Claramente esses estudantes não compreenderam a ideia de que as variações ocorrem devido à variação na força de atrito, devida, em última análise, às interações entre os átomos das duas superfícies em contato. Para esses estudantes a curva irregular, longe de ter contribuído para uma compreensão acerca da natureza real da força de atrito cinética, funciona como uma reprodução da superfície.

O problema de os estudantes associarem as formas das curvas dos gráficos aos corpos ou processos que elas representam é um problema há muito documentado na física. Por exemplo, Beichner (1994) já apontava que é muito comum certos estudantes associarem a forma dos gráficos de cinemática ao movimento do corpo que ele representa. Fazer esse tipo de associação não só contribui para uma percepção incorreta do fenômeno (nas falas, os estudantes deixam claro que poderia existir uma superfície lisa o suficiente para não produzir variações na força de atrito cinético), quanto limita as possibilidades de uso desses recursos mediacionais nas atividades de ensino. Na medida em que o estudante não reconhece esses modos como construções humanas, usadas para a comunicação e para a estruturação do pensamento, eles constituirão obstáculos epistemológicos para seu aprendizado.

Naturalmente não são todos os estudantes que têm essa percepção sobre esses modos. Note como a visão do estudante EC1 contrasta com a dos alunos analisados anteriormente.

EC1: o diagrama I é de uma abstração teórica, ou o comportamento teórico de um corpo, e o gráfico II seria retirado de um experimento com medição efetiva dessas forças. Então eu diria isso, que o segundo ele é realmente de uma medição de um experimento realizado ou, uma tentativa de imitar isso.

A concepção desse estudante se assemelha mais à dos professores que veem no gráfico I um comportamento idealizado, simplificado, que facilita a discussão didática acerca do fenômeno do atrito. Sobre o gráfico II, esse estudante inclusive sugere que ele pode ser

derivado de um experimento real, ou “uma tentativa de imitar isso”, atestando certa compreensão sobre a natureza dos modelos usados pela física.

A atividade de modelar os fenômenos, abstraindo certas características mais próximas do empírico, em direção a uma abordagem mais simples e geral, é também uma estratégia usada pela Física que diminui a gravidade semântica. Enquanto a presença das irregularidades na parte cinética do gráfico II sugere a realização de um experimento, estando, portanto, mais presa a uma situação contextual, o gráfico I é uma abstração teórica, cujo objetivo é a discussão geral do fenômeno. O professor PEM3, ao falar sobre suas percepções acerca desses dois gráficos, menciona sua preferência sobre o gráfico I.

PEM3: eu ainda assim conhecendo esse (aponta para o gráfico II), eu acho que eu ainda usaria esse perfil do constante (aponta para o gráfico I); eu acho que pro aluno já fica mais seguro compreender; por que a gente tudo tenta aproximar mais do modelo mais ideal e perfeito pra facilitar um pouco o processo, né?

Para esse professor, o modelo ideal, mais simplificado, se presta melhor para abordar os fenômenos físicos. A diferença básica entre as duas representações é a menor quantidade de detalhes com os quais o estudante precisa lidar no gráfico I. Abstraídos esses detalhes, a Física pode se concentrar em reafirmar suas conclusões gerais, idealmente aplicáveis a uma variedade de sistemas. No gráfico I, da Figura 5.17, a força de atrito cinético é constante; isso se aplica a qualquer sistema idealizado. No gráfico II, essa força é “aproximadamente constante”. Qualquer tratamento de uma situação como essa requer que se assumam um valor médio para essa força e diferentes situações físicas oferecem valores distintos, como mostra o detalhe no gráfico da Figura 5.20. A curva azul é para um peso maior sobre o bloco, o que gera uma reação normal (n), maior. A curva vermelha é para um peso menor.

É necessário que estejamos atentos a essas percepções dos estudantes acerca dos modos utilizados no ensino da Física. Às vezes consideramos que um gráfico com mais elementos contextuais, que remeta a uma situação empírica, possa ser mais interessante do ponto de vista do ensino, pois aproxima a Física do mundo vivido. Mas, se o estudante não compreende essas especificidades das representações, ele teria condições de lidar com esses modos em outras situações? A fala do estudante MES2 a respeito desses gráficos é muito precisa.

MES2: embora uma pergunta de um livro didático sempre quer saber a força de atrito cinético como se fosse uma constante, né? Ele nunca pergunta como que a força de atrito cinética varia ao longo do tempo. Então assim, pra responder a uma pergunta,

talvez essa aqui fosse mais [não conclui a frase]. Eu gosto mais desse gráfico aqui, ele é visualmente mais simples (o gráfico I), embora eu iria gostar de ter essa informação desse gráfico II em algum momento.

O estudante menciona que gostaria de ver uma representação mais próxima do empírico, mas ao mesmo tempo chama a atenção para o fato de que essa não é a única com a qual ele pode ter contato. Se, por um lado a utilização dos múltiplos modos permite a ampliação do espectro de significados que podem ser comunicados e construídos na física, por outro ele coloca a questão das potencialidades e limitações intrínsecas à forma como elaboramos esses modos, que podem ter implicações diretas sobre o processo de aprendizagem dos estudantes. O que nos parece muito enriquecedor, a partir desse estudo, foi a fala de vários professores, quando solicitados a dizer se preferiam um ou outro gráfico em suas atividades, afirmando que prefeririam um terceiro. Em geral, na preferência dos professores o gráfico para a força de atrito deveria contar com a parte inicial como uma reta inclinada a 45° , pois isso evidencia que a força de atrito é igual à força que puxa o corpo (como o gráfico I da Figura 5.17), mas deveria conter a parte cinética com alguma variação (como o gráfico II da Figura 5.17), pois representa uma situação mais fiel a uma realização experimental. Após observar e refletir um pouco sobre as representações nos gráficos, os professores foram capazes de perceber que era possível aprimorar a representação de forma que ela pudesse servir melhor aos seus interesses no ensino.

Em nossa avaliação, esse exercício de refletir sobre as representações comumente utilizadas na Física, de pensar sobre as escolhas dos signos que as compõem e de considerar os objetivos que visamos alcançar com seu uso didático nas atividades de ensino, é o tipo de esforço que o professor precisa realizar para auxiliar os estudantes a se apropriarem de forma mais contundente dos múltiplos modos. Conforme já afirmamos não podemos tomar esses modos como triviais nas atividades de ensino com os estudantes, pois eles possuem formas de leitura e interpretação determinadas por gramáticas próprias, particulares das comunidades onde são produzidos. É preciso dar aos estudantes acesso a essas formas de leitura e interpretação, inserindo-os em práticas compartilhadas de leitura e manipulação desses modos, bem como discutindo seu uso e sua importância na Física.

Capítulo 6 - Interação entre modos na resolução das questões na tela

Doran (2018) mostra como os exames dos estudantes também se constituem como questões multimodais, que demandam do estudante a integração entre diferentes modos e que, em certas ocasiões, o estudante manipule modos não apresentados no enunciado com o objetivo de obter a resposta correta. Diversas questões dos testes aplicados aos participantes, nesta tese, requeriam a manipulação de diferentes modos. Nesse capítulo vamos discutir os resultados de algumas das questões aplicadas aos leitores logo após a leitura do texto. Nessas questões realizamos também o rastreamento ocular dos leitores durante a resolução.

6.1 As Questões nº 1 e nº 5

As Questões nº 1 e nº 5 do teste aplicado aos participantes da pesquisa estão reproduzidas nas Figuras 6.1 e 6.2, respectivamente. Ambas tratam de representações sobre o atrito, envolvendo o alisamento das superfícies em contato.

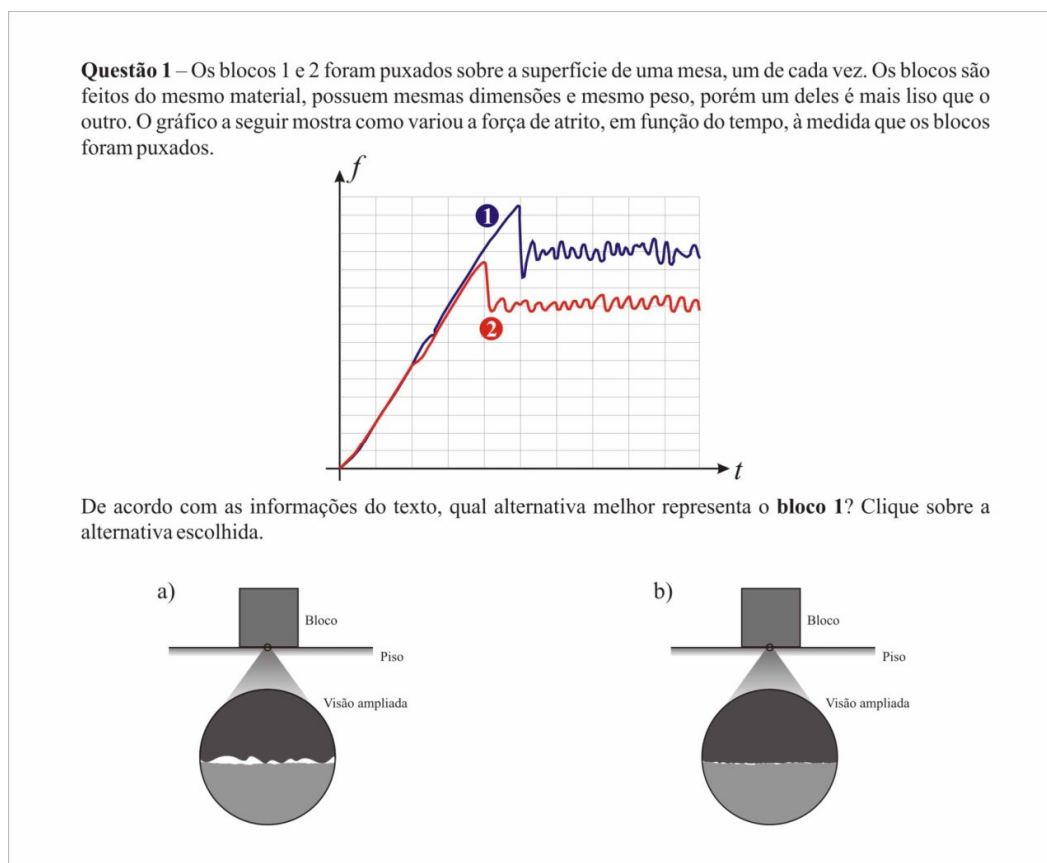


Figura 6.1: Questão nº 1 do teste que os participantes responderam na tela do computador.

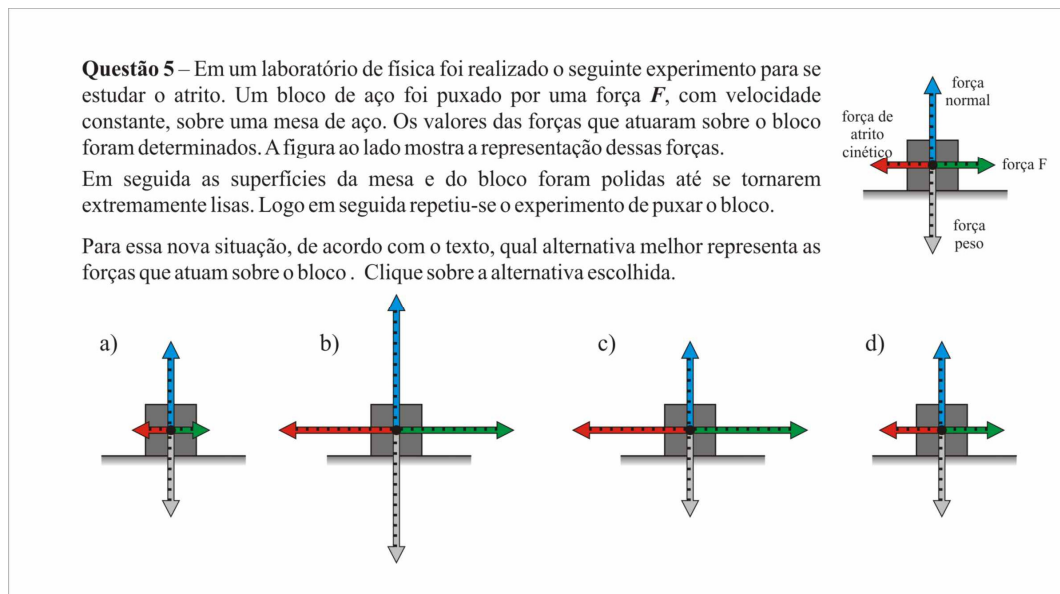


Figura 6.2 Questão nº 5 do teste que os participantes responderam na tela do computador.

Essas duas questões foram baseadas em um trecho do texto do livro e tinham por objetivo avaliar em que medida os leitores se baseariam no texto, ou em suas próprias concepções, para responder à questão. O trecho do texto está reproduzido na Figura 6.3. A parte sombreada nessa figura afirma que alisar as superfícies pode aumentar o atrito, devido a uma maior aproximação das superfícies e ao estabelecimento de mais microssoldas. Isso vai contra uma visão de atrito baseada na aspereza das superfícies.

elas se tocam (Figura 5.18). À medida que um bloco desliza sobre um piso, ligações microscópicas se formam e se rompem, e o número total dessas ligações é variável; portanto, a força de atrito cinético não é rigorosamente constante. **Alisar as superfícies em contato pode, na verdade, aumentar o atrito, visto que mais moléculas se tornam aptas a formar ligações;** juntar duas superfícies lisas de um mesmo metal pode produzir uma 'solda a frio'. Os

Figura 6.3: reprodução do trecho do texto que diz que ao alisar as superfícies o atrito pode aumentar (Young e Freedman, 2008, p. 149).

As duas questões levam em consideração esse aspecto, mas usam representações diferentes. Na Questão nº 1, o leitor deveria perceber uma mudança na aspereza das superfícies, representada nas figuras das alternativas, e relacioná-la com as diferentes curvas do gráfico. Cada curva representa um movimento com uma força de atrito diferente, sendo a curva azul um atrito maior que a curva vermelha. Na Questão nº 5, o leitor deveria associar a mudança na aspereza com o tamanho do vetor que representa a força de atrito sobre a caixa. Desejávamos analisar como os leitores interagem com os diferentes modos nas duas questões e como distribuíam sua atenção por eles durante a resolução.

O problema é que, após a passagem de vários estudantes e professores, dois professores universitários nos alertaram sobre uma informação apresentada na obra de

Alaor Chaves (CHAVES, 2001). Nesse livro, o autor discute que, para uma superfície muito áspera, alisar as superfícies em contato pode reduzir o atrito em um momento inicial. Se o processo de alisamento das superfícies for continuado, aí sim, o atrito pode aumentar.

Compreendemos esse comportamento supondo que, em superfícies muito ásperas, o engaste das superfícies proporcionará reações opostas ao sentido que se tenta arrastar um corpo sobre o outro. Arrastar duas superfícies cujas ranhuras se encaixam muito umas nas outras seria, portanto, muito difícil. Realizando um alisamento inicial, essas superfícies se engastariam menos umas às outras, facilitando o deslizamento. Porém, se esse alisamento for levado ao extremo, a proximidade entre os átomos e moléculas das duas superfícies pode ser tão grande que a força de interação cresce, aumentando o atrito.

Portanto, após a manifestação desses professores acerca dessa questão envolvendo o alisamento, optamos por desconsiderar essas questões, uma vez que seus resultados podem ter sido fortemente influenciados por essas considerações.

6.2 A Questão nº 2

A Questão nº 2 do teste, reproduzida na Figura 6.4, trata de uma situação muito semelhante à Figura 5.17. Um corpo é puxado por uma força F e as várias forças que atuam sobre ele estão representadas na figura ao lado do enunciado. A questão solicita ao participante que escolha a alternativa que apresenta a configuração correta para a força de contato da superfície sobre o corpo.

Questão 2 – A figura ao lado representa um armário sendo puxado sobre o chão por uma força F . O armário se move no sentido da força F . Além da força F foram representadas as outras forças que atuam sobre o armário: atrito cinético (f_c), normal (n) e peso (p).

Escolha a alternativa que melhor representa a força de contato que atua sobre o armário na situação descrita. Clique sobre a alternativa escolhida.

a) b) c) d)

Figura 6.4: Questão nº 2 do teste que os participantes responderam na tela do computador.

Para responder à questão os participantes poderiam simplesmente se lembrar da Figura 5.17 (pois cometemos o deslize de representar as forças no diagrama da questão da mesma forma que na Figura 5.17!), ou poderiam raciocinar sobre o desenho esquemático para somar as forças atrito e normal, a fim de encontrar a força resultante, que é a força de contato da superfície sobre o corpo. A resposta correta é a letra (d).

A resposta à questão demanda um raciocínio bastante simples. Talvez isso explique o alto índice de acerto nessa questão. Entre os 38 participantes aos quais foi aplicada essa versão do teste, 30 escolheram a alternativa correta. O mais interessante que percebemos foi que, embora nada no enunciado direcionasse explicitamente o olhar do leitor para a Figura 5.17, 12 leitores se deslocaram até a figura antes de selecionar a alternativa. Para esses leitores, o raciocínio teve que envolver o modo ao qual eles associavam essa questão. Em alguns casos, a retomada envolveu também a leitura do texto acima da figura, que trata das forças representadas na Figura 5.17. Na Figura 6.5 pode ser visto o caminho realizado pelo leitor QUI2 para resolver a questão. À esquerda, nessa figura, está mostrado todo o caminho seguido pelo leitor, e à direita, detalhes de sua leitura da questão e da Figura 5.17. Esse estudante leu a questão, depois se deslocou até a Figura 5.17, leu o texto verbal acima dela, retornou à questão e marcou a alternativa correta (indicada pelo losango vermelho, que é a forma pela qual o software registra o clique do mouse).

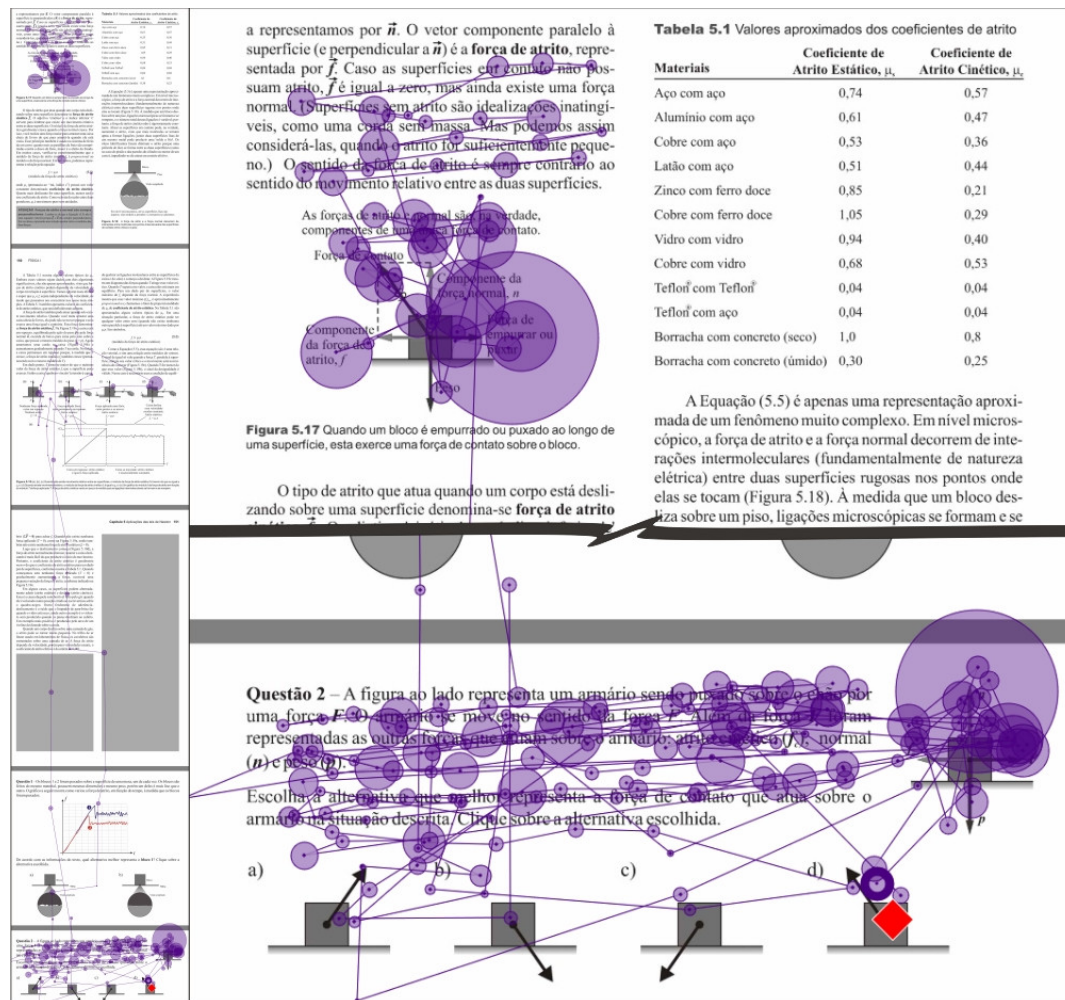


Figura 6.5: scanpath do leitor QUI2 ao responder à Questão nº 2.

Como esse tipo de movimentação indica uma orquestração de diferentes modos, esperávamos que esses 12 leitores pertencessem ao grupo dos participantes que acompanham em grande medida a multimodalidade do texto. Porém, isso não se verificou. Dentre os 12, os leitores PES1, PEM3, MES1, FIS3 e FIS9 realizaram leituras que acompanhava mais a multimodalidade do texto. Já os leitores PEM2, MES2, FIS7, FIS8, QUI1, QUI2 e QTC apresentaram um comportamento pouco atento à multimodalidade. Em função das limitações impostas pelas nossas escolhas metodológicas não temos informações para explicar a escolha por esse caminho seguido por esses 12 leitores. Novas investigações nessa direção poderão apontar os motivos dessa escolha. Por hora, o que temos condições de discutir nesse caso é que os leitores que retornaram ao modo parecem utilizá-lo como forma de estruturar o pensamento para a resolução da questão.

Esses 12 participantes que retornaram à Figura 5.17 possivelmente não possuíam os conhecimentos necessários à resolução da questão, senão teriam feito como os demais 14 que escolheram corretamente a opção (d) sem a necessidade de retornar à figura. Podemos dizer que a Figura 5.17 os auxiliou em sua resposta, uma vez que a situação representada na questão é exatamente a mesma da Figura 5.17. Esses leitores se apoiaram no modo para responder corretamente a questão. É possível que concebiam os modos como recursos que comunicam informações úteis acerca dos conhecimentos com os quais lidam na Física.

Esse aspecto fica evidente quando olhamos para os 7 leitores que erraram a questão. Nenhum deles foi à figura. Decerto esses leitores, assim como os 12, não sabiam a resposta pela simples análise da figura do enunciado, mas não foram capazes de recorrer ao texto multimodal como o auxílio na resolução do problema.

Para finalizar a abordagem dessa questão, trazemos uma consideração acerca do uso do rastreamento ocular como parte das estratégias para a aquisição de dados. Em seções anteriores discutimos que a realização de movimentos entre diferentes modos poderia indicar um esforço de coordenação das informações comunicadas por eles. Uma intensa movimentação poderia indicar uma forte integração entre as informações advindas dos diferentes modos. De forma diferente, uma intensa movimentação na resolução de uma questão pode indicar falta de conhecimento para sua resolução. Observe a Figura 6.6, que mostra o *scanpath* do professor PES3 ao resolver a Questão nº 2.

A intensa movimentação desse leitor entre todos os elementos (texto verbal do enunciado, desenho esquemático e alternativas) parece revelar a falta de conhecimentos necessários para resolver a questão. Sem conseguir obter uma forma de estruturar seu pensamento sobre o exercício, a fim de resolvê-lo, seus olhos se movimentam muito entre todos os três elementos. Por fim, ele escolhe a alternativa incorreta. Embora cada participante tenha um tempo e uma estratégia muito particulares de leitura, se compararmos o *scanpath* do professor PES3 com o do PES6, também mostrado na Figura 6.6, podemos

notar uma grande diferença na movimentação. Ambos observaram todos os elementos da questão e não se deslocaram até a Figura 5.17, mas o professor PES6 realizou menos movimentos.

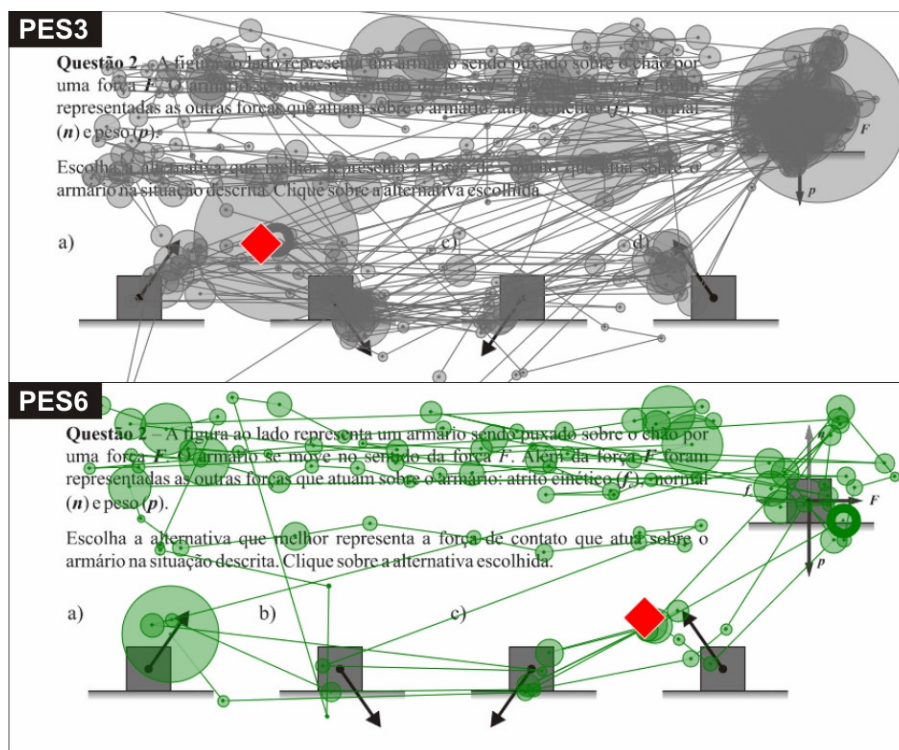


Figura 6.6: scanpath dos professores PES3 e PES 6 ao responderem à Questão nº 2.

Por esse motivo Orquin e Hblmqvist (2018) sugerem cautela ao usar o *eye-tracking* como fonte de informações sobre o comportamento dos leitores. Nesse caso, a maior movimentação não parece estar relacionada a uma compreensão profunda, mas exatamente a uma falta de conhecimentos para a resolução da questão. Uma entrevista com o leitor sobre o seu caminho de leitura poderia trazer informações adicionais sobre seu comportamento, o qual nós não possuímos olhando apenas para os dados do rastreamento.

6.3 A Questão nº 3

A próxima questão que vamos analisar está reproduzida na Figura 6.7. Para essa questão específica vamos considerar uma amostra de 47 participantes, uma vez que, nas várias versões do teste, ela permaneceu inalterada. Portanto, todos os leitores resolveram essa questão.

O enunciado da questão é composto apenas pelo modo escrita, contudo, para responder corretamente a ela o leitor precisa comparar as forças de atrito que atuam sobre os discos.

Questão 3 – Dois discos pesados, um de cobre e um de aço, foram colocados sobre uma mesa de aço em uma oficina mecânica. Os discos possuem mesmo diâmetro e mesmo peso. Um funcionário da oficina empurra os dois discos sobre a mesa até a esteira de transporte.

A dificuldade que o funcionário experimenta para empurrar o disco de aço sobre a mesa é maior, menor ou igual à dificuldade que experimenta para empurrar o disco de cobre? Clique sobre a alternativa correta.

a) maior

b) menor

c) igual

Figura 6.7: Questão nº 3 do teste que os participantes responderam na tela do computador.

Estabelecer comparações quantitativas envolve a utilização da matemática, nesse caso, no sentido de estabelecer uma relação entre duas grandezas da mesma categoria (comparar as forças de atrito entre os dois discos). São três as relações com que o participante precisará lidar, em consonância com as alternativas que lhe foram apresentadas no enunciado:

$$f_{\text{aço}} > f_{\text{cobre}}$$

$$f_{\text{aço}} < f_{\text{cobre}}$$

$$f_{\text{aço}} = f_{\text{cobre}}$$

Ele terá condições de efetuar as comparações se souber os valores das forças de atrito. Essa noção deve conduzi-lo à equação que fornece a força de atrito dinético que atua sobre um corpo: $f_c = \mu_c n$. Partindo da informação do enunciado, de que os discos possuem o mesmo peso, ele deve inferir que as forças normais (n) são iguais e, portanto, a variável que define a resposta é o coeficiente de atrito cinético (μ_c). Portanto, as relações anteriores que se baseavam no símbolo força de atrito, agora se basearão nas comparações entre os coeficientes de atrito:

$$\mu_{\text{aço}} > \mu_{\text{cobre}}$$

$$\mu_{\text{aço}} < \mu_{\text{cobre}}$$

$$\mu_{\text{aço}} = \mu_{\text{cobre}}$$

Naturalmente não se espera que os participantes tragam na memória os valores dos coeficientes de atrito, mas no texto lido há uma tabela com valores desses coeficientes entre vários materiais diferentes, incluindo os citados no exercício. Portanto, uma resposta apropriada a essa questão demanda do leitor a integração entre os modos texto verbal, equação algébrica e tabela. Manipulando esses modos apropriadamente o leitor deveria chegar corretamente à alternativa A, pois $\mu_{\text{aço}} > \mu_{\text{cobre}}$.

Todos os leitores dedicaram algum tempo observando a tabela no momento em que realizaram a leitura do texto. A média de tempo de observação da tabela foi de 17,84 s e o

desvio padrão de 17,13 s, o que indica que os tempos de leitura da tabela foram muito variados entre os leitores, assim como a leitura do restante do texto. Os leitores também visualizaram as duas equações no momento da leitura, com um tempo médio de 4,9 s na Equação 5.5, que fornece o módulo da força de atrito cinético entre duas superfícies (a equação necessária na resolução da questão).

A tabela a seguir mostra o número de participantes que acertaram e que erraram essa questão.

Tabela 6.1: Número de participantes que acertaram e que erraram a Questão nº 3.

Número de leitores	Deslocamento à tabela	Alternativa escolhida
41 leitores acertaram a questão	39 foram à tabela	39 – A
	2 não foram à tabela	2 – A (DOU2 e FIS4)
6 leitores erraram a questão	5 não foram à tabela	4 – C (PES7, FIS13, QTC1, EQU1) 1 – B (FIS2)
	1 foi à tabela	1 – B (FIS15)

Grande parte dos leitores realizou uma performance como a mostrada na Figura 6.8 para responder à questão (no detalhe à esquerda da Figura 6.8 pode ser visto todo o caminho seguido pelo leitor ao resolver a questão e à direita são mostrados em evidência a Questão nº 3 e a Tabela 5.1). Nessa figura, o professor de Ensino Médio PEM5 lê o enunciado da questão, rola o mouse para cima para alcançar a tabela na página 149, visualiza os dados que constam na tabela, retorna, e marca a alternativa. É possível notar que o leitor concentra seu olhar nos pares de superfícies citados no texto verbal do exercício (aço com aço e cobre com aço). Dentre os 41 leitores que acertaram a questão, 13 realizaram duas ou três idas à tabela, intercaladas com revisitas ao enunciado da questão.

Os dois estudantes que marcaram a alternativa A, e não se deslocaram até a tabela, foram solicitados a explicar como se deu sua escolha. Como tínhamos uma expectativa acerca desse deslocamento, nos posicionávamos na sala de modo a poder acompanhar a resposta a essa questão. Ao final da entrevista, perguntávamos ao participante como ele havia chegado à resposta.

Ambos responderam que se basearam na noção de interação entre os átomos dos materiais, como mostram as transcrições das entrevistas a seguir:

DOU2: Como as duas superfícies eram de aço eu imaginei que isso facilitaria a interação química entre as superfícies, mas pensando bem agora, isso não é necessariamente verdade; eu deveria ter olhado na tabela.

FIS4: *Eu pensei: a mesa é de aço e o disco também é de aço e aí de novo aquela ideia de força intermolecular [incompreensível] mas eu fiquei confusa, porque assim e se atrair mais ... eu fiquei só pensando em força de atração porque elas têm o mesmo diâmetro e o mesmo peso, mas é o mesmo material, então.. gente eu nem lembrei [se referindo à tabela].*

a representamos por \vec{n} . O vetor componente paralelo à superfície (e perpendicular a \vec{n}) é a **força de atrito**, representada por \vec{f} . Caso as superfícies em contato não possuam atrito, \vec{f} é igual a zero, mas ainda existe uma força normal. (Superfícies sem atrito são idealizações inatingíveis, como uma corda sem massa. Mas podemos assim considerá-las, quando o atrito for suficientemente pequeno.) O sentido da força de atrito é sempre contrário ao sentido do movimento relativo entre as duas superfícies.

As forças de atrito e normal são, na verdade, componentes de uma única força de contato.

Figura 5.17 Quando um bloco é empurrado ou puxado ao longo de uma superfície, esta exerce uma força de contato sobre o bloco.

Tabela 5.1 Valores aproximados dos coeficientes de atrito

Materiais	Coefficiente de Atrito Estático, μ_s	Coefficiente de Atrito Cinético, μ_k
Aço com aço	0,74	0,4
Alumínio com aço	0,6	0,36
Cobre com aço	0,53	0,41
Lata com aço	0,5	0,3
Zinco com ferro doce	0,85	0,21
Cobre com ferro doce	1,05	0,29
Vidro com vidro	0,94	0,40
Cobre com vidro	0,68	0,53
Teflon com Teflon [®]	0,04	0,04
Teflon com aço	0,04	0,04
Borracha com concreto (seco)	1,0	0,8
Borracha com concreto (úmido)	0,30	0,25

A Equação (5.5) é apenas uma representação aproximada de um fenômeno muito complexo. Em nível microscópico, a força de atrito e a força normal decorrem de interações intermoleculares (fundamentalmente de natureza elétrica) entre duas superfícies rugosas nos pontos onde

armário na situação descrita. Clique sobre a alternativa escolhida.

a) b) c) d)

Questão 3 Dois discos, um de cobre e um de aço, foram colocados sobre uma mesa de aço em uma oficina mecânica. Os discos possuem o mesmo diâmetro e o mesmo peso. Um funcionário da oficina empurra os dois discos sobre a mesa até a esteira de transporte. A dificuldade que o funcionário experimenta para empurrar o disco de aço sobre a mesa é maior, menor ou igual à dificuldade que experimenta para empurrar o disco de cobre? Clique sobre a alternativa correta.

a) maior b) menor c) igual

Figura 6.8: scanpath do leitor PEM5 ao responder à Questão nº 3.

Esses dois estudantes fizeram escolhas baseados na suposição de que, entre materiais iguais a força de atração será maior, logo a força de atrito será maior. No entanto, isso não configura uma verdade, como reconheceu o estudante DOU2. As respostas desses estudantes reforçam a hipótese de nosso caminho para a resolução da questão. Uma vez que eles se basearam em outras suposições, nem chegaram a cogitar a manipulação dos modos necessários. Quase todos os participantes que acertaram a questão se deslocaram até a tabela.

O oposto ocorreu com aqueles leitores que não se deslocaram até a tabela. Dos 6 leitores que erraram a questão, 5 não foram à tabela. Esses leitores se detiveram basicamente na leitura do enunciado e na escolha da alternativa, sem realizar movimentos para outras partes do texto, como o estudante mostrado na Figura 6.9.

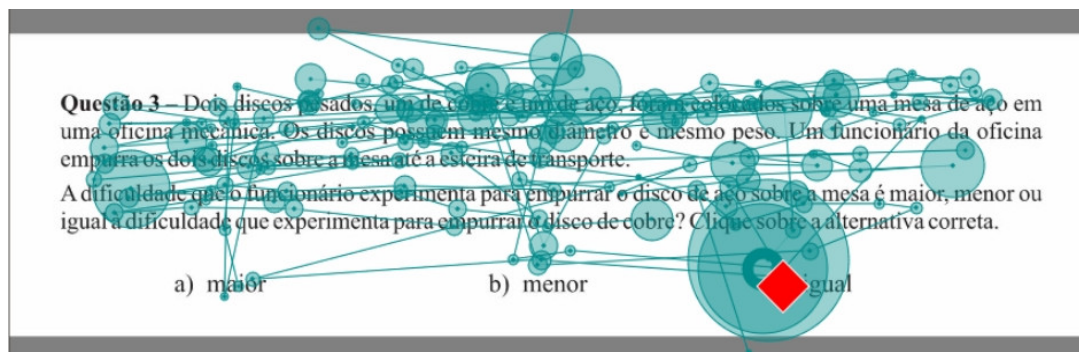


Figura 6.9: scanpath do leitor FIS13 ao responder à Questão nº 3.

Doran (2018) discute que as equações matemáticas utilizadas na Física condensam, em poucos símbolos, uma grande quantidade de informações e relações. A equação $f_c = \mu_c n$ trás consigo informações sobre as características das superfícies em contato (por meio do coeficiente de atrito) e também sobre a interação entre as superfícies (por meio da força normal). Operar de forma competente com esse modo implica em desempacotar as informações e relações contidas em seus símbolos. Isso parece ter ocorrido com grande parte dos leitores que acertaram a questão, pois após a leitura do enunciado, foram buscar o valor do coeficiente de atrito, integrando, explicitamente, o texto verbal e a tabela, e implicitamente a equação.

O mesmo não ocorreu com quem errou a questão. Dos cinco participantes que erraram a questão, 4 marcaram a alternativa C (“igual”). A nosso ver, essa escolha parece estar associada à leitura do trecho “mesmo diâmetro e mesmo peso”, presente no enunciado. Nossa suposição é que esses participantes ao se prenderem ao fato de que os discos possuem o mesmo peso, possuirão também o mesmo valor para a reação normal e, logo o atrito será igual. Se eles chegaram a considerar a equação, o fizeram de modo inadequado, se atentando apenas para a força normal. Nesse caso, ignoraram o fato de que a força de atrito depende, também, do tipo de superfície em contato, pois não buscaram o valor do coeficiente na tabela.

6.4 As Questões nº 4 e nº 6

As Questões nº 4 e nº 6, reproduzidas, respectivamente, nas Figuras 6.10 e 6.12, demandam do leitor a orquestração das informações entre texto verbal e desenhos. Porém,

diferentemente da Questão nº 2, os desenhos dessas questões são compostos por uma parte icônica e outra esquemática. Como apontamos na seção de metodologia, em função da modificação das questões, bem como da falta de rastreamento da Questão nº 6 dos participantes com a tela ampliada (para leitores com dificuldade de visão), nosso universo nessa análise será constituído de 33 participantes.

A Questão nº 4 se refere a um pintor que segura um disco contra uma parede pressionando-o com o dedo. Em função da compressão o disco permanece em repouso. A questão solicita ao leitor que escolha a alternativa que melhor representa as forças que o disco exerce sobre a parede.

Questão 4 – Na Figura 5.17 da página 149 foram representadas as forças, normal e atrito, que uma superfície exerce sobre um bloco. De acordo com a 3ª Lei de Newton, o bloco também exerce forças sobre a superfície.

Considere a situação em que um pintor deseja desenhar um círculo em uma parede. Ele empurra um disco de madeira contra a parede, exercendo uma força perpendicular ao disco. A força é suficiente para manter o disco parado.

Nas alternativas estão representados a parede e o disco. Escolha a alternativa que melhor representa as forças que o disco exerce sobre a parede. Clique sobre a alternativa escolhida.

Figura 6.10: Questão nº 4 do teste que os participantes responderam na tela do computador.

Para resolver corretamente essa questão o leitor pode pensar de duas formas distintas (embora intimamente relacionadas): i) nas forças que atuam sobre o disco em função de sua interação com a superfície da parede e então encontrar as respectivas reações a elas, considerando, como diz o enunciado, que o disco está em repouso; ii) diretamente na forma como o disco exerce forças sobre a parede.

No primeiro caso, a Figura 6.11 mostra as forças que atuam sobre o disco em repouso. Como as forças normal e atrito estático são devidas à atuação da superfície sobre o disco, as reações a essas forças estarão sobre a parede, nas direções e sentidos indicados na Figura 6.11. No segundo caso o leitor pode considerar que, se o pintor empurra o disco para a direita, o disco empurra a parede, também, para a direita. E se o peso tende a puxar o disco para baixo, em direção ao centro da Terra, o disco exerce na parede uma força para baixo. A força de atrito é exatamente a reação paralela da superfície a essa força exercida pelo disco. Nos dois casos o leitor chegaria à alternativa (c).

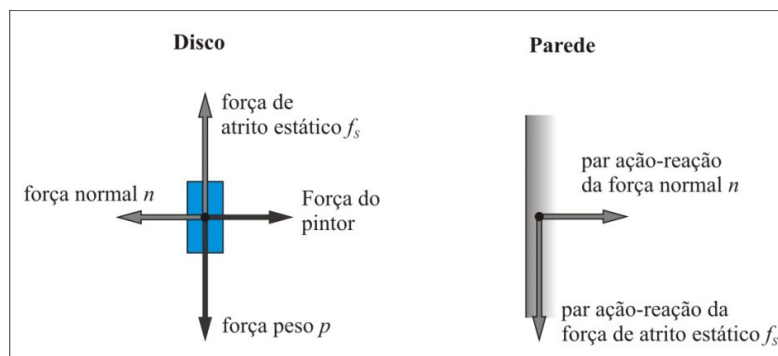


Figura 6.11: Representação das forças que atuam sobre o disco e sobre a parede na situação física mostrada na Figura da Questão nº 4.

Na Questão nº 6 o alcance da resposta correta é um pouco mais complicado, pois é necessário que o leitor coordene as informações do texto verbal, dos desenhos icônico e esquemático e também da equação algébrica para a força de atrito cinético $f_c = \mu_c n$. Isso decorre do fato que a questão solicita que ele ordene os módulos das forças de atrito em cada uma das situações, pois as alternativas estão na forma de expressões algébricas que comparam as forças de atrito nas três situações representadas nos desenhos.

Questão 6 – Um operário precisa arrastar uma caixa de peças pelo chão de uma fábrica para leva-la até o local de carregamento. Ele pode fazer isso de três formas, representadas na figura ao lado. Da forma I, forçando a caixa levemente para baixo; da forma II, forçando a caixa levemente para cima; da forma III, empurrando a caixa paralelamente ao chão. Para cada uma das situações está representada a direção e o sentido da força que o operário exerce sobre a caixa.

Sejam f_{cI} , f_{cII} e f_{cIII} os módulos das forças de atrito cinético que atuariam sobre a caixa nas situações I, II e III, respectivamente.

Escolha a alternativa que mostra a relação correta entre os módulos das forças de atrito nas situações mostradas. Clique sobre a alternativa correta.

I

II

III

a) $f_{cI} = f_{cIII} = f_{cII}$
 b) $f_{cI} < f_{cIII} < f_{cII}$
 c) $f_{cI} > f_{cIII} > f_{cII}$
 d) $f_{cI} = f_{cII} < f_{cIII}$

Figura 6.12 Questão nº 6 do teste que os participantes responderam na tela do computador.

Para responder corretamente à questão o leitor deve se atentar para o fato de que as três formas de empurrar a caixa alteram a força de interação entre as duas superfícies, alterando, portanto, a força de atrito. Se o operário empurra a caixa com uma força direcionada um pouco para baixo (situação I), ele força a superfície da caixa contra o chão.

Isso aumenta as interações entre as duas superfícies, aumentando o atrito. Por outro lado, se ao empurrar a caixa, ele exerce uma força dirigida um pouco para cima (situação II), a caixa comprime menos o chão e, portanto, o atrito fica menor. Na situação III ele empurra a caixa com uma força paralela ao chão e não afeta a interação entre as superfícies em comparação com as situações I e II.

Essa é uma forma qualitativa de avaliar o fenômeno, mas as alternativas da questão envolvem a quantificação, pois demandam do participante o estabelecimento de relações quantitativas entre as grandezas igual a, maior que e menor que. Nesse caso, o uso da matemática se faz necessário. Considerando as mesmas superfícies (trata-se da mesma caixa, arrastada de três formas distintas sobre o mesmo chão), o coeficiente de atrito cinético é o mesmo nas três situações. A grandeza que está sendo alterada em cada caso é a força normal. Na situação I a maior compressão do solo faz aparecer uma reação normal maior sobre a caixa e na situação II a reação normal fica menor. Já na situação III, como a força realizada pelo operário é paralela à superfície, ela é perpendicular à força normal e, portanto, não a afeta. A força normal na situação III tem módulo igual ao peso da caixa. Portanto, tomando a situação III como referência, o participante pode comparar as demais situações com ela. Na situação I, a normal é maior que o peso, logo a força de atrito tem o maior valor. Na situação II, a normal é menor que o peso, logo a força de atrito é menor. A resposta correta é, portanto, a alternativa (c).

A ideia de tomar uma das situações como referência é interessante porque as comparações apresentadas nas alternativas devem ser realizadas aos pares. Tomando como exemplo a alternativa (c), a expressão $f_{CI} > f_{CIII} > f_{CII}$ inclui duas expressões explícitas $f_{CI} > f_{CIII}$ e $f_{CIII} > f_{CII}$, além de uma terceira relação implícita $f_{CI} > f_{CII}$. Essa última é necessariamente verdadeira se as duas primeiras forem.

Embora as características das duas questões sejam muito distintas e envolvam análises com a orquestração de modos diferentes, o número de erros e acertos nas duas foi relativamente próximo: 24 acertos na questão nº 4 e 21 na questão nº 6, em 33 participantes. Em nossa avaliação a Questão nº 6 envolve um raciocínio mais sofisticado que a nº 4.

Uma possível explicação para essa semelhança no número de acertos pode estar no fato de que a Questão nº 6 costuma ser abordada nos cursos de física, tanto para o Ensino Médio, quanto para o Superior. Por outro lado, conforme aponta Caldas (1999), o tipo de raciocínio requerido para a resolução da Questão nº 4 geralmente não é abordado. Essa autora afirma que a representação dos pares de forças de ação e reação, no caso do atrito, praticamente inexistem nas representações dos livros textos e mesmo em sala não é comum que os professores as utilizem. A esse respeito ela critica o fato de se fazer a representação da força de atrito na junção das duas superfícies (em vez de representar a força no meio do

corpo), pois isso leva à não visualização da ação do atrito sobre uma das superfícies e de sua contrapartida sobre a outra.

Outro aspecto interessante que observamos no comportamento dos leitores ao resolverem essas duas questões foi o maior interesse no desenho esquemático. Os gráficos das Figuras 6.13 e 6.14 mostram os tempos de permanência e os tempos médios das fixações dos leitores sobre os desenhos esquemático e icônico nas Questões nº 4 e nº 6, respectivamente.

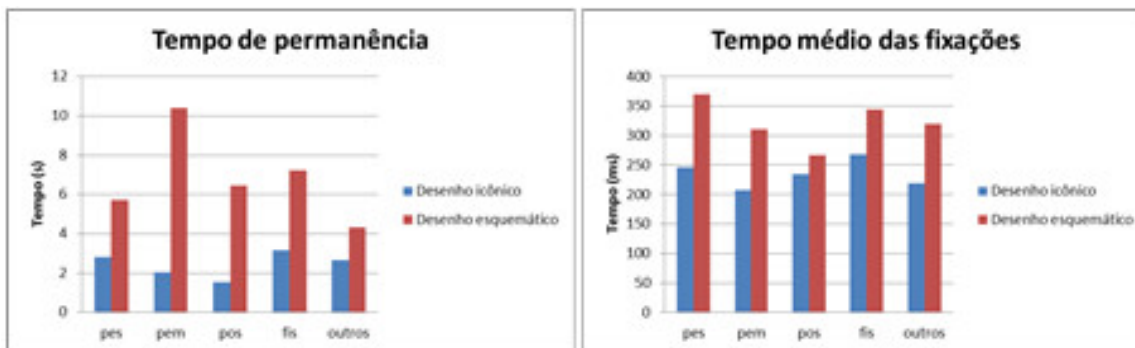


Figura 6.13: gráficos com as médias do tempo de permanência (à esquerda) e tempo médio das fixações (à direita) sobre os desenhos icônico e esquemático da Questão nº 4, por categoria.

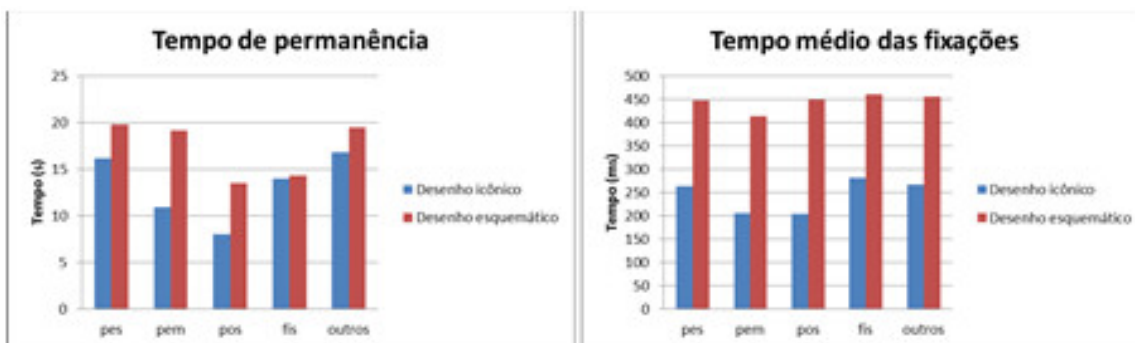


Figura 6.14: gráficos com as médias do tempo de permanência (à esquerda) e tempo médio das fixações (à direita) sobre os desenhos icônico e esquemático da Questão nº 6, por categoria.

Como se pode ver pelos gráficos das figuras anteriores, nas duas questões o tempo de permanência foi maior nos desenhos esquemáticos que nos icônicos. Os tempos médios das fixações também foram maiores nos desenhos icônicos, possivelmente porque os participantes estavam raciocinando mais sobre os esquemas, e menos sobre os desenhos icônicos, para chegar à resposta da questão.

Para responder à Questão nº 4 o leitor precisaria coordenar as informações do enunciado com a figura posicionada ao lado dele. Embora o desenho icônico seja fornecido como uma representação da situação na prática, a resolução do problema se torna mais simples abstraindo as situações contextuais e pensando apenas em termos das forças

aplicadas. Imaginar os vetores sobre um retângulo, ou mesmo um ponto (a noção de centro de massa), é o caminho que geralmente se discute como o padrão para a resolução de problemas envolvendo a aplicação de forças em corpos

O mesmo se pode dizer sobre a Questão nº 6. Uma vez que o desenho icônico é limitado em sua possibilidade de representação da aplicação da força, é mais seguro raciocinar sobre o desenho esquemático. Como modelo simplificado na física, assumimos que as forças estão aplicadas no centro de massa dos corpos, como nos casos dos desenhos esquemáticos da questão. Isso facilita a análise, por exemplo, pois não precisamos considerar efeitos de rotação do corpo. A fim de deixar a situação uniforme, de um operário sempre empurrando a caixa, o desenho icônico assume a aplicação de forças sobre a caixa em situações possíveis, mas cuja análise se torna mais complicada. Por exemplo, no caso do desenho icônico da situação II, quando a caixa é muito alta, os efeitos de rotação se tornam muito evidentes. Desse modo, opta-se por representações de situações idealizadas, como nos desenhos esquemáticos, onde a abstração de determinados pontos contextuais facilita a análise e a resolução dos problemas.

Em consonância com o fato de os leitores se manterem mais tempo sobre os desenhos esquemáticos, julgamos pertinente retomar um dado que apresentamos na segunda seção do Capítulo 3. Naquela seção, discutimos o valor atribuído pelos leitores à presença da fotografia no texto. Conforme mostramos, muitos leitores afirmaram que a fotografia não desempenhava um papel relevante no texto.

Com base nas discussões de Maton (2014) e Doran (2018), as fotografias contribuem para aumentar a gravidade semântica do discurso da física, uma vez que representa os elementos de forma bem próxima ao mundo cotidiano. A riqueza de detalhes faz com que as fotografias sejam vistas como algo fortemente associado a um contexto particular, chegando a ser consideradas como um instantâneo de uma situação real. É preciso ressaltar que, no caso da fotografia da Figura 5.16, vários leitores notaram que não se trata de um exemplo do cotidiano brasileiro, tanto entre professores, quanto entre estudantes. Apesar disso, os leitores não deixaram de notar que a intenção do autor era trazer um exemplo do dia a dia, aproximar a física do mundo vivido.

Apesar dessa tarefa importante, de exemplificar, de aproximar, as fotografias gozam de pouco prestígio junto aos leitores na medida em que não são vistas como modos que comunicam informações importantes a respeito da compreensão dos fenômenos; em sua maior parte são apenas ilustrações para situar um fenômeno no mundo. É possível que os desenhos icônicos sejam percebidos pelos estudantes de forma semelhante. Talvez, por serem constituídos por elementos que mantêm semelhanças físicas com o que representam, ricos em detalhes contextuais, sejam vistos como modos que comunicam informações pouco relevantes para a compreensão da física.

Por outro lado, os diagramas, como o da Figura 5.17, são vistos com outros olhos. Para os leitores eles são representantes legítimos usados para comunicar informações na ciência. A esse respeito trazemos as falas de três estudantes quando discorriam sobre suas percepções a respeito dos diferentes modos com os quais lidaram no texto. As três falas reproduzidas a seguir são de três estudantes de graduação em física.

FIS1: Ele coloca isso aqui (se referindo à Figura 5.17) justamente para você ter noção da atuação da componente do atrito, a relação dela com a normal com relação também à força que você vai empurrar ou puxar, e você ter realmente um entendimento mais físico, mais científico do que está acontecendo.

FIS3: Essa daqui é uma típica da física, né (Mostra a Figura 5.17)? Porque tudo a gente tem que decompor em força, então tem que ter essa figura. Essa daqui é boa porque a gente precisa de decompor as forças pra resolver exercício e tal, pra entender mesmo.

FIS5: Quando entra essas coisas de diagrama de força num bloco, eu acho que ele já está querendo dar um caráter mais científico, ele quer caracterizar a ciência que você está começando a aprender. ... Porque o cara do hóquei, por exemplo, eu não consigo fazer nada com ele, né? É só uma imagem que associa a alguma coisa e aqui ele já está apropriando do que a gente vai precisar estudar durante o resto do conteúdo mesmo.

Analisando essas falas, identificamos dois aspectos acerca da percepção desses estudantes sobre os desenhos esquemáticos: i) eles instituem/reforçam a ideia de cientificidade do discurso; ii) eles tratam as atividades de ensino com uma alta dose de pragmatismo, destacando a utilidade das representações para resolver essas atividades.

A fotografia, de acordo com a fala do estudante FIS5, desempenha um papel bastante limitado na construção de conhecimentos em física. Em sua avaliação não há muito o que fazer com ela, pois serve apenas para ilustrar uma situação, exemplificar a presença do conteúdo abordado no capítulo em uma situação do mundo vivido. Por outro lado, o diagrama possui um caráter científico. Essa noção de cientificidade parece muito relacionada à possibilidade que os diagramas oferecem de representar entidades criadas pelo discurso da ciência, como interações entre corpos, partículas atômicas, superfícies microscópicas, dentre outras. Os signos presentes nos diagramas usados na física parecem indicar que se trata de algo importante a ser apreendido, algo que constitui a própria ciência. Noção semelhante pode ser atribuída ao estudante FIS1.

A fala do estudante FIS3 revela outros aspectos do uso dos diagramas. O primeiro, que são muito comuns no ensino da física, e o segundo, que se mostram úteis na resolução de problemas. De fato, quanto ao primeiro aspecto, a presença dos diagramas

esquemáticos é muito maior nas atividades de ensino que as fotografias. A presença das fotografias se restringe aos livros e às apresentações com Datashow, até porque é difícil, para grande parte das pessoas, produzir desenhos com alto grau de iconicidade. Por outro lado, os esquemas estão sempre presentes nos livros, nas apresentações e também no quadro. Os professores utilizam muitos desenhos no quadro para discutir partes do conteúdo e para resolver questões.

Quanto ao segundo aspecto, os diagramas são percebidos como elementos que comunicam informações importantes sobre os fenômenos e podem ser manipulados para estruturar o pensamento. Como cita o estudante FIS3, você utiliza um diagrama para resolver um problema. A dependência dos diagramas é tão reconhecida no ensino da Física que chega a ser surpreendente quando um estudante não se apropria desse modo de comunicação. O professor PES5 citou um caso interessante de uma estudante que procurou um professor particular para auxiliá-la em suas dificuldades com a disciplina de Fundamentos de Mecânica. Quando o professor particular folheou o caderno da estudante se espantou com o fato de ela não ter desenhado nada.

Portanto, essa utilização intensa na abordagem do conteúdo, bem como a necessidade de se usar um diagrama ou um esquema para resolver um problema em física, parecem conferir a importância que os leitores atribuem a esse modo. Conforme observamos, maior atenção é dada aos desenhos esquemáticos que aos icônicos.

Essa atribuição de diferentes valores para os diagramas e os desenhos icônicos, ou as fotografias, nos coloca uma questão para reflexão. Se as fotografias são modos que servem para aproximar os conceitos científicos de situações do mundo dos objetos e eventos, sendo portanto, um elo importante entre os conceitos e os fenômenos, porque elas são vistas como menos importantes para a comunicação de informações relevantes para a aprendizagem? É possível que o uso que é feito das fotografias no ensino leve a essa percepção. Se utilizadas apenas como elementos acessórios, como um mero exemplo de início de capítulo, que depois dará lugar a inúmeros diagramas esquemáticos e a equações, possivelmente essa será a visão que ficará na mente dos estudantes acerca das fotografias.

Capítulo 7 - Considerações Finais

Procuramos, por meio da realização desta pesquisa, investigar aspectos da leitura de textos didáticos multimodais. Mais especificamente, nos debruçamos sobre os caminhos de leitura trilhados pelos leitores e sobre a integração dos múltiplos modos presentes em um texto de Física. Para alcançar esse objetivo, procuramos orientar nossas ações por meio da seguinte questão geral: como ocorre a interação dos leitores com os múltiplos modos que compõem um texto multimodal de Física destinado ao Ensino Superior?

Tínhamos uma expectativa inicial de observar diferenças marcantes nas formas de interação com o texto multimodal entre professores e estudantes, de forma que fosse possível apreender alguma maneira otimizada, apresentada pelos professores de ler tais modos, para que pudéssemos auxiliar os estudantes em sua tarefa de aprender pela leitura do livro. No entanto, pelo menos com as escolhas metodológicas que realizamos, não conseguimos identificar algo nesse sentido e passamos a olhar para os dados não dividindo-os nesses dois grandes grupos.

Para proceder às análises, desdobramos nossa questão geral de pesquisa em quatro questões mais específicas: i) Ao ler um texto multimodal de Física, que caminhos de leitura os leitores privilegiam? ii) Os leitores de um texto multimodal de Física promovem a integração dos múltiplos modos presentes em uma página? iii) Como os leitores avaliam a importância dos diferentes modos na comunicação das informações a respeito de fenômenos, modelos e teorias? iv) Na resolução de questões, os leitores percebem a necessidade de utilizar vários modos em conjunto?

Com relação à primeira questão, notamos que grande parte dos leitores privilegia um caminho de leitura muito direcionado pelo modo verbal. Quando acompanhamos os participantes na leitura da página 149, rica em diferentes modos, notamos que a maior parte das movimentações ocorreu no sentido da esquerda para a direita e de cima para baixo, sem muitos movimentos de ir e vir entre os modos. Mesmo no caso em que havia uma estreita relação entre os signos presentes no texto verbal e os signos presentes nos demais modos (como no caso da Figura 5.17 e do texto anterior a ela), boa parte dos leitores não realizou movimentos de integração entre esses modos.

Outro aspecto evidenciado pela leitura da página 149, que tem relação estreita com o apontamento feito no parágrafo anterior, diz respeito à pequena ocorrência de uma leitura que sugere um escaneamento modal e uma subsequente leitura em blocos. Notamos que as movimentações laterais entre os modos foram muito pequenas, mesmo entre modos espacialmente próximos. Nesse sentido, não parece que no texto didático os leitores passeiam pelos modos e escolhem aquele ao qual desejam dar atenção na leitura. Ao

contrário, os leitores leem os modos basicamente na ordem em que aparecem na página, seguindo o direcionamento do modo escrita ocidental.

Naturalmente temos que relativizar esse resultado, pois acompanhamos os leitores em interação com um texto didático em uma situação artificial – trata-se de uma situação de pesquisa, com o leitor preso a um suporte, fazendo a leitura do texto em uma tela e não no conforto de sua residência com o livro impresso nas mãos. Além disso, o texto pode ser conhecido (em termos do tema) e, desse modo, não oferecer estímulos à interação. É possível que em um texto diferente o resultado pudesse ser outro. Por exemplo, na leitura da página 150, onde aparece a Figura 5.19, houve um número um pouco maior de leitores que realizaram um escaneamento modal da página, passando os olhos rapidamente por vários elementos da figura e voltando ao texto verbal. Pode ser que as características da Figura 5.19 tenham funcionado como estímulo à atenção. Nesse sentido, pode ser que um texto diferente pudesse suscitar outros tipos de interação.

Em que pesem essas limitações, o fato é que observamos nos leitores um forte direcionamento pelo modo escrita, que implica em uma leitura dos modos na ordem em que aparecem, seguindo o texto de cima para baixo, sem muitos movimentos de integração entre as informações comunicadas pelos diferentes modos. A integração dos modos diz respeito à nossa segunda questão de pesquisa.

A segunda questão busca respostas sobre a integração dos modos na leitura de um texto multimodal. Vimos que a construção do conteúdo conceitual sobre as forças de atrito, no texto usado na pesquisa, foi realizada pelo uso conjunto do texto verbal, de imagens de diversos tipos, das equações e do gráfico. Em diversos momentos, os signos presentes em uma equação ou em uma figura, foram significados pelo texto verbal. Além disso, também vimos que os diferentes modos não comunicavam sempre a mesma informação. No caso da Figura 5.18, procuramos evidenciar que o texto verbal e a figura apresentam ideias diferentes, mas complementares, acerca da visão microscópica sobre o atrito. Nesses casos, a integração dos múltiplos modos parece fundamental para uma compreensão mais ampla do fenômeno.

No sentido de auxiliar o leitor a realizar essas integrações entre os modos, como uma forma de educar a atenção do leitor para essa maneira de leitura que o texto multimodal requer, alguns apontadores indexicais sugerem ao leitor que observem certos elementos nos modos não verbais. Contudo, como pudemos observar pelos dados do rastreamento ocular, há leitores que ignoram até mesmo esses direcionamentos do texto. Um número pequeno de leitores realiza movimentos de ir e vir entre o texto verbal e o modo não verbal ao qual ele está relacionado. Vimos isso na leitura da Figura 5.17, da Equação 5.5 e da Figura 5.19. Há leitores que integram esses modos de forma bastante intensa, mas há alguns que parecem não considerar a multimodalidade do texto.

Considerando que a Física constrói seu discurso por meio de múltiplos modos, e que eles não se mostram redundantes quanto às informações que comunicam ao leitor, nos parece importante investir tempo em auxiliar os estudantes a desenvolver uma postura multimodal frente a esse tipo de texto. Perceber a multimodalidade desse tipo de texto é considerar a natureza multimodal intrínseca da Física. A multimodalidade na Física não advém da necessidade de oferecer outro registro semiótico com a mesma informação para o leitor. Trata-se, isso sim, de oferecer um conjunto de registros especializados em comunicar certos tipos de informação de uma determinada maneira, de formas que outros registros não o fazem. Exatamente por isso são usados em conjunto.

Em alguns momentos os leitores até parecem considerar essa perspectiva. Quando da leitura da Equação 5.5, com os textos diretamente associados a ela, vimos, principalmente entre os estudantes, que foram realizados mais movimentos entre essas partes do texto. Essas movimentações podem indicar o compartilhamento e a construção de sentidos a partir da conjunção desses modos. Mas é preciso ajudar os estudantes a perceberem isso com relação aos demais modos e não apenas com as equações. O professor tem um papel fundamental nessa tarefa de ajudar a guiar o olhar do estudante para uma forma mais apropriada de interagir com esses textos. É preciso investir em práticas de leitura e interpretação desses textos como parte dos objetivos do ensino. Não se pode esperar que o estudante o faça por ele próprio, pois há formas de leitura e interpretação desses textos que são específicos das comunidades onde esses modos são produzidos.

Quanto à terceira questão, sobre a percepção dos leitores acerca da importância dos diferentes modos, parece haver uma percepção clara de que equações e desenhos esquemáticos são elementos mais importantes para a comunicação de conhecimentos científicos. Do outro lado, como elementos menos importantes, estão as fotografias e os desenhos icônicos. Os desenhos esquemáticos possuem uma conotação de cientificidade, sendo reconhecidos como modos que comunicam informações importantes para a compreensão de modelos e teorias da Física. Além disso, eles são vistos como modos sobre os quais se pode operar, ao fazer um exercício, por exemplo. As fotografias, por outro lado, são vistas como elementos que não têm papel relevante no aprendizado da Física. Embora elas sejam amplamente reconhecidas como modos que aproximam a Física do mundo vivido, na visão dos leitores, sua contribuição para a compreensão de modelos e teorias é desprezível.

Quando comparamos o interesse dos leitores ao resolver questões que envolviam desenhos icônicos e esquemáticos, notamos que o foco de atenção esteve sobre os desenhos esquemáticos. É possível que os desenhos icônicos também sejam percebidos de formas semelhantes às fotografias. São modos que permitem aproximar o mundo vivido do

conteúdo estudado na Física, pois apresentam alguma semelhança física com os elementos que representam, mas parecem contribuir pouco para a comunicação de conhecimentos conceituais

Isso nos coloca a necessidade de refletir sobre o uso que tem sido feito das fotografias e dos desenhos icônicos no ensino. Se os estudantes os estão percebendo como menos importantes, pode ser pelo fato de que os professores também não têm dado certa atenção a eles. Não fazemos uma defesa irrestrita a fotografias e desenhos icônicos, pois como vimos, diferentes modos se adequam melhor a certas tarefas comunicativas que outros. O ponto que deve ser destacado é a necessidade de levar os estudantes a reconhecerem a importância e o valor de todos os modos. Isso está no cerne da questão do uso da multimodalidade: os múltiplos modos se complementam e possibilitam a ampliação da construção de significados.

Quanto às equações, professores e estudantes concordam que se trata de um modo importante na Física, muito embora diverjam de opinião quando o assunto é a dificuldade dos estudantes com as equações. Na percepção dos professores, considerando os diferentes modos com os quais lidaram no texto usado na pesquisa, as equações e os gráficos são aqueles em que os estudantes mais têm dificuldades. Já na visão dos estudantes, a percepção dessas dificuldades é bem menor. É possível que os estudantes não tenham consciência sobre suas dificuldades, ou simplesmente não assumiram essa dificuldade frente ao entrevistador (uns poucos estudantes mencionaram dificuldades em manipular equações e ler gráficos). Seja como for, o fato é que os estudantes apresentam dificuldades com a Matemática.

Na questão nº 9 do teste escrito, cuja resolução não demandava o uso da equação, vários estudantes usaram a Matemática de forma mecânica, sem considerar a situação física envolvida. É comum que nesses casos os professores atribuam o erro a uma falta de aplicação dos princípios físicos corretos. Não discordamos totalmente, mas chamamos a atenção para o fato de que esse comportamento pode indicar uma percepção equivocada sobre o papel da Matemática na Física, qual seja, de um recurso para resolver exercícios numéricos de final de capítulo. Com base nessas considerações, é possível que o problema dos estudantes com a Matemática na Física não seja resolvido apenas com o aumento da carga horária destinada aos cursos pré-cálculo, que visam ampliar a base de conhecimentos matemáticos dos alunos. É preciso considerar uma mudança de perspectiva, de modo a levar os estudantes a perceberem os conteúdos específicos adquiridos pela Matemática quando utilizada na Física. Em vez de uma aplicação mecânica na resolução de exercícios, a Matemática precisa estar em ressonância com as teorias físicas.

Por fim, quanto à quarta questão, sobre a orquestração de múltiplos modos na resolução de uma questão, notamos que alguns leitores se apoiaram fortemente em outros

modos, ao passo que outros responderam as questões sem fazê-lo. As respostas às questões nº 2 e nº 3 do teste com o rastreamento ocular foram reveladoras nesse sentido. A questão nº 2 poderia ser resolvida com base nos conhecimentos físicos do leitor. De fato, grande parte dos leitores que forneceu uma resposta correta a essa questão fez exatamente isso. Contudo, alguns leitores tiveram a necessidade de se deslocar até a Figura 5.17 antes de fornecer uma resposta a essa questão. É possível que esses leitores não tenham conseguido chegar a uma resposta recorrendo apenas aos seus conhecimentos e se apoiaram em outro modo para resolver a questão.

No caso da questão nº 3, não havia a possibilidade de o leitor responder sem recorrer à tabela e à equação. Ele precisava dos dados da tabela para comparar qual corpo teria a maior força de atrito. Dentre os 47 leitores, apenas 5 não realizaram esse movimento de buscar os dados na tabela. Embora todos os participantes tenham visualizado a tabela no momento da leitura do texto, faltou, a alguns deles, a capacidade de recorrer a um modo distinto para auxiliá-lo na resolução da questão.

Diante desses achados, há alguns apontamentos que nos parecem bastante pertinentes acerca do uso do livro didático. O primeiro é o fato de que o texto verbal tem uma importância fundamental na organização da leitura. Por meio dele os significados são associados aos termos técnicos usados na Física. Por meio dele, também, signos não verbais como setas, pequenos círculos, entre outros, adquirem o significado de entidades do mundo das teorias e modelos, como vetores, átomos, elétrons. E para dirigir o olhar do leitor para elementos não verbais que precisam ser significados, o texto verbal também tem um papel essencial. Portanto, a construção de significados em um texto passa muito pelos movimentos multimodais que o texto verbal indica. Soma-se a isso o fato que os leitores conferem muita importância ao texto verbal, uma vez que seguem, em grande medida, o seu direcionamento na leitura. A construção do texto multimodal do livro, portanto, deve considerar uma orquestração coerente entre modos verbais e não verbais de forma a ajudar o leitor a perceber o texto como um conjunto de informações diferentes, advindas dos múltiplos modos, mas que se configura como uma unidade de significado.

O segundo ponto diz respeito à atenção que devemos ter a respeito das lacunas que os textos didáticos apresentam. Apesar de não serem as únicas escolhas do projeto editorial da obra, descuido com a tradução, decisões sobre a diagramação, podem ser fontes de lacunas para os leitores. Essas lacunas não constituem obstáculos ao professor, mas podem ser para os estudantes. É importante que o professor esteja atento a essas lacunas a respeito do material que oferece como referência para os alunos de modo a ajudá-los a transpô-las.

Outro ponto relevante nesse sentido diz respeito à reflexão que o professor pode fazer sobre as representações que comumente são exibidas nos textos didáticos e usadas

em sala de aula. Às vezes, até pelo fato de ser usada ao longo de várias décadas, não se questiona o uso de certa representação. Refletir sobre o uso que se faz dos modos de comunicação presentes nas atividades didáticas pode possibilitar o alcance de novas e mais eficientes formas de comunicar a informação, afinal, os modos são resultado do trabalho da cultura sobre eles. É importante que os formadores de professores também promovam essas reflexões como parte de seus objetivos de ensino, afinal, os professores em formação devem ter consciência dessas questões e da necessidade de ajudar seus futuros estudantes na leitura de textos multimodais.

Por fim, deixamos a indicação de alguns pontos que não pudemos explorar nessa investigação. O primeiro trata da influência da multimodalidade na aprendizagem. Temos discutido, com base em nosso referencial teórico, que a multimodalidade do texto deve ser seguida na medida em que as informações advindas dos múltiplos modos precisam ser compreendidas pelo leitor como um todo coerente. Mas nossa investigação mostrou que há leitores que seguem, e há leitores que ignoram a multimodalidade. Seria possível mensurar as diferenças de aprendizagem entre leitores que seguem, e leitores que não seguem a multimodalidade de um texto?

O segundo, sobre a percepção das representações. Vimos que os leitores têm percepções distintas sobre algumas formas de representação, ainda que se tratem do mesmo modo. Por exemplo, na pergunta da entrevista com a comparação dos dois gráficos sobre o atrito, um deles foi visto como mais próximo ao mundo vivido que o outro. Será que essas diferentes representações implicam em diferentes engajamentos dos leitores com esses modos e, possivelmente, tenham influência sobre a aprendizagem? Em se tratando dessas diferentes percepções, será que as fotografias, de fato, têm mesmo esse papel acessório, ou a fotografia específica usada no texto favorecia essa percepção? Há muitos pontos envolvendo os diferentes modos que poderiam ser investigados com o auxílio do rastreamento ocular.

O rastreamento ocular se mostrou uma ferramenta poderosa que pode ajudar na investigação de problemas muito diversificados envolvendo a leitura de textos multimodais. A riqueza das informações fornecidas, com dados precisos sobre o posicionamento do olhar, os dados quantitativos sobre os movimentos dos olhos, dentre diversos outros recursos, oferecem à pesquisa em educação possibilidades de investigações que não podem ser realizadas apenas por meio de entrevistas e protocolos de leitura em voz alta. A disseminação dessa metodologia certamente enriquecerá em grande medida os trabalhos que tratam da multimodalidade.

Referências bibliográficas

- ALVES, E. G. *Um estudo multimodal de textos didáticos sobre o Efeito Fotoelétrico*. Dissertação (Mestrado em Educação) – Faculdade de Educação, UFMG, Belo Horizonte, 2011.
- ARTUSO, A. R.; MARTINO, L. H.; COSTA, H. V.; LIMA, L. Livro didático de Física – quais características os estudantes mais valorizam? *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 41, n. 4, 2019.
- BAKHTIN, M. *Marxismo e filosofia da linguagem* 12ª ed. São Paulo: Hucitec, 2006.
- BALDRY, A.; THIBAUT, P. J. *Multimodal transcription and text analysis: a multimedia toolkit and coursebook*. London: Equinox, 2006.
- BARROS, M. A.; SOARES, J. M. S. Contribuições teóricas e abordagens históricas do Efeito Fotoelétrico. *Sustinere*, v. 4, n. 2, p. 221-232, 2016.
- BERGSTROM, J. F.; SCHALL, A. J. *Eye tracking in user experience design*. Waltham : Morgan Kaufman, 2014.
- BERNSTEIN, B. *Pedagogy, symbolic control and Identity: theory, research, critique*. London: Taylor & Francis, 1996.
- BERNSTEIN, B. Vertical and horizontal discourse: an essay. *British Journal of Sociology of Education*, v. 20, n. 2, p. 157-173, 1999.
- BLASCHECK, T.; KURZHALS, K.; RASCHKE, M.; BURCH, M.; WEISKOPF, D.; ERTL, T. State-of-the-art of visualization for eye tracking data. In: Borgo, R.; Maciejewski, R.; Viola, I. (Eds.), *Proceedings of Eurographics Conference on Visualization (EuroVis)*, 2014.
- BRONCKART, J. P. *Atividade de linguagem, textos e discursos: por um interacionismo sócio-discursivo*. Trad. Anna Raquel Machado e Péricles Cunha. São Paulo: EDUC, 2003.
- CAFFAREL, A. *A systemic functional grammar of French: from grammar to discourse*. London: Continuum, 2006.
- CALDAS, H. *Atrito: o que diz a Física, o que os alunos pensam e o que os livros explicam*. Vitória: EDUFES, 1999.
- CHAVES, A. S. *Física: mecânica*. Rio de Janeiro: Reichmann & Affonso, 2001.
- COOK, M.; CARTER, G.; WIEBE, E. N. The Interpretation of Cellular Transport Graphics by Students with Low and High Prior Knowledge. *International Journal of Science Education*, v. 30, n. 2, p. 239-261, 2008.
- DE MELLO, L. A. *Concept maps as a tool for evaluation of modern physics contents in textbooks*. Disponível em: <osf.io/c376x>, 2017. Acesso em Janeiro de 2020.
- DOIGE, C. A.; DAY, T. A typology of undergraduate textbook definitions of 'heat' across Science disciplines. *International Journal of Science Education*, v. 34, n. 5, p. 677-700, 2012.
- DORAN, Y. J. *The discourse of physics: building knowledge through language, mathematics and image*. New York: Routledge, 2018.
- DUCHOWSKI, A. T. *Eye tracking methodology: theory and practice*. 2nd ed. London: Springer-Verlag, 2007.
- EDWARDS, D.; MERCER, N. *Common knowledge: the development of understanding in the classroom*. London: Methuen, 1987.

- EL-HANI, C. N.; ROQUE, N.; ROCHA, P. L. B. Livros didáticos de Biologia do Ensino Médio: resultados do PNLEM/2007. *Educação em Revista*, v. 27, n. 1, 2011.
- FONTAINE, L. *Analysing English Grammar: a systemic functional introduction*. New York, Cambridge University Press, 2013.
- FREITAS, E. O.; MARTINS, I. Concepções de saúde no livro didático de ciências *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 10, n. 2, p. 235-256, 2008.
- GARCIA, T. M. F. B. Relações de professores e alunos com os livros didáticos de Física. *Atas do XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física*. Vitória, 2009.
- HALLIDAY, M. A. K. Estrutura e função da linguagem. In: Lyons, J. (org.) *Novos horizontes em lingüística*. Trad. Jesus Antônio Durigan. São Paulo: Cultrix, 1976, p. 134-160.
- HALLIDAY, M. A. K. *An introduction to Functional Grammar*. London: Edward Arnold, 1985.
- HALLIDAY, M. A. K. and MARTIN, J. R. *Writing Science: literacy and discursive power*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, 1993.
- HENDERSON, J. M. Eye movements. In: Senior, C.; Russel, T.; Gazzaniga, M. S. (eds) *Methods in mind*. Cambridge: MIT Press, 2006, 171-191.
- HO, H. N. J.; TSAI, M. J.; WANG, C. Y.; TSAI, C. C. Prior knowledge and online inquiry-based Science reading: evidence from eye-tracking. *International Journal of Science and Mathematics Education*, v. 12, p. 525-554, 2014.
- HOLMQVIST, K.; NYSTRÖM, M.; ANDERSSON, R.; DEWHURST, R.; JARODZKA, H.; VAN DE WEIJER, J.: *Eye Tracking: a comprehensive guide to methods and measures*, 1 ed. Oxford: Oxford University Press, 2011.
- HUNG, Y. N. "What are you looking at?" An eye movement exploration in science text Reading. *International Journal of Science and Mathematics Education*, v. 12, n. 2, p. 241-260, 2014.
- INGOLD, T. *The perception of the environment: essays on livelihood, dwelling and skill*. London: Routledge, 2000.
- INGOLD, T. From the transmission of representations to the education of attention. In: H. Whitehouse, H. (ed.), *The debated mind: evolutionary psychology versus ethnography*, Oxford: Berg, 2001, p. 113-153.
- INGOLD, T. Tres en uno: Como disolver las distinciones entre cuerpo, mente e cultura. In: Criado, T.S. *Tecnogénesis: la construcción técnica de las ecologías humanas*. Vol. II. Madrid: AIBR, 2008.
- INGOLD, T. Da transmissão de representações à educação da atenção. *Educação*, v. 33, n.1, p. 6-25, 2010.
- ISHIMARU, S.; BUKHARI, S. S.; HEISEL, C.; KUHN, J.; DENGEL, A. Towards an intelligent textbook eye gaze based attention extraction on materials for learning and instruction in physics *Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing - UbiComp '16 adjunct*. Heidelberg, September, p. 1041-1045, 2016.
- ISHIMARU, S.; BUKHARI, S. S.; HEISEL, C.; GROßMANN, N.; KLEIN, P.; KUHN, J.; DENGEL, A. Augmented Learning on Anticipating Textbooks with Eye Tracking. In: Zlatkin-troitschanskaia, O.; Wittum G.; Dengel, A. (eds.), *Positive Learning in the Age of Information*. Wiesbaden: Springer VS, 2018. p. 387-398.
- JEWITT, C. Multimodality and literacy in school classrooms *Review of Research in Education*, v. 32, p. 241-267, 2008.

- JIAN, Y. C. Fourth graders' cognitive processes and learning strategies for reading illustrated biology texts: eye movement measurements. *Reading Research Quarterly*, v. 51, n. 1, 93-109, 2016.
- KARAM, R. A. S.; PIETROCOLA, M. Habilidades técnicas versus habilidades estruturantes: resolução de problemas e o papel da Matemática como estruturante do pensamento físico. *Alexandria Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, v. 2, n. 2, p. 181-205, 2009.
- KARAM, R. A. S. *Estruturação matemática do pensamento físico no ensino: uma ferramenta teórica para analisar abordagens didáticas*. Tese (Doutorado) - Faculdade de Educação, USP, São Paulo, 2012.
- KARAM, R. A. S. O que diferencia as Feynman Lectures de livros tradicionais? *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 40, n. 4, 2018.
- KRESS, G. *Literacy in the new media age*. London: Routledge, 2003.
- KRESS, G. What is mode? In: Carey, J. (Ed.). *The Routledge handbook of multimodal analysis*. New York: Routledge, 2009. p. 54-67.
- KRESS, G. *Multimodality: a social semiotic approach to contemporary communication*. New York: Routledge, 2010.
- KRESS, G.; BEZEMER, J. Escribir em um mundo de representación multimodal. In: Kalman, J. e Street, B. V. (coords) *Lectura, escritura y matemáticas como prácticas sociales: diálogos con América Latina*. México: Siglo XXI, 2009, p. 64-83.
- KRESS, G.; JEWITT, C.; OGBORN, J.; TSATSARELIS, C. *Multimodal teaching and learning: the rhetorics of the science classroom*. London: Continuum, 2001.
- KRESS, G.; VAN LEEUWEN, T. *Reading images: the grammar of visual design*. 2nd ed. London: Routledge, 2006.
- LATOUR, B. e WOOLGAR, S. *A vida de Laboratório: a produção dos fatos científicos*. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 1997.
- LEMKE, J. L. Multiplying meaning: visual and verbal semiotics in scientific text. In: Martin, J. R.; Veal, R. *Reading science: critical and functional perspectives on discourses of science*. London: Routledge, 1998, p. 87-113.
- LIMA, N. W.; JUNIOR, E. A.; OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. Interpretações do fóton em livros didáticos do Ensino Superior. *Atas do XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*. Florianópolis, Julho, 2017.
- LIMA, N. W.; NASCIMENTO, M. M.; CAVALCANTI, C. J.; OSTERMANN, F. Louis de Broglie's wave-particle duality: from textbooks' blackboxes to a chain of reference presentation. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 42, e20190134, 2020.
- LOPES, D. C. J. R. Análise da multimodalidade em livros didáticos de Biologia e contribuição para a prática docente. Dissertação (Mestrado) – PUCMG, Belo Horizonte, 2010.
- MARTINS, I. Analisando livros didáticos na perspectiva dos estudos do discurso: compartilhando reflexões e sugerindo uma agenda para a pesquisa. *Pro-Posições*, v. 17, n. 1, p. 117-136, 2006.
- MASON, L.; TORNATORA, M. C.; PLUCHINO, P. Do fourth graders integrate text and picture in processing and learning from an illustrated science text? Evidence from eye-movement patterns. *Computers & Education*, v. 60, p. 95-109, 2013.
- MATON, K. *Knowledge and knowers: towards a realist sociology of education*. New York: Routledge, 2014.

- MENDONÇA, R. J., CAMPOS, A. F., JÓFILI, Z. M. S. O conceito de Oxidação-Redução nos livros didáticos de Química Orgânica do Ensino Médio. *Química Nova na Escola*, n. 20, p. 45-48, 2004.
- MORO, L.; MORTIMER, E. F.; QUADROS, A. L.; COUTINHO, F. A.; SILVA, P. S.; PEREIRA, R. R.; SANTOS, V. C. Influência de um terceiro modo semiótico na gesticulação de uma professora de Química. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 15, n. 1, p. 9-32, 2015.
- MORO, L.; MORTIMER, E. F.; TIBERGHIE, A. O papel da multimodalidade e da ação conjunta na descrição de práticas de ensino: relato de dois casos envolvendo professores experientes. In: MORTIMER, E. F. e QUADROS, A. L. (org.) *Multimodalidade no Ensino Superior*. Ijuí: Unijuí, 2018.
- MORTIMER, E. F. e QUADROS, A. L. (org.) *Multimodalidade no Ensino Superior*. Ijuí: Unijuí, 2018.
- NUSSENZVEIG, M. *Curso de Física Básica – Mecânica*. 4ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2002.
- O'HALLORAN, K. *Mathematical Discourse: Language, Symbolism and Visual Images*. London: Continuum, 2005.
- ORQUIN, J. L.; HOLMQVIST, K. Threats to the validity of eye-movement research in psychology. *Behavior Research Methods*, v. 50, n. 4, p. 1645-1656, 2018.
- OTERO, M. R.; GRECA, I. M. Las imágenes em los textos de física: entre el optimismo y la prudência. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 21, n.1, p. 5-64, 2004.
- PARODI, G. University genres and multisemiotic features accessing specialized knowledge through disciplinaryity. *Fórum Linguístico*, v. 9, n. 4, p. 259-282, 2012.
- PATRICK, M. D.; CARTER, G.; WIEBE, E. N. Visual Representations of DNA Replication: Middle Grades Students' Perceptions and Interpretations. *Journal of Science Education and Technology*, v. 14, n. 3, p. 353-365, 2005.
- PERALES, F. J.; JIMÉNEZ, J. D. Las ilustraciones em la enseñanza-aprendizaje de las ciencias: análisis de libros de texto. *Enseñanza de las ciencias*, v. 20, n. 3, p. 396-386, 2002.
- PIETROCOLA, M. A matemática como estruturante do conhecimento físico. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 19, n. 1, p. 89-109, 2002.
- RAYNER, K.; CHACE, K. H.; SLATTERY, T. J.; ASHBY, J. Eye movements as reflections of comprehension processes in reading. *Scientific Studies of Reading*, v. 10, n. 3, p. 241-255, 2006.
- RAYNER, K. Eye movements and attention in reading, scene perception, and visual research. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, v. 62, n. 8, p. 1457-1506, 2009.
- REDISH, E. F. Problem Solving and the use of math in physics courses. *Proceedings of World View on Physics Education in 2005: Focusing on Change*, Delhi, August 21-26, 2005. Disponível em <http://www.physics.umd.edu/perg/papers/redish/IndiaMath.pdf>. Acessado em Janeiro de 2020.
- REGO, S. C.; GOUVÊA, G. Imagens na disciplina escolar Física: possibilidades de leitura. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 18, n.1, p. 127-142, 2013.
- ROTH, W. M.; POZZERARDENGI, L.; HAN, J. Y. *Critical Graphicacy: understanding visual representation*. Dordrecht: Springer, 2005.
- SEARS, F.; ZEMANSKY, M.; YOUNG, H. *Física 1 – Mecânica da partícula e dos corpos rígidos*. Trad. José de Lima Accioli. 2ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 1985.

SHAH, P.; HOFFNER, J. Review of graph comprehension research: implications for instruction. *Educational Psychology Review*, v. 14, n. 1, 2002.

SILVA, A. C. T.; MORTIMER, E. F. Caracterizando estratégias enunciativas em uma sala de aula de química: aspectos teóricos e metodológicos em direção à configuração de um gênero do discurso. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 15, n.1, p. 121-153, 2010.

SILVA, C. F.; MARTINS, M. I. A iconicidade em livros didáticos de Física. In: *Atas XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*. Curitiba, Outubro, 2008.

SUSAC, A; BUBIC, A; PLANINIC, M; MOVRE, M.; PALMOVIC, M. Role of diagrams in problem solving: an evaluation of eye-tracking parameters as a measure of visual attention. *Physical Review Physics Education Research*. v. 15, n. 1, p. 013101-1 to 013101-6, 2019.

TATLER, B. W. Eye Movements from Laboratory to Life. In: Horsley, M.; Eliot, M.; Knight, B. A.; Reilly, R. (eds), *Current Trends in Eye Tracking Research*, Switzerland: Springer, 2011, (pp. 287-296).

TIBERGHEN, A. Designing teaching situations in secondary school. In: Millar, R.; Leach, J.; Osborne, J. (eds), *Improving science education: the contribution of research*. Buckingham: Open University Press, 2000, p. 27-47.

USBERCO, J. e SALVADOR, E. *Química*, vol. 1. São Paulo: Saraiva, 2009.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. Física I – mecânica. Trad. Sonia Midori; Rev. Téc. Adir Moyses. 12 ed. São Paulo: Addison Wesley, 2008.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. Física III – eletromagnetismo. Trad. Sonia Midori; Rev. Téc. Adir Moyses. 12 ed. São Paulo: Addison Wesley, 2009.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. Física III: eletromagnetismo. Trad. Lucas Pilar e Daniel Vieira; Rev. Téc. Adir Moyses. 14 ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2015.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. Física IV: ótica e física moderna. Trad. Daniel Vieira; Rev. Téc. Adir Moyses. 14 ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

ZHAO, F.; SCHNOTZ, W.; WAGNER, I.; GASCHLER, R. Eye Tracking Indicators of Reading Approaches in Text-Picture Comprehension. *Frontline Learning Research*, v. 6, p. 2295-3159, 2014.

Apêndice A – Páginas do livro usado na pesquisa

148 FÍSICA I

Nessas equações usamos as relações $a_{1y} = 0$ (o cavaleiro não acelera verticalmente) e $a_{1x} = a_{2y} = a$ (os dois objetos possuem o mesmo módulo de aceleração).

A equação x para o cavaleiro e a equação para o peso de laboratório fornecem duas equações simultâneas envolvendo as variáveis-alvo T e a :

$$\text{Cavaleiro} \quad T = m_1 a$$

$$\text{Peso de laboratório: } m_2 g - T = m_2 a$$

Somando-se essas equações, podemos eliminar T e obtemos

$$m_2 g = m_1 a + m_2 a = (m_1 + m_2) a$$

de modo que o módulo da aceleração de cada corpo é

$$a = \frac{m_2}{m_1 + m_2} g$$

Substituindo esse valor na primeira equação (para o cavaleiro), obtemos

$$T = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} g$$

AVALIAR: a aceleração é menor do que g , como era esperado; o peso de laboratório acelera mais lentamente porque a tensão do fio o puxa de volta.

Vemos que a tensão T não é igual ao peso $m_2 g$ da massa m_2 , sendo, porém, menor do que o peso por um fator de $m_1/(m_1 + m_2)$. Caso T fosse igual ao peso $m_2 g$, então o peso de laboratório estaria em equilíbrio, mas não está.

ATENÇÃO Tensão e peso podem ser diferentes É um erro comum supor que, para um objeto preso a um fio vertical, a tensão no fio deve ser igual ao peso do objeto. Foi esse o caso no Exemplo 5.5, no qual a aceleração era zero, mas isso certamente estaria errado neste exemplo! A única abordagem segura é sempre tratar a tensão como uma variável, como fizemos aqui.

Para finalizar, vamos verificar alguns casos especiais. Se $m_1 = 0$, então o peso de laboratório deveria estar em queda livre e não haveria nenhuma tensão no fio. As equações fornecem $T = 0$ e $a = g$ quando $m_1 = 0$. Quando $m_2 = 0$, esperamos que não exista nenhuma aceleração nem tensão no fio; nesses casos as equações fornecem $T = 0$ e $a = 0$.

Teste sua compreensão da Seção 5.2 Suponha que você segure o cavaleiro do Exemplo 5.12, de modo que ele e o peso estejam inicialmente em repouso. Você dá um empurrão para a esquerda no cavaleiro (Figura 5.15a) e depois o solta. O fio permanece esticado enquanto o cavaleiro se move para a esquerda, pára instantaneamente e, a seguir, move-se para a direita. No instante em que o cavaleiro possui velocidade zero, qual é a tensão no fio? i) maior que no Exemplo 5.12; ii) igual ao Exemplo 5.12; iii) menor que no Exemplo 5.12, mas maior que zero; iv) igual a zero. ■

5.3 Forças de atrito

Vimos diversos problemas nos quais o corpo fica em repouso ou desliza sobre superfícies que exercem forças sobre ele. Quando dois corpos interagem por contato (toque) direto entre suas superfícies, tratamos essa interação como *força de contato*. A força normal é um exemplo de força de contato; nesta seção, examinaremos outra força de contato, que é a força de atrito.

O atrito é importante em muitos aspectos de nossa vida cotidiana. O óleo no motor de um automóvel minimiza o atrito entre as partes móveis, porém, não fosse o atrito entre os pneus do carro e o solo, não poderíamos dirigir um carro nem fazer curvas. O arraste do ar — a força de atrito exercida pelo ar sobre um corpo que nele se move — faz aumentar o consumo de combustível de um carro, mas possibilita o uso do pára-quadras. Sem atrito, os pregos pulariam facilmente, os bulbos das lâmpadas se desenroscariam sem nenhum esforço e o hóquei no gelo seria impraticável (Figura 5.16).

Atrito estático e atrito cinético

Quando você tenta deslocar ao longo do solo uma pesada caixa cheia de livros, não consegue movê-la, a menos que aplique uma força superior a um certo valor mínimo. Depois que a caixa começa a se mover, normalmente você consegue mantê-la em movimento com uma força menor do que a aplicada para iniciar o movimento. Se você retira alguns livros da caixa, precisa fazer uma força menor tanto para começar o movimento quanto para mantê-lo. Quais as conclusões gerais que podemos extrair desse comportamento?

Primeiramente, quando um corpo está em repouso ou desliza sobre uma superfície, podemos sempre decompor as forças de contato em componentes perpendiculares e paralelos à superfície (Figura 5.17). Chamamos o vetor componente perpendicular à superfície de força normal e



Figura 5.16 A prática do hóquei no gelo depende decisivamente do atrito entre os patins do jogador e o gelo. Quando o atrito é muito elevado, o jogador se locomove muito lentamente; quando o atrito é muito pequeno, o jogador dificilmente evita sua queda.

a representamos por \vec{n} . O vetor componente paralelo à superfície (e perpendicular a \vec{n}) é a **força de atrito**, representada por \vec{f} . Caso as superfícies em contato não possuam atrito, \vec{f} é igual a zero, mas ainda existe uma força normal. (Superfícies sem atrito são idealizações inatingíveis, como uma corda sem massa. Mas podemos assim considerá-las, quando o atrito for suficientemente pequeno.) O sentido da força de atrito é sempre contrário ao sentido do movimento relativo entre as duas superfícies.

As forças de atrito e normal são, na verdade, componentes de uma única força de contato.

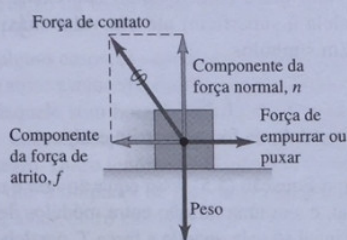


Figura 5.17 Quando um bloco é empurrado ou puxado ao longo de uma superfície, esta exerce uma força de contato sobre o bloco.

O tipo de atrito que atua quando um corpo está deslizando sobre uma superfície denomina-se **força de atrito cinético** \vec{f}_c . O adjetivo ‘cinético’ e o índice inferior ‘c’ servem para lembrar que existe um movimento relativo entre as duas superfícies. O *módulo* da força de atrito cinético geralmente cresce quando a força normal cresce. Por isso, você realiza uma força maior para arrastar uma caixa cheia de livros do que para arrastá-la quando ela está vazia. Esse princípio também é usado no sistema de freio de um carro: quanto mais as pastilhas de freio são comprimidas contra o disco de freio, maior é o efeito da freada. Em muitos casos, verifica-se experimentalmente que o módulo da força de atrito cinético f_c é *proporcional* ao módulo n da força normal. Em tais casos, podemos representar a relação pela equação

$$f_c = \mu_c n \quad (5.5)$$

(módulo da força de atrito cinético)

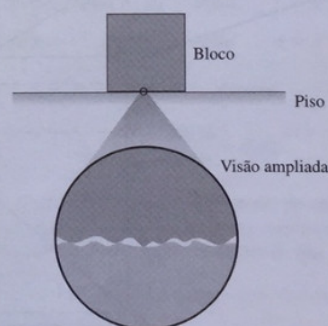
onde μ_c (pronuncia-se: “mi, índice c”) possui um valor constante denominado **coeficiente de atrito cinético**. Quanto mais deslizante for uma superfície, menor será o seu coeficiente de atrito. Como se trata da razão entre duas grandezas, μ_c é um número puro sem unidades.

ATENÇÃO Forças de atrito e normal são sempre perpendiculares. Lembre-se de que a Equação (5.5) não é uma equação vetorial porque \vec{f}_c e \vec{n} são sempre perpendiculares. Em vez disso, representa uma relação escalar entre os módulos das duas forças.

Tabela 5.1 Valores aproximados dos coeficientes de atrito

Materiais	Coefficiente de Atrito Estático, μ_s	Coefficiente de Atrito Cinético, μ_c
Aço com aço	0,74	0,57
Alumínio com aço	0,61	0,47
Cobre com aço	0,53	0,36
Latão com aço	0,51	0,44
Zinco com ferro doce	0,85	0,21
Cobre com ferro doce	1,05	0,29
Vidro com vidro	0,94	0,40
Cobre com vidro	0,68	0,53
Teflon® com Teflon®	0,04	0,04
Teflon® com aço	0,04	0,04
Borracha com concreto (seco)	1,0	0,8
Borracha com concreto (úmido)	0,30	0,25

A Equação (5.5) é apenas uma representação aproximada de um fenômeno muito complexo. Em nível microscópico, a força de atrito e a força normal decorrem de interações intermoleculares (fundamentalmente de natureza elétrica) entre duas superfícies rugosas nos pontos onde elas se tocam (Figura 5.18). À medida que um bloco desliza sobre um piso, ligações microscópicas se formam e se rompem, e o número total dessas ligações é variável; portanto, a força de atrito cinético não é rigorosamente constante. Alisar as superfícies em contato pode, na verdade, aumentar o atrito, visto que mais moléculas se tornam aptas a formar ligações; juntar duas superfícies lisas de um mesmo metal pode produzir uma ‘solda a frio’. Os óleos lubrificantes fazem diminuir o atrito porque uma película de óleo se forma entre as duas superfícies (como no caso do pistão e das paredes do cilindro no motor de um carro), impedindo-as de entrar em contato efetivo.



Em nível microscópico, até as superfícies lisas são ásperas: elas tendem a prender e a tomarem-se aderentes.

Figura 5.18 A força de atrito e a força normal decorrem de interações entre moléculas nos pontos mais elevados das superfícies de contato entre o bloco e o piso.

A Tabela 5.1 mostra alguns valores típicos de μ_c . Embora esses valores sejam dados com dois algarismos significativos, eles são apenas aproximados, visto que forças de atrito cinético podem depender da velocidade do corpo em relação à superfície. Vamos ignorar esses efeitos e supor que μ_c e f_c sejam independentes da velocidade, de modo que possamos nos concentrar nos casos mais simples. A Tabela 5.1 também apresenta valores do coeficiente de atrito estático, que será definido mais adiante.

A força de atrito também pode atuar quando *não* existe movimento relativo. Quando você tenta arrastar uma caixa cheia de livros, ela pode não se mover porque o solo exerce uma força igual e contrária. Essa força denomina-se **força de atrito estático** \vec{f}_s . Na Figura 5.19 a, a caixa está em repouso, equilibrada pela ação do peso \vec{p} e pela força normal \vec{n} , exercida de baixo para cima pelo solo sobre a caixa, que possui o mesmo módulo do peso ($n = p$). Agora amarramos uma corda na caixa (Figura 5.19b) e aumentamos gradualmente a tensão T na corda. No início, a caixa permanece em repouso porque, à medida que T cresce, a força de atrito estático f_s também cresce (permanecendo com o mesmo módulo de T).

Em dado ponto, T torna-se maior do que o máximo valor da força de atrito estático f_s que a superfície pode exercer. Então a caixa 'quebra o vínculo' (a tensão é capaz

de quebrar as ligações moleculares entre as superfícies da caixa e do solo) e começa a deslizar. A Figura 5.19c mostra um diagrama das forças quando T atinge esse valor crítico. Quando T supera esse valor, a caixa não está mais em equilíbrio. Para um dado par de superfícies, o valor máximo de f_s depende da força normal. A experiência mostra que esse valor máximo ($f_{s,\text{máx}}$) é aproximadamente *proporcional* a n ; chamamos o fator de proporcionalidade de μ_s de **coeficiente de atrito estático**. Na Tabela 5.1 são apresentados alguns valores típicos de μ_s . Em uma situação particular, a força de atrito estático pode ter qualquer valor entre zero (quando não existe nenhuma outra paralela à superfície) até um valor máximo dado por $\mu_s n$. Em símbolos,

$$f_s \leq \mu_s n \quad (5.6)$$

(módulo da força de atrito estático)

Como a Equação (5.5), essa equação *não* é uma relação vetorial, e sim uma relação entre módulos de vetores. O sinal de igual só vale quando a força T , paralela à superfície, atingiu seu valor crítico e o movimento está na iminência de começar (Figura 5.19c). Quando T for menor do que esse valor (Figura 5.19b), o sinal da desigualdade é válido. Nesse caso é necessário usar a condição de equilí-

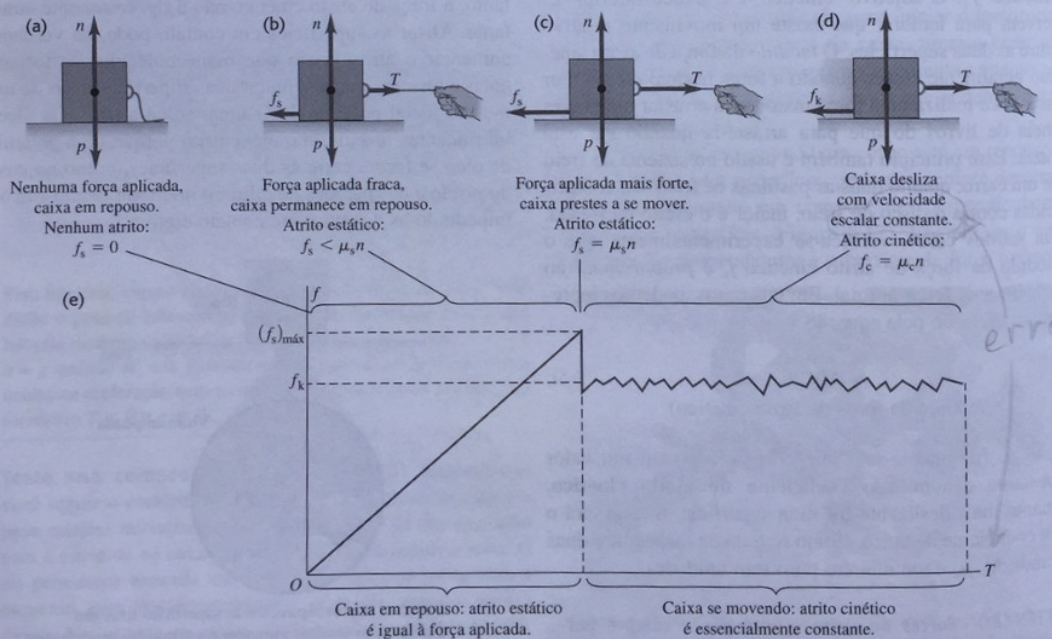


Figura 5.19 (a), (b), (c) Quando não existe movimento relativo entre as superfícies, o módulo da força de atrito estático f é menor do que ou igual a $\mu_s n$. (d) Quando existe movimento relativo, o módulo da força de atrito cinético f_c é igual a $\mu_c n$. (e) Um gráfico do módulo f da força de atrito em função do módulo T da força aplicada T . A força de atrito cinética varia um pouco à medida que as ligações intermoleculares se formam e se rompem.

brio ($\sum \vec{F} = 0$) para achar f_s . Quando não existe nenhuma força aplicada ($T = 0$), como na Figura 5.19a, então também não existe nenhuma força de atrito estático ($f_s = 0$).

Logo que o deslizamento começa (Figura 5.19d), a força de atrito normalmente *diminui*; manter a caixa deslizando é mais fácil do que produzir o início do movimento. Portanto, o coeficiente de atrito cinético é geralmente *menor* do que o coeficiente de atrito estático para um dado par de superfícies, conforme mostra a Tabela 5.1. Quando começamos sem nenhuma força aplicada ($T = 0$) e gradualmente aumentamos a força, ocorrerá uma pequena variação da força de atrito, conforme indicado na Figura 5.19e.

Em alguns casos, as superfícies podem alternadamente aderir (atrito estático) e deslizar (atrito cinético). Essa é a causa daquele som horrível feito pelo giz quando ele é colocado numa posição errada ao escrevermos sobre o quadro-negro. Outro fenômeno de aderência-deslizamento é o ruído que o limpador de pára-brisa faz quando o vidro está seco; ainda outro exemplo é o violento som produzido quando os pneus deslizam no asfalto. Um exemplo mais positivo é produzido pelo arco de um violino deslizando sobre a corda.

Quando um corpo desliza sobre uma camada de gás, o atrito pode se tornar muito pequeno. No trilho de ar linear usado em laboratórios de física, os cavaleiros são sustentados sobre uma camada de ar. A força de atrito depende da velocidade, porém para velocidades usuais, o coeficiente de atrito efetivo é da ordem de 0,001.

Exemplo 5.13

ATRITO EM UM MOVIMENTO HORIZONTAL Você está tentando mover um engradado de 500 N sobre um piso plano. Para iniciar o movimento, você precisa aplicar uma força horizontal de módulo igual a 230 N. Depois da 'quebra do vínculo' e de iniciado o movimento, você necessita apenas de 200 N para manter o movimento com velocidade constante. Qual é o coeficiente de atrito estático e o coeficiente de atrito cinético?

SOLUÇÃO

IDENTIFICAR: tanto o estado de repouso quanto o estado em que o corpo se move com velocidade constante são estados de equilíbrio, logo podemos usar a primeira lei de Newton expressa pelas Equações (5.2). Também necessitaremos das relações expressas nas equações (5.5) e (5.6), para achar as variáveis-alvo μ_s e μ_c .

PREPARAR: seja qual for a situação, há quatro forças atuando sobre o engradado: a força do peso de cima para baixo (módulo $p = 500$ N), a força normal de baixo para cima (módulo n) exercida pelo piso, uma força de tensão (módulo T) para a direita, exercida pela corda e uma força de atrito para a esquerda, exercida pelo piso. As figuras 5.20a e 5.20b mostram nosso desenho e o diagrama do corpo livre para o instante imediatamente anterior ao início do movimento, quando a força de atrito estático possui o seu valor máximo ($f_s)_{\text{máx}} = \mu_s n$. Quando a caixa está se

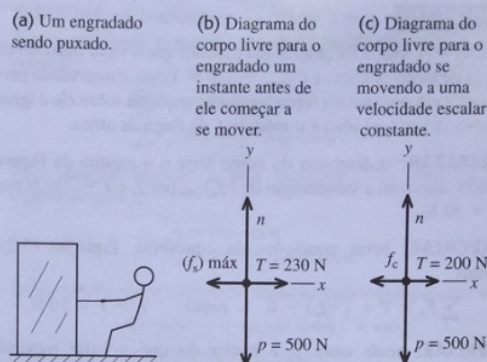


Figura 5.20 Nossos desenhos para esse problema.

movendo para a direita com velocidade constante, a força de atrito se transforma na força cinética (Figura 5.20c). Como a corda na Figura 5.20a está em equilíbrio, a tensão é a mesma em ambas as extremidades. Logo, a força de tensão que a corda exerce sobre o engradado possui o mesmo módulo que a força que você exerce sobre a corda.

EXECUTAR: um instante antes de o engradado começar a se mover (Figura 5.20b), temos

$$\begin{aligned} \sum F_x = T + (-f_s)_{\text{máx}} &= 0 & \text{então} & \quad (f_s)_{\text{máx}} = T = 230 \text{ N} \\ \sum F_y = n + (-p) &= 0 & \text{então} & \quad n = p = 500 \text{ N} \end{aligned}$$

Então usamos a Equação (5.6), $(f_s)_{\text{máx}} = \mu_s n$, para achar o valor de μ_s :

$$\mu_s = \frac{(f_s)_{\text{máx}}}{n} = \frac{230 \text{ N}}{500 \text{ N}} = 0,46$$

Depois que o engradado começa a se mover, e as forças são indicadas como na Figura 5.20c, achamos

$$\begin{aligned} \sum F_x = T + (-f_c) &= 0 & \text{então} & \quad f_c = T = 200 \text{ N} \\ \sum F_y = n + (-p) &= 0 & \text{então} & \quad n = p = 500 \text{ N} \end{aligned}$$

Usando $f_c = \mu_c n$, da Equação (5.5), obtemos

$$\mu_c = \frac{f_c}{n} = \frac{200 \text{ N}}{500 \text{ N}} = 0,40$$

AVALIAR: é mais fácil manter o movimento do engradado com velocidade constante do que iniciar o seu movimento, de modo que o coeficiente de atrito cinético é menor do que o coeficiente de atrito estático.

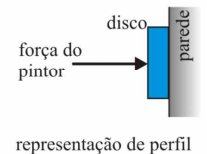
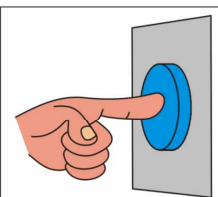
Exemplo 5.14

O ATRITO ESTÁTICO PODE SER MENOR QUE O VALOR MÁXIMO No Exemplo 5.13, qual é a força de atrito se o engradado está em repouso sobre uma superfície e uma força horizontal de 50 N é aplicada sobre ele?

Questão 4 – Na Figura 5.17 da página 149 foram representadas as forças, normal e atrito, que uma superfície exerce sobre um bloco. De acordo com a 3ª Lei de Newton, o bloco também exerce forças sobre a superfície.

Considere a situação em que um pintor deseja desenhar um círculo em uma parede. Ele empurra um disco de madeira contra a parede, exercendo uma força perpendicular ao disco. A força é suficiente para manter o disco parado.

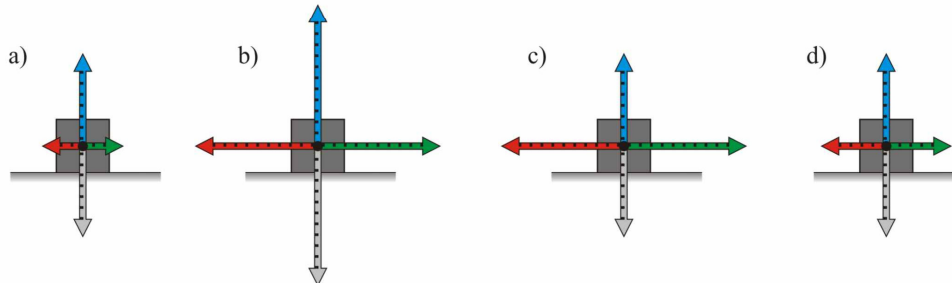
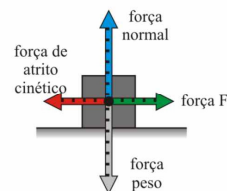
Nas alternativas estão representados a parede e o disco. Escolha a alternativa que melhor representa as forças que o disco exerce sobre a parede. Clique sobre a alternativa escolhida.



Questão 5 – Em um laboratório de física foi realizado o seguinte experimento para se estudar o atrito. Um bloco de aço foi puxado por uma força F , com velocidade constante, sobre uma mesa de aço. Os valores das forças que atuaram sobre o bloco foram determinados. A figura ao lado mostra a representação dessas forças.

Em seguida as superfícies da mesa e do bloco foram polidas até se tornarem extremamente lisas. Logo em seguida repetiu-se o experimento de puxar o bloco.

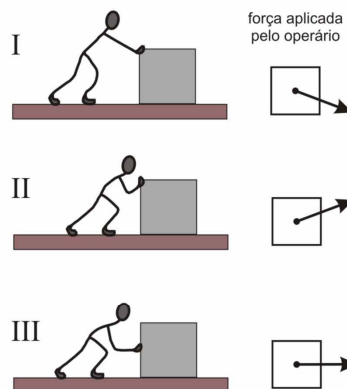
Para essa nova situação, de acordo com o texto, qual alternativa melhor representa as forças que atuam sobre o bloco. Clique sobre a alternativa escolhida.



Questão 6 – Um operário precisa arrastar uma caixa de peças pelo chão de uma fábrica para leva-la até o local de carregamento. Ele pode fazer isso de três formas, representadas na figura ao lado. Da forma I, forçando a caixa levemente para baixo; da forma II, forçando a caixa levemente para cima; da forma III, empurrando a caixa paralelamente ao chão. Para cada uma das situações está representada a direção e o sentido da força que o operário exerce sobre a caixa.

Sejam f_{CI} , f_{CII} e f_{CIII} os módulos das forças de atrito cinético que atuam sobre a caixa nas situações I, II e III, respectivamente.

Escolha a alternativa que mostra a relação correta entre os módulos das forças de atrito nas situações mostradas. Clique sobre a alternativa correta.



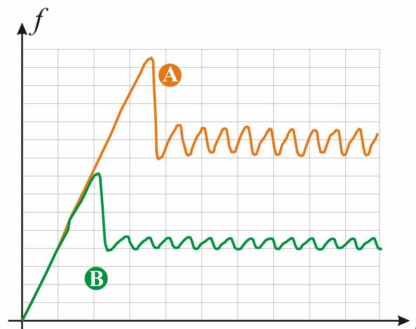
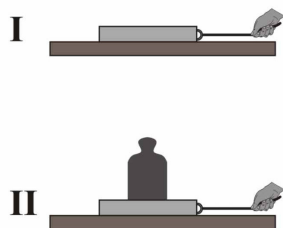
- a) $f_{CI} = f_{CIII} = f_{CII}$
 b) $f_{CI} < f_{CIII} < f_{CII}$
 c) $f_{CI} > f_{CIII} > f_{CII}$
 d) $f_{CI} = f_{CII} < f_{CIII}$

Questão 7 – Em certos trechos do texto são fornecidos exemplos de situações reais do mundo onde: 1) a presença do atrito é fundamental para a realização de certas atividades; 2) a diminuição do atrito é altamente desejável.

- a) Identifique 1 trecho do texto com exemplos de situações reais onde a presença do atrito é fundamental. Dê 1 clique no início do trecho e 1 clique no final.
 b) Identifique 1 trecho do texto com exemplos de situações reais onde se busca a redução do atrito. Dê 2 cliques no início do trecho e 2 cliques no final.

Questão 8 – Um experimento bastante tradicional em demonstrações sobre a força de atrito consiste em puxar um bloco sobre uma mesa, como representado na figura I, fazendo-o sair do repouso e se deslocar com velocidade constante. O experimento pode ser repetido adicionando massas sobre o bloco, como representado em II. Ao longo de todo o processo, mede-se a força com um sensor.

Considere que o gráfico a seguir mostra as curvas da força de atrito em função do tempo para um experimento como esse.

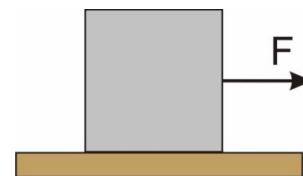


Qual das alternativas a seguir apresenta a correlação correta entre as figuras e as curvas do gráfico? Clique sobre a alternativa escolhida.

- a) I - A e II - B
 b) I - B e II - A

Apêndice C – Questões do teste realizado na folha impressa, sem o rastreamento ocular.

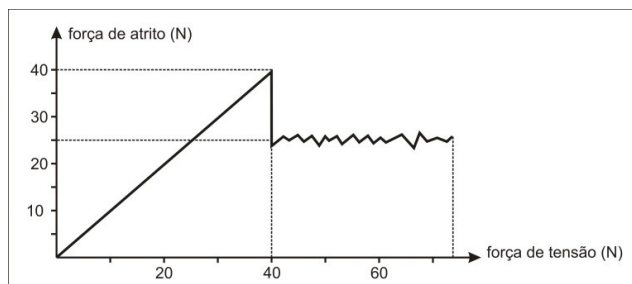
Questão 9 – A figura desse exercício representa uma caixa de peso igual a 225 N sob a ação de uma força $F = 126$ N. Na situação mostrada a caixa se encontra em repouso.



- Desenhe, na figura, a força de atrito que age sobre a caixa.
- Qual o valor dessa força de atrito? Dados: $\mu_s = 0,76$ e $\mu_c = 0,54$.

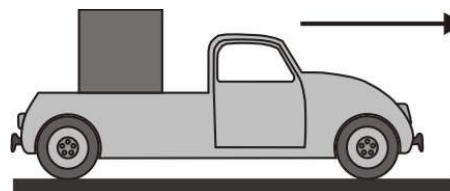
Questão 10 – O gráfico ao lado foi obtido em um experimento semelhante àquele representado na Figura 5.19, onde uma caixa de peso igual a 100 N foi puxada por uma força de tensão T .

Determine o valor do coeficiente de atrito cinético entre a superfície da caixa e o solo sobre o qual ela foi puxada.



Questão 11 – Os funcionários de uma loja colocaram um grande e pesado engradado sobre a carroceria de uma caminhonete (veja a figura abaixo). O motorista da caminhonete, desatento e muito apressado, arrancou o veículo sem amarrar o engradado. Felizmente nenhum acidente aconteceu, pois quando a caminhonete arrancou, no sentido indicado pela seta da figura, o engradado permaneceu em repouso em relação à carroceria devido à grande força de atrito que atuou entre as superfícies.

Represente, na figura abaixo, todas as forças que estavam atuando sobre o engradado no momento da arrancada. Nomeie cada força representada.



Apêndice D – Perguntas que nortearam as entrevistas.

Professor

0 – Fale um pouco sobre sua experiência como docente: instituições em que já deu aula, há quanto tempo leciona, se leciona mais na graduação ou na pós, se leciona física geral, etc.

1 – Você utiliza livros didáticos quando leciona as disciplinas de Física Geral? Descreva o tipo de uso que faz: retirar exercícios, planejar a aula, usar a sequência de apresentação do conteúdo etc.

2 – Você incentiva seus alunos a utilizar o livro didático? Em que situações: leitura anterior à aula, aprofundamento de estudos, resolução de exercícios etc?

3 – O texto do livro didático de Física é geralmente composto por texto verbal e diversos elementos não verbais como gráficos, figuras, esquemas, diagramas e expressões algébricas.

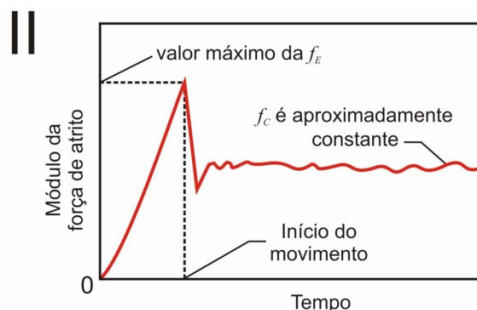
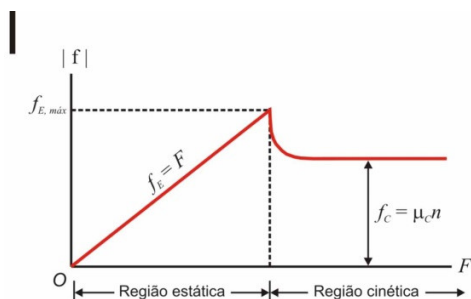
- Você acha que o estudante lida com todos esses elementos de forma natural ou ele encontra algum tipo de dificuldade?
- Você percebe que algum desses elementos é mais difícil de ser apropriado pelo estudante? Você tem alguma possível explicação?
- Diante de possíveis dificuldades enfrentadas pelos estudantes, você orienta seus alunos sobre como ler os textos dos livros didáticos que utiliza? Como você explora em suas aulas os elementos não verbais, como gráficos, figuras, diagramas, esquemas e expressões algébricas, presentes nos livros texto que utiliza?

4 – Ao ler o texto de um livro didático você utiliza uma estratégia específica, ou segue basicamente as orientações do autor do texto? Por exemplo, olha os diagramas primeiro e depois vai ao texto, ou vai à figura quando o texto o orienta a fazê-lo.

5 – Sobre o texto lido, você tem críticas a fazer quanto aos elementos usados em sua composição e/ou à diagramação?

6 – As duas figuras a seguir foram retiradas de livros didáticos de Física para o Ensino Superior. Ambas de seções destinadas à abordagem das forças de atrito.

Fale sobre as semelhanças e diferenças que você observa nessas figuras. (Que especificidades cada uma delas apresenta em relação ao fenômeno do atrito?). Como você explicaria a existência das irregularidades do gráfico II para um estudante?

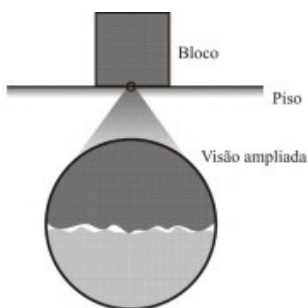
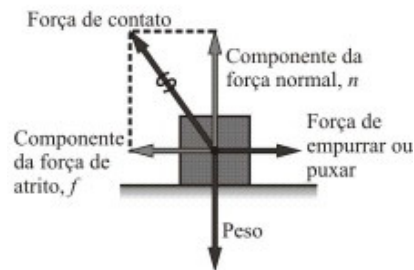


7 – Na Física é muito comum o uso do símbolo de igualdade (=) para relacionar as grandezas representadas nos dois lados de uma equação, como por exemplo em $F = ma$. No entanto, a equação que fornece o módulo da força de atrito estático utiliza um sinal pouco comum: $f_s \leq \mu_s n$. Como você explicaria para seus alunos porque é necessário usar esse sinal nesse caso.

8 – Observe cada uma das representações utilizadas pelo autor para a abordagem das forças de atrito no texto que acabou de ler. Para você, que informações cada uma delas comunica para o leitor?



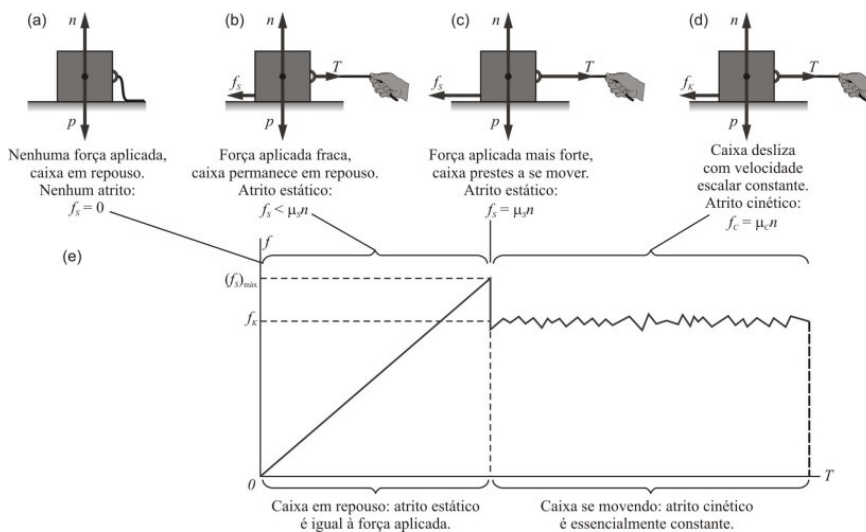
As forças de atrito e normal são, na verdade, componentes de uma única força de contato.



Em nível microscópico, até as superfícies lisas são ásperas: elas tendem a prender e a tornarem-se aderentes.

Tabela 5.1 Valores aproximados dos coeficientes de atrito

Material	Coefficiente de Atrito Estático, μ_s	Coefficiente de Atrito Cinético, μ_c
Aço com aço	0,74	0,57
Alumínio com aço	0,61	0,47
Cobre com aço	0,53	0,36
Latão com aço	0,51	0,44
Zinco com ferro doce	0,85	0,21
Cobre com ferro doce	1,05	0,29
Vidro com vidro	0,94	0,40
Cobre com vidro	0,68	0,53
Teflon® com Teflon®	0,04	0,04
Teflon® com aço	0,04	0,04
Borracha com concreto (seco)	1,0	0,8
Borracha com concreto (úmido)	0,30	0,25



9 – A Figura 5.19 é composta por vários modos: caixas com vetores, texto verbal, equações e gráfico. Na sua percepção, esses vários modos comunicam a mesma informação ou informações diferentes para o leitor do texto?

Para você, por que o autor utilizou todos esses modos em conjunto na composição dessa figura?

Estudante

1 – Que curso você faz? Em que período está? Você já cursou a disciplina de fundamentos de mecânica? Fale um pouco sobre sua experiência com o estudo da física e da mecânica (na universidade, no EM).

2 – Você costuma utilizar o livro didático? Descreva de que forma você o utiliza: para se aprofundar nos estudos, para resolver exercícios, para recorrer a exemplos resolvidos etc.

3 – Seus professores de Física utilizam o livro didático? Se sim, descreva as formas de uso: sugerir exercícios, organizar a sequência de conteúdos etc.

4 – Ao ler o texto de um livro didático você utiliza uma estratégia específica, ou segue basicamente as orientações do autor do texto? Por exemplo, olha as figuras primeiro e depois vai ao texto, ou vai à figura quando o texto o orienta a fazê-lo.

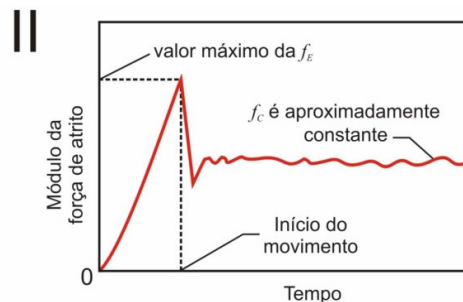
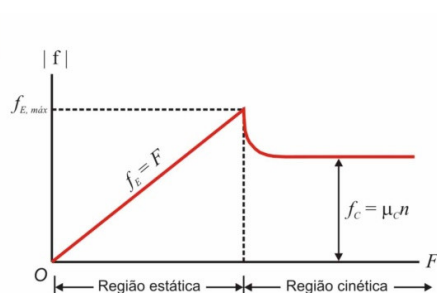
5 – O texto do livro didático de Física é geralmente composto por texto verbal e diversos elementos não verbais como gráficos, figuras, esquemas, diagramas e expressões algébricas.

(a) Você encontra dificuldades específicas em lidar com alguns desses elementos? Que tipo de dificuldade?

(b) Você atribui diferentes graus de importância a esses elementos ou todos eles são igualmente importantes?

6 – As duas figuras a seguir foram retiradas de livros didáticos de Física para o Ensino Superior. Ambas de seções destinadas à abordagem das forças de atrito.

Fale sobre as semelhanças e diferenças que você observa nessas figuras. (Que especificidades cada uma delas apresenta em relação ao fenômeno do atrito?). Você consegue fornecer uma explicação para a existência das irregularidades no gráfico II?

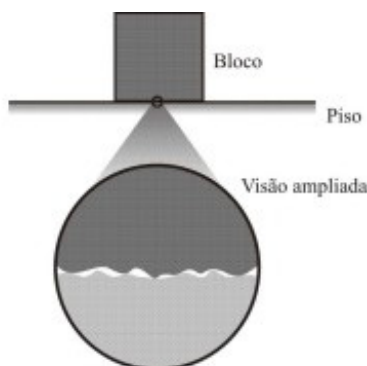
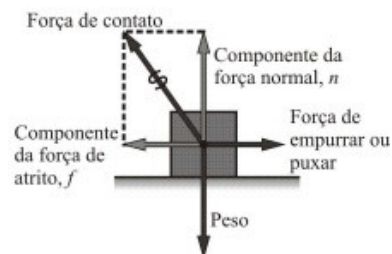


7 – Na Física é muito comum o uso do símbolo de igualdade (=) para relacionar as grandezas representadas nos dois lados de uma equação, como por exemplo, em $F = ma$. No entanto, a equação que fornece o módulo da força de atrito estático utiliza um sinal pouco comum: $f_s \leq \mu_s n$. Qual a sua explicação para a necessidade de usar esse sinal nessa equação?

8 – Observe cada uma das representações utilizadas pelo autor para a abordagem das forças de atrito no texto que acabou de ler. Para você, que informações cada uma delas comunica para o leitor?



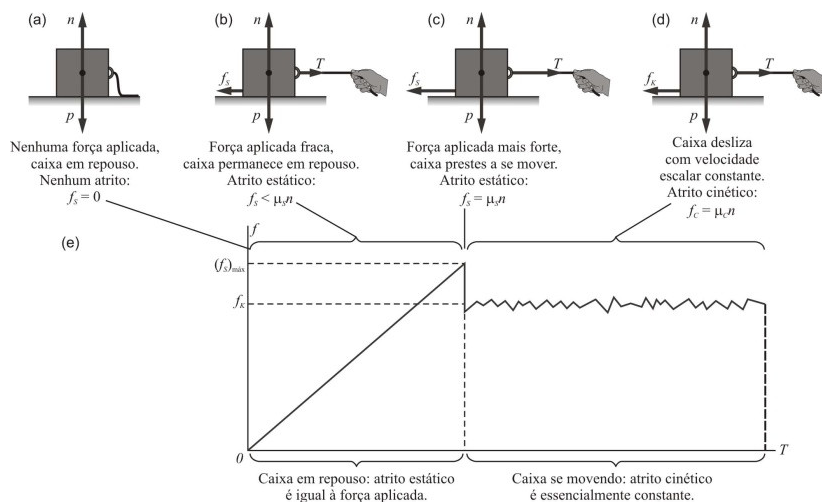
As forças de atrito e normal são, na verdade, componentes de uma única força de contato.



Em nível microscópico, até as superfícies lisas são ásperas: elas tendem a prender e a tornarem-se aderentes.

Tabela 5.1 Valores aproximados dos coeficientes de atrito

Materiais	Coefficiente de Atrito Estático, μ_s	Coefficiente de Atrito Cinético, μ_c
Aço com aço	0,74	0,57
Alumínio com aço	0,61	0,47
Cobre com aço	0,53	0,36
Latão com aço	0,51	0,44
Zinco com ferro doce	0,85	0,21
Cobre com ferro doce	1,05	0,29
Vidro com vidro	0,94	0,40
Cobre com vidro	0,68	0,53
Teflon® com Teflon®	0,04	0,04
Teflon® com aço	0,04	0,04
Borracha com concreto (seco)	1,0	0,8
Borracha com concreto (úmido)	0,30	0,25



9 – A Figura 5.19 é composta por vários modos de comunicação: caixas com vetores, texto verbal, equações e gráfico. Para você, esses vários modos comunicam a mesma informação, ou informações diferentes para o leitor do texto?

Você consegue fornecer uma possível explicação para o fato de terem sido utilizados pelo autor do texto todos esses modos na composição dessa figura?