

A Matemática como habilidade estruturante no contexto pedagógico, na experimentação e na modelagem em Física

Mathematics as a structuring skill in the pedagogical context, in the experimentation and in the modeling in Physics

Vlademir Fernandes de Oliveira Júnior
Instituto Federal de Educação de Rondônia (IFRO), Campus Porto Velho Calama, Docente do
Curso de Licenciatura em Física, Porto Velho, RO, Brasil

 <https://orcid.org/0000-0002-3921-4108>, vlademir.fernandes@ifro.edu.br


Antônio Marcos Barbosa Júnior
Instituto Federal de Educação de Rondônia (IFRO), Campus Porto Velho Calama, Licenciatura em
Física, Porto Velho, RO, Brasil

 <https://orcid.org/0000-0002-5504-1729>, junior.marcosbarbosa@hotmail.com

João Lucas Aguiar Chaves
Instituto Federal de Educação de Rondônia (IFRO), Campus Porto Velho Calama, Licenciatura em
Física, Porto Velho, RO, Brasil

 <https://orcid.org/0000-0002-9480-4709>, chaveslukasefatima@hotmail.com

Nícolas Relvas Feitoza
Instituto Federal de Educação de Rondônia (IFRO), Campus Porto Velho Calama, Licenciatura em
Física, Porto Velho, RO, Brasil

 <https://orcid.org/0000-0003-4271-2033>, nicolas2020nrf@gmail.com

Informações do Artigo

Como citar este artigo

OLIVEIRA JÚNIOR, Vlademir Fernandes de;
BARBOSA JÚNIOR, Antônio Marcos;
CHAVES, João Lucas Aguiar; FEITOZA,
Nícolas Relvas. A Matemática como
habilidade estruturante no contexto
pedagógico, na experimentação e na
modelagem em Física. **REMAT: Revista
Eletrônica da Matemática**, Bento
Gonçalves, RS, v. 7, n. 1, p. e2011, 30 jun.
2021. DOI:
<https://doi.org/10.35819/remat2021v7i1id4825>



Histórico do Artigo

Submissão: 30 de dezembro de 2020.
Aceite: 7 de maio de 2021.

Palavras-chave

Física-Matemática
Modelagem
Experimentação

Keywords

Mathematical-Physics
Modeling
Experimentation

Resumo

Este artigo apresenta uma discussão a respeito da Matemática como habilidade estruturante da Física. Apesar da importância do tema, o estágio atual da pesquisa na área ainda é limitado e de pouco efeito na realidade científica e acadêmica. Assim, o objetivo deste estudo foi analisar a Matemática como habilidade estruturante da Física. Procurou-se responder ao seguinte questionamento: como trabalhar a Matemática como habilidade estruturante no contexto pedagógico, na experimentação e na modelagem em Física? Para tanto, foi realizada uma pesquisa bibliográfica. Os resultados alcançados sugeriram que o tratamento dicotômico dos conceitos matemáticos e físicos seria antinatural, pois a inter-relação é o que fundamenta a correta formulação do fenômeno. Ademais, o trabalho efetivo da Matemática como habilidade estruturante passaria por sua utilização no contexto de pressupostos pedagógicos, seu uso na experimentação e, finalmente, no exercício da modelagem.

Abstract

This article presents a discussion about Mathematics as a structuring skill in Physics. Despite the importance of the subject, the current stage of research studies on the topic is still underdeveloped and has little effect on scientific and academic reality. Thus, the purpose of this study was to analyze

Mathematics as a structuring skill in Physics. The intention behind this study was to answer the following question: how to use Mathematics as a structuring skill in the pedagogical context, in experimental Mathematics and in mathematical models in Physics? In order to do that, a bibliographic research was carried out. The results suggested that the dichotomous treatment of mathematical and physical concepts was unnatural, since their interrelation is what grounds the correct formulation of the phenomenon. Furthermore, the effective function of Mathematics as a structuring skill covers its use in the context of pedagogical assumptions, in experimentation and, finally, in the exercise of Mathematical models.

1. Introdução

Não é novidade falar da importância da Matemática como linguagem para a expressão das ciências naturais, em especial da Física. Desde Galileu Galilei tem-se observado o desenvolvimento da ciência cada vez mais estruturada e embasada em uma metodologia que considera o raciocínio lógico, apurado e sistemático. Assim, coube à Matemática servir de veículo para a expressão desse raciocínio.

Entretanto, uma visão simplista da relação Física/Matemática pode apontar a Matemática como exercendo apenas uma função técnica, de mostrar os objetos, operações e sistemas fundamentais de seu formalismo, o que tem sido feito por algum tempo. No entanto, uma proposta mais ampla e que pode trazer melhor entendimento para a relação Física/Matemática em contextos científicos mostra o envolvimento de ambas de modo mais intrínseco e fundamental para o processo de racionalização e estruturação. Estamos falando da Matemática em sua condição de habilidade estruturante.

A capacidade de utilizar os saberes matemáticos para a estruturação de situações físicas é designada habilidade estruturante. Dessa forma, a Matemática está arraigada nos conceitos físicos; por exemplo, ela está encarnada na ciência com função mediadora e não constitui um anexo, um adendo. Assim, é possível afirmar que a Matemática como instrumento formal e técnico pode ser compreendida em outros contextos, entretanto essa Matemática como habilidade estruturante da Física não pode ser compreendida e aplicada independentemente (PIETROCOLA, 2010, p. 91).

Migrando a discussão para o ambiente educacional, esse entendimento deve justificar novas perspectivas para o ensino de disciplinas matemáticas nos cursos científicos e de licenciatura porque, apesar de os cursos científicos de nível superior refletirem a preocupação com o ensino da Matemática em seus currículos, falta o viés adequado pelo qual a disciplina se integraria, segundo Bronowski (1983), como linguagem de ideias.

Esse detalhe é essencial, pois pode ajudar a corrigir o pensamento de que o fracasso do estudante de Física, por exemplo, está simplesmente atrelado à falta de domínio matemático, ou seja, não se entende Física porque não se sabe Matemática. Assim, uma boa base matemática em anos precedentes garantiria bom rendimento no curso de Física (PIETROCOLA, 2002).

Dessa forma, é pertinente o questionamento: como trabalhar a Matemática como habilidade estruturante no contexto pedagógico, na experimentação e na modelagem em Física?

Foram analisadas algumas considerações teóricas (BUNGE, 1974, BRONOWSKI, 1983, PIETROCOLA, 2002; 2010, CAPECCHI; CARVALHO, 2006, KARAM; PIETROCOLA, 2009) visando evidenciar elementos da Matemática na perspectiva da habilidade estruturante.

Para tanto, utilizou-se a pesquisa bibliográfica, o que, de acordo com Gil (2008, p. 29), “tradicionalmente, esta modalidade de pesquisa inclui material impresso, como livros, revistas, jornais, teses, dissertações e anais de eventos científicos”. Ele ainda comenta: “A principal vantagem da pesquisa bibliográfica reside no fato de permitir ao investigador a cobertura de uma gama de fenômenos muito mais ampla do que aquela que poderia pesquisar diretamente” (GIL, 2008, p. 30).

2. Referencial teórico

2.1. Relação Física/Matemática

A principal colaboração da reflexão acerca da inter-relação Física/Matemática diz respeito, não ao papel que cada disciplina assume, mas à importância da simbiose procedente da relação entre elas. Nesse sentido, a Matemática não é considerada apenas uma ferramenta ou instrumento da Física, pois ela se constitui como elemento estruturante do raciocínio científico.

Assim, apresenta-se a Matemática como estrutura fundamental da natureza. A separação entre ambas, Física e Matemática, se dá apenas para fins de interpretação mais simplificada, sendo que a relação entre elas é natural e indissociável, tanto que a Matemática se torna basilar diante do método científico. Pietrocola (2002, p. 96) fala sobre a Matemática no contexto do método científico:

Dentro deste contexto, a importância da Matemática residiria na sua capacidade de descrição sintética, pela exatidão na apresentação dos resultados da investigação e pela possibilidade de comunicação universal sobre algo que se crê existir na própria realidade e pela precisão garantida pela sua estrutura lógico-formal. Estas funções lhe confeririam um papel muito importante no contexto das ciências experimentais, como ferramenta do método científico.

A estrutura do pensamento físico se dá por meio do desenvolvimento do pensamento matemático atrelado à forma como os fenômenos se desenvolvem, e podemos entender a Matemática como uma linguagem que possibilita que a Física expresse suas conclusões.

Nesse processo, a Matemática como linguagem empresta sua própria estruturação ao pensamento científico para compor os modelos físicos sobre o mundo. Estes são, em última instância, conceitos que se relacionam ao mundo, mediados pela experimentação (BUNGE, 1974).

Interessante é a inter-relação entre a evidência empírica e o modelo matemático porque, independentemente de como as ciências em geral trabalham, mesmo que haja evidência empírica

só há uma comprovação verdadeira após a elaboração de um modelo matemático sustentável que descreva pelo menos uma parte do problema. Diante disso, Pietrocola (2002, p. 97) afirma:

Desta forma, haveria dois momentos bem distintos na produção do conhecimento físico: a elaboração do questionamento via experimentação, seguida de uma descrição em linguagem matemática, buscando desvendar a estrutura do mundo.

Diante do citado e com base nos acontecimentos históricos, pode-se concluir que na maioria dos casos ocorre que, primeiramente, o fenômeno é observado e, depois, elabora-se um modelo matemático que descreva esse fenômeno observado. Isso parecia ser o padrão. Entretanto, em anos recentes, o contrário tem se tornado cada vez mais frequente, ocorrendo primeiramente a elaboração de um modelo; depois inicia-se uma empreitada em busca de observar o fenômeno descrito pelas conclusões matemáticas do modelo — exemplo dessa segunda possibilidade é o bóson de Higgs, que foi teorizado e proposto matematicamente em 1964 por Higgs, só sendo comprovado empiricamente em 2012 no Large Hadron Collider (LHC).

Na perspectiva didática, tal correlação é fundamental. É necessário, portanto, um olhar mais atento para saber como ensinar nesse contexto. “As suas eventuais soluções devem se apoiar em uma análise mais profunda sobre as relações que a Física mantém com a Matemática, que implicam posturas didático-pedagógicas completamente diferentes” (PIETROCOLA, 2002, p. 90).

É preciso um olhar com mais perícia e sutileza ao trabalhar a relação Física/Matemática. Frequentemente, à Matemática tem sido atribuída uma responsabilidade que, honestamente, pode ultrapassar sua jurisdição. Ou seja, pensou-se muito que uma boa dose de Matemática mais uma cobertura de conhecimento científico seriam suficientes para formar um cientista. Na escola ou na universidade, essa tendência pode ser vista em seus currículos.

Boa parte dos cursos básicos é dedicada à formação de uma sólida base matemática sobre a qual os conhecimentos físicos possam ser assentados. Pensando nas primeiras fases dos cursos universitários tradicionais (bacharelado e licenciatura), disciplinas eminentemente físicas partilham o grosso dos currículos com disciplinas de Matemática. (PIETROCOLA, 2002, p. 90).

Essa metodologia de “camadas” tem tido efeitos ruins, tanto para a Física quanto para a Matemática. Dessa forma, a Matemática tornou-se o pré-requisito, o objeto ou o instrumento da Física. Perde-se muito da amplitude e beleza da mesma, portanto. Por outro lado, a Física foi reduzida a uma abordagem formalista em que resolver exercícios fechados aplicando teorias prontas é o processo mais comum. A Física eminentemente experimental e observacional perdeu muito de sua investigação, de seu questionamento e formulação frente à natureza. Perde a Matemática, perde a Física!

Tanto no ensino básico quanto no ensino superior, essa questão representa um desafio, pois parece haver uma separação quase obrigatória. É possível exemplificar por meio das equações a seguir:

$$x = x_0 + v\Delta t$$

$$L = L_0 + L_0 \propto \Delta T$$

$$p = p_0 + \rho g \Delta h$$

Sem se preocupar com o significado dessas equações, pode-se interpretá-las apenas matematicamente e descrevê-las como “funções do primeiro grau”. Sabe-se, então, que independentemente do que significam, existem grandezas que variam linearmente, mas ao não saber em qual fenômeno as variáveis estão inseridas não é cabível dizer muito sobre o mesmo. O oposto também é válido, uma vez que apenas conhecer as variáveis envolvidas no fenômeno não é suficiente para entender seu comportamento e fazer previsões acerca dele.

Observam-se aqui três equações que tratam de fenômenos “diferentes”. A primeira é a equação da posição de um objeto se movendo à velocidade constante em função da variação do tempo; a segunda é o comprimento final de um material devido à variação de temperatura; e a terceira é a pressão em um fluido devida à variação de profundidade. Mas o que elas têm em comum, além de serem equações do primeiro grau? São apenas aproximações para os fenômenos relacionados.

A primeira equação é uma aproximação para velocidades muito menores que a da luz, ou seja: $v \ll c$. A segunda equação é uma aproximação para corpos cujas dimensões (área e volume) são desprezíveis com relação ao comprimento; por exemplo, um fio comprido e fino, e para variações muito pequenas de temperatura, que sejam distantes de seu ponto de transformação física. Por último, há a terceira equação, que é uma aproximação para fluidos homogêneos, estáticos, incompressíveis e sob determinadas condições do ambiente.

Assim, para uma pessoa usar tais equações na resolução de problemas, além dos conhecimentos matemáticos referentes ao tratamento das equações, seria necessário um arsenal teórico para entender suas limitações no contexto de cada fenômeno estudado. Então, uma pessoa que não conheça as limitações da primeira equação citada poderia incorrer em grande erro ao usá-la para tratar situações em que os corpos têm velocidades próximas à da luz, como é o caso de partículas fundamentais.

Portanto, é superficial tentar separar Matemática e Física em um contexto como esse, uma vez que a Matemática se comporta como conhecimento estruturante singular, adquirindo significação própria atrelada à explicação física do fenômeno.

2.2. Experimentação e modelagem

Uma perspectiva bastante própria das ciências naturais é a experimentação.

De acordo com Villatorre (2008), a experimentação é uma das estratégias que vêm sendo propostas para o ensino de Física. Este, sob o enfoque experimental, deve ultrapassar aquela visão tradicionalista de experimento concebida sob a influência empirista-indutivista.

A experimentação poderia ser aplicada, no contexto educacional, observando Lahera (2006), quando propõe um modelo pedagógico que inclui aprendizagem significativa, enfoques construtivistas e aprendizagem como pesquisa. O método como um todo é extremamente dialógico, rico em possibilidades, baseado na aprendizagem significativa e pareado com muita experimentação.

A crítica sobre a falta de experimentação, quando feita de modo inadequado, vem sendo feita no nosso sistema educacional. Tradicionalmente, o ensino de Física é voltado para o acúmulo de informações e o desenvolvimento de habilidades estritamente operacionais, em que, muitas vezes, o formalismo matemático e outros modos simbólicos (como gráficos, diagramas e tabelas) carecem de contextualização (CAPECCHI; CARVALHO, 2006).

Um episódio marcante que ocorreu com o físico Feynman ainda pode ser usado como ilustração:

Ciência é a descrição dos fenômenos da natureza, postulou ele [Feynman], referindo-se às ciências físicas naturais (e não à matemática). Ensinar ciência é, portanto, pôr os alunos em contato com os fenômenos naturais. O ensino usual, adstrito a definições e fórmulas mortas memorizadas ou mesmo entendidas, não chega a ser ensino de ciência. Só quando o estudante está pesquisando fatos reais, que efetivamente se estão desenrolando perante ele (e não imaginariamente no quadro negro), só quando investiga, aguçado pela curiosidade e pelo encantamento ante o mistério, está ele aprendendo ciência. [...] O maior valor da ciência, diz Feynman, é alimentar a curiosidade e nos dar o inigualável prazer de desvendar o desconhecido. Devemos ensiná-la para ampliar o círculo dos que podem participar da deliciosa aventura de conhecer. (MOREIRA, 2018).

Aliado à experimentação, podemos conectar o uso da modelagem. No contexto educacional de ensino das ciências, a proposta da modelagem didático-científica (HEIDEMANN; ARAUJO; VEIT, 2016) parece ser uma boa alternativa. Como metodologia, ela faz uma espécie de organização do pensamento, ou seja, opera entre a realidade e a formulação matemática, produzindo um efeito com características próprias, estruturantes do raciocínio científico. A modelagem faz com que a Matemática e seu ensino estejam irreconciliavelmente em “dois mundos” simultaneamente: realidade e abstração.

Biembengut e Hein (2013, p. 12) comentam:

Modelagem matemática é o processo que envolve a obtenção de um modelo. Este, sob certa ótica, pode ser considerado um processo artístico, visto que, para se elaborar um modelo, além de conhecimento de matemática, o modelador precisa ter uma dose significativa de intuição e criatividade para interpretar o contexto, saber discernir que conteúdo matemático melhor se adapta e também ter senso lúdico para jogar com as variáveis envolvidas.

A definição de modelagem matemática feita por Biembengut e Hein (2013) alcança indiretamente o conceito de habilidade estruturante quando o conceito toca em expressões como “o modelador precisa ter uma dose significativa de intuição e criatividade para interpretar o contexto”. Qual contexto? O contexto do fenômeno físico, em se tratando de ciências naturais. Ademais, deve “saber discernir que conteúdo matemático melhor se adapta e também ter senso lúdico para jogar com as variáveis envolvidas”. Ou seja, a modelagem parece uma espécie de

“enculturação” para assim agir num expediente próprio e significativo como legítimo e inseparável interlocutor entre o modelo e o fato.

Ferruzzi (2003, p. 36) nos traz uma definição de modelagem que vale a pena a reflexão:

Um conjunto de regras e procedimentos que guiam o modelador na obtenção de um modelo matemático que represente um problema extramatemático, utilizando-se para isso de técnicas matemáticas, conhecimentos científicos, experiência e criatividade é o que denomina-se Modelagem Matemática.

O fato de a modelagem trabalhar normalmente com problemas extramatemáticos faz com que essa ação, por si só, fomente a transição de técnicas matemáticas aliadas à análise de experimentos em pensamento matemático estruturante, *a priori*.

Em pesquisas contemporâneas, a modelização matemática trabalha para preparar o pensamento para a habilidade estruturante. Uma atividade modelizadora deveria preocupar-se com a passagem dos dados “brutos” contidos em um fenômeno, para representá-lo conceitualmente (PIETROCOLA, 2010, p. 91).

3. Metodologia

A pesquisa qualitativa foi desenvolvida por método bibliográfico, no qual foram buscadas referências que discorressem sobre a Matemática como habilidade estruturante da Física. Foram consultados diversos autores (BUNGE, 1974, BRONOWSKI, 1983, PIETROCOLA, 2002; 2010, CAPECCHI; CARVALHO, 2006, KARAM; PIETROCOLA, 2009).

Na primeira etapa do trabalho buscou-se ler o material selecionado com olhar analítico. A leitura teve por objetivo tomar contato com os autores e sua posição acerca do tema, além da análise dos pesquisadores sobre os dados das publicações, buscando confiabilidade e solidez na possível utilização de ideias.

A segunda etapa consistiu na realização de anotações e debates entre os pesquisadores. Partes importantes das leituras foram destacadas e possíveis citações foram registradas. A terceira etapa tratou da comparação entre linhas de pensamento e conexão entre campos conceituais. Os temas principais abordados envolveram a “habilidade estruturante”, a “modelagem matemática” e a “experimentação”.

Na quarta etapa fez-se uma organização do pensamento visando ao registro das ideias, dos resultados e discussões. Por fim, veio a escrita do texto com as observações apontadas pelos pesquisadores, enfatizando a utilização da Matemática e suas características fundamentais como habilidade estruturante.

4. Resultados e discussões

Percebe-se que houve — e, de certa forma, ainda há — o tratamento dicotômico dos conceitos matemáticos e físicos, diferenciando o campo conceitual um do outro. Essa abordagem deveria dar lugar a um tratamento mais holístico, proposto pelo novo paradigma comentado

anteriormente. A lógica disso encontra-se no fato de que a Física é estruturada, interpretada e traduzida por uma linguagem matemática, e uma estrutura matemática pode surgir a partir de uma análise física. Dessa forma, entende-se que é superficial a total separação dos conceitos e a fragmentação das disciplinas.

Esse pensamento ganha força à medida que segue o fluxo das orientações pedagógicas atuais no sentido de reforçar uma abordagem curricular mais completa no trabalho acadêmico e o cuidado com a fragmentação artificial de conteúdos. Nesse sentido, Pires (2000, p. 75), em seu livro “Currículos de matemática: da organização linear à ideia de rede”, já comentou: “A organização do currículo escolar tradicional, composto por disciplinas que se justapõem sem, no entanto, sofrerem algum tipo de penetração mútua, é apontada como responsável por uma formação fragmentada, baseada na dissociação e no esfacelamento do saber.”

Então, a alternativa seria uma abordagem mais integralizada. A proposta seria trabalhar com a interdisciplinaridade que pode ser definida como a interação existente entre duas ou mais disciplinas. Essa interação pode desfazer a fragmentação mútua de conceitos, de terminologia, de metodologia, de procedimentos, de dados e da organização referentes ao ensino e à pesquisa (PIRES, 2000, p. 75). Essa interdisciplinaridade pode ser traduzida, em outros termos, no contexto ora trabalhado, como a proposta da Matemática como habilidade estruturante!

No âmbito da experimentação em ciências, a preocupação é semelhante, além da falha no quesito de experimentos no tocante ao ensino de ciências, pois é subutilizado — ainda se tem, quando aplicado, um uso equivocado. A experimentação não deve ser fragmentada, negligenciando uma série de outras ocorrências importantes ao seu redor. A experimentação deve levar o estudante à observação crítica e a perceber a inter-relação entre as ciências. Os passos apontados por Lahera (2006) apresentam elementos que possibilitam melhor utilização da experimentação e sua inter-relação com a Matemática como habilidade estruturante, pois propõe, dentre outras coisas, a aprendizagem significativa e enfoques construtivistas, buscando consolidar uma visão mais ampla e universal dos conceitos no experimento. Essa experimentação com todos esses detalhes pode ser aliada à consolidação do exercício da Matemática como habilidade estruturante!

Nesse discurso sobre experimentação, inter-relação e construção de conceitos, a metodologia da modelagem matemática ou modelagem didático-científica pode ser contemplada. Essa metodologia tem sido responsável por boa parte da aplicação e avanço dos conceitos de Matemática como habilidade estruturante, além da vinculação entre os conceitos de interdisciplinaridade, experimentação e construção do conhecimento. A modelagem trabalha com situações reais, com problemas da natureza que são transformados em um sistema teórico para modelização, a fim de retornar uma resposta à realidade. Essa ação já implica a inserção matemática no mundo de experimentos, e o pensamento matemático estruturante aparece em resposta à situação observacional.

Dessa forma, o conceito de Matemática como habilidade estruturante permeia a análise científica como um todo. Deve estar presente, ressignificando a relação Física/Matemática. Ademais, deve ser trabalhada no contexto do experimento e modelagem.

5. Considerações finais

Finalizando, pode-se enfatizar a chamada habilidade estruturante, que postula um novo paradigma de relação entre a Matemática e a Física, propondo a interconexão de ambas no fazer ciência em oposição a uma abordagem dicotômica e fragmentada que pode resultar em lacunas no processo pedagógico, de experimento e de modelagem.

Dessa forma, em resposta à pergunta inicial — como trabalhar a Matemática como habilidade estruturante no contexto pedagógico, de experimentação e modelagem em Física? — pode-se sugerir de início a conscientização e a tomada de decisão em relação ao novo paradigma Física/Matemática. Depois, é imprescindível observar a importância do conceito da habilidade estruturante nos experimentos, em busca de experimentos não apenas demonstrativos, mas construtivos, em que haja igualmente o aspecto significativo do que se faz. Isso só será possível com uma visão refinada da relação Matemática/Física, ou seja, da habilidade estruturante. Por último, a modelagem é excelente ferramenta para pôr em prática tais conceitos. Ela, por si só, traz o impulso nesse sentido, de formular modelos e soluções com atenção especial aos detalhes e inter-relações entre os vários conceitos científicos que agem simultaneamente em dado fenômeno. Uma boa modelagem deverá levar em conta a Matemática como habilidade estruturante. A prática e a consolidação da Matemática nessa visão podem advir do emprego da modelagem.

Por fim, tais discussões devem alcançar não só o mundo científico como também o acadêmico. O estudante deve ser introduzido no raciocínio mais holístico envolvendo a Física/Matemática como um todo, o que, em última análise, poderá melhorar sua formação.

Referências

BIEMBENGUT, Maria Saller; HEIN, Nelson. **Modelagem matemática no ensino**. 5. ed. São Paulo: Contexto, 2013.

BRONOWSKI, J. **Arte e conhecimento, ver, imaginar, criar**. São Paulo: Martins Fontes, 1983.

BUNGE, M. **Teoria e realidade**. São Paulo: Perspectiva, 1974.

CAPECCHI, M. C. M.; CARVALHO, A. M. P. Atividades de laboratório como instrumentos para a abordagem de aspectos da cultura científica em sala de aula. **Pro-Posições**, Campinas, v. 17, n. 1, p. 137-53, 2006.

FERRUZZI, Elaine Cristina. **A modelagem matemática como estratégia de ensino e aprendizagem do cálculo diferencial e integral nos cursos superiores de tecnologia**. Orientadora: Mirian Buss Gonçalves. Coorientadora: Lourdes Maria Werle de Almeida. 2002. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) - Programa de Pós-Graduação

em Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.
Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/84624>. Acesso em: 30 jun. 2021.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

HEIDEMANN, L. A.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Modelagem Didático-científica: integrando atividades experimentais e o processo de modelagem científica no ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 33, n. 1, p. 3-32, abr. 2016. DOI: <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2016v33n1p3>.

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**, v. 2, n. 2, p. 181-205, jul. 2009. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/alexandria/article/view/37960>. Acesso em: 30 jun. 2021.

LAHERA, Jesús. **Ciências físicas nos ensinos fundamental e médio: modelos e exemplos**. Porto Alegre: Artmed, 2006.

MOREIRA, Ildeu de Castro. Feynman e suas conferências sobre o ensino de física no Brasil. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 40, n. 4, p. e4203, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2017-0374>.

PIETROCOLA, M. A Matemática como linguagem estruturante do pensamento físico. In: CARVALHO, A. M. P. (Org.). **Ensino de Física**. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

PIETROCOLA, M. A Matemática como estruturante do conhecimento físico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n. 1, p. 89-109, ago. 2002. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/9297>. Acesso em: 30 jun. 2021.

PIRES, Célia Maria Carolino. **Currículos de matemática: da organização linear à ideia de rede**. São Paulo: FTD, 2000.

VILLATORRE, A. M. **Didática e avaliação em Física**. Curitiba: Ibplex, 2008.