

Densidade semântica de estruturas físico-matemáticas e a abordagem da matemática no ensino de física

Semantic Density of physical-mathematics structures and the approach to mathematics in teaching physics

Otávio Bocheco^{1*}, Frederico Firmo Souza Cruz², Sandro da Silva Livramento Machado³

¹Instituto Federal de Ciência e Tecnologia Catarinense, R. Abraham Lincoln, 210 - 89160-202, Jardim América, Rio do Sul, SC, Brasil.

²Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Catarina, R. Eng. Agrônomo Andrei Cristian Ferreira, s/n - 88040-900, Trindade, Florianópolis, SC, Brasil.

³Secretaria de Estado da Educação, Escola de Educação Básica Leonor de Barros, R. Pastor William Richard Schisler Filho, 801 - 88034-101, Itacorubi, Florianópolis, SC, Brasil.

*E-mail: otavio.bocheco@ifc.edu.br

Recibido el 30 de septiembre de 2022 | Aceptado el 24 de octubre de 2022

Resumo

Esta pesquisa apresenta novas perspectivas para a abordagem da Matemática no ensino de Física. Defende-se, que estruturas físico-matemáticas, como $\vec{F} = m\vec{a}$, por exemplo, condensam significados nominais, conceituais e relacionais. Os primeiros estariam associados a representatividade simbólica, os segundos aos conceitos físicos que os símbolos expressam e os terceiros subjacentes as relações físico-matemáticas, nas quais símbolos e conceitos se entrelaçam, na estrutura ou derivações da mesma, tipo $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$. Tais significados seriam dotados de uma complexidade semântica, de modo que o entrelaçamento deles fortaleceria tal complexidade, gerando o que se denomina de Densidade Semântica (DS). Um conceito pertencente a dimensão Semântica da *Teoria dos Códigos de Legitimação* de Karl Maton e que diz respeito ao grau de condensação com que os significados estão relacionados dentro de símbolos. Quanto mais significados entrelaçados, maior a complexidade semântica, consequentemente, mais forte a DS. Tangente ao conceito de DS, propõe-se três tipos de abordagem para a Matemática no ensino de Física; as abordagens *técnica*, *estruturante* e *híbrida*.

Palavras chave: Matemática na Física; Semântica; Densidade Semântica; Abordagem *Estruturante*; Teoria dos Códigos de Legitimação.

Abstract

This research presents new perspectives for the approach of Mathematics in Physics teaching. It is argued that physical-mathematical structures, such as $\vec{F} = m\vec{a}$, for example, condense nominal, conceptual and relational meanings. The first ones would be associated with symbolic representation, the second with the physical concepts that the symbols express and the third ones with the physical-mathematical relationships, in which symbols and concepts are intertwined, in the structure or derivations kind of $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$. Such meanings would be endowed with a semantic complexity, so that their intertwining would strengthen such complexity, generating what is called Semantic Density (SD). A concept of the Semantic dimension of Karl Maton's *Legitimation Code Theory* and which concerns the degree of condensation with which meanings are related within symbols. The more intertwined meanings, the greater

the semantic complexity and the stronger the DS. The DS concept proposes three types of approaches to Mathematics in Physics teaching: the *technical*, *structuring*, and *hybrid* approach.

Keywords: Mathematics in Physics; Semantics; Semantic Density; Structuring Approach; Theory of Legitimacy Codes.

I. INTRODUÇÃO

Lunkes e Rocha Filho (2011, p. 27) identificam nos dados de pesquisa, equívocos estudantis ligados as disciplinas de Física e Matemática. Por aquilo que os estudantes expressam, subentende-se que não conseguem distinguir uma da outra. “Física é uma matéria parecida com Matemática”, alegam alguns. “Na verdade, eu não entendo quase nada, talvez devido a sua relação com a Matemática”, dizem outros.

A mesma associação rasa é detectada nas pesquisas exploratórias de Ricardo e Freire (2007) e Ricardo, Couso e Ahumada (2011) que, ao questionarem alunos do ensino médio sobre as diferenças entre Física e Matemática, obtém como resultado um número significativo de declarações afirmando não haver diferença entre as disciplinas. Segundo os pesquisadores, os alunos atribuem à Matemática um papel de instrumento das demais disciplinas científicas e consideram-na ausente de um significado.

Para Brock e Rocha Filho (2011), isto decorre devido a metodologias de ensino equivocadas ou impróprias para os objetivos educacionais da Física no ensino médio. De acordo com seus dados coletados, os autores concluem que

[...] a maneira com que as aulas de física estão sendo dadas segue um modelo disseminado nas escolas pesquisadas: o professor introduz o conteúdo colocando textos e equações no quadro, depois resolve um ou dois exemplos numéricos e, em seguida, aplica muitos exercícios, a título de fixação daquele conteúdo, alguns dos quais são escolhidos para constituir as provas. (Brock e Rocha Filho, 2011, p. 363)

Outra constatação, que os dados sugerem aos pesquisadores, diz respeito aos estudantes enxergarem a Física como uma disciplina centrada, unicamente, em cálculos numéricos, crendo que para ter sucesso ou domínio da mesma, basta decorar fórmulas, a elas aplicar números e obter outros números. De modo que a Física, para eles, resume-se a exercícios envolvendo cálculos numéricos.

Pelas pesquisas supracitadas, percebe-se que a abordagem da Matemática ou a prática de matematização no ensino de Física constitui-se num problema educacional, no cenário brasileiro. Onde, em geral, os modelos matemáticos são apresentados de forma simples e banal nas salas de aula de Física, tanto de nível básico quanto de nível superior. Na maioria das vezes, transmite-se a ideia de uma Matemática com a função instrumental de quantificar grandezas físicas, de modo que grande parte do público estudantil adere à Matemática como ferramenta de cálculo. Como se fosse algo desprovido de significados fenomenológicos, tangentes a Física, e que estão condensados nas estruturas físico-matemáticas, como equações, gráficos etc.

Seguindo os pressupostos de Pietrocola (2002), Karam (2012) e Bocheco (2021), tal abordagem da Matemática no ensino de Física pode ser caracterizada como *técnica*. Um processo vazio de significado fenomenológico, longe de revelar a Matemática como um instrumento de pensamento voltado ao questionamento e interpretação da fenomenologia física, presente na natureza. Tanto que a maioria dos estudantes, quando se defronta com determinados questionamentos em Física, pensa logo na aplicação de fórmulas, ao invés de pensar em utilizá-las com a missão de organizar o raciocínio físico e estruturar seus pensamentos na investigação daquilo que se questiona.

Mas afinal, tal problemática educacional se reduziria a uma questão metodológica, quanto ao ensino de Física?

Pietrocola (2002) lança a pedra fundamental neste assunto e preconiza que a falha estaria conectada às concepções que professores de Física adotam, quanto ao papel da Matemática na construção teórica da Física. O que revelaria, em termos do fenômeno didático, muito mais um equívoco epistêmico e semântico do que metodológico.

Karam (2012), Ricardo (2012) e Bocheco (2021) apresentam recortes historiográficos, nos quais, nitidamente, a Matemática desempenha um papel *estruturante* na constituição teórica da Física. Os autores demonstram, por exemplo, que na formalização teórica da Física de Partículas, da Mecânica Racional de Newton e do Eletromagnetismo de Maxwell, mesmo que por caminhos ou metodologias de matematização distintos, há uma estruturação do pensamento físico, que integra Matemática à natureza, de forma a prover relações físico-matemáticas.

Portanto, levando em consideração tal evidência epistêmica, quanto as relações de troca entre a Matemática e a Física, no campo de produção teórica da segunda, é possível considerar que o processo de matematização no ensino de ideias físicas evolua de uma abordagem *técnica*, voltada, apenas, à aplicação de fórmulas, para uma abordagem focada na construção de significados, que estariam condensados nas estruturas físico-matemáticas a serem matematizadas.

Para isto, é necessário superar o equívoco em considerar a Matemática apenas uma linguagem de comunicação para a Física, reduzindo o seu papel à simples função *técnica* de comunicar ideias e representar conceitos através de

um sistema de signos ou códigos de informação. A Matemática não carrega apenas informações da Física, integra-se a ela, através de relações físico-matemáticas. O poder da Matemática na Física é estabelecer relações.

Portanto, defende-se que a abordagem da Matemática no ensino de Física seja guiada pela abordagem dos significados que estariam condensados nas estruturas físico-matemáticas. De modo que se revele ou esclareça três tipos de abordagens; a *técnica*, a *estruturante* e a *híbrida*.

Assim, quais seriam os significados que estariam condensados em estruturas físico-matemáticas?

II. SIGNIFICADOS NOMINAIS, CONCEITUAIS E RELACIONAIS

Lemke (1999; 2002), físico teórico, que se dedica a pesquisas em educação científica, defende a ideia de que o significado matemático completo se compõe de uma inter-calibração entre significados do tipo tipológico e topológico. Os primeiros diriam respeito ao caráter nominal, que permeia um símbolo matemático. Enquanto os segundos caracterizam-se pelo aspecto relacional entre os símbolos.

Sendo mais específico, numa estrutura matemática estariam condensados significados tipológicos e topológicos. Os primeiros diriam respeito a uma semântica conectada com a comunicação e informação. Algo que se pode denominar de significado nominal, que permite a mera descrição ou leitura simbólica. Já os segundos seriam tangentes a uma semântica relacional entre dois ou mais símbolos tipológicos. E aqui, diferente de comunicar uma informação, ocorre a constituição de uma ideia de proporção. Uma espécie de significado relacional.

Isto fica evidente numa fração $7/2$, por exemplo. Os números 7, 2 e a barra oblíqua (/) são tipológicos. Neles estão condensados os significados nominais de quantidade e divisão. Nominá-los, permitirá ao aprendiz descrever ou ler a fração; '*sete meios*' ou '*sete dividido por dois*'.

No entanto, de forma mais profunda, estaria condensada nesta mesma fração uma relação de proporção entre os símbolos tipológicos 7 e 2. Tal relação representa, neste caso, quantas vezes o número 7 é maior que o número 2 e isto caracterizaria uma ideia, não uma simples informação ou comunicação. Por isso, para a construção deste significado relacional, não basta nominar ou descrever símbolos. É necessária a construção de uma ideia matemática.

Portanto, já ressignificando os significados tipológico e topológico de Lemke (1999; 2002), a real ou completa construção do significado matemático condensado na fração $7/2$ consistiria numa construção *híbrida* destes dois significados; o nominal, que permitiria descrever, e o relacional, que permitiria construir ou estruturar uma ideia matemática.

Tal ressignificação é proposital, afinal, a intenção aqui é trazer a ideia do tipológico e topológico para o âmbito do ensino de Física, que trabalha com estruturas físico-matemáticas e não com estruturas puramente matemáticas, como é o caso desta fração.

Pode-se pensar na famosa segunda Lei de Newton, $\vec{F} = m\vec{a}$, por exemplo. Esta estrutura é físico-matemática e não matemática. Nela, está condensado o que de mais importante deve-se considerar no processo de matematização, durante o ensino de Física; a integração entre Matemática e fenomenologia física. Sendo que isto revela-se mediante relações físico-matemáticas e não, puramente, matemáticas.

Os símbolos \vec{F} , m e \vec{a} , por exemplo, condensariam, de início, significados nominais subjacentes a representatividade simbólica. Afinal, representam força, massa e aceleração, respectivamente. Assim como o símbolo vetorial da primeira e da última.

Tais significados comunicam ou informam quem são as grandezas físicas envolvidas na estrutura físico-matemática, bem como aquelas que possuem uma caracterização vetorial ou escalar. Permitiriam a leitura ou descrição desta estrutura físico-matemática, como por exemplo: '*força é igual a massa vezes aceleração*'; '*f é igual a m-a*'; '*força e aceleração são vetoriais*'.

Estes mesmo símbolos, \vec{F} , m e \vec{a} , condensam uma espécie de significados conceituais. Sua constituição se daria através do entrelaçamento com os significados da esfera nominal. Por isto, teriam uma complexidade semântica superior.

Tais significados diriam respeito ao significado físico de cada símbolo; \vec{F} como força resultante ou soma líquida das forças que atuam sobre um corpo/sistema, a massa m como sinônimo de inércia ou resistência à mudança de movimento e a aceleração \vec{a} vinculada a variação temporal da velocidade - $\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$.

O entrelaçamento dos significados nominais e conceituais, quando vistos como um todo, dentro da estrutura físico-matemática, proporciona a construção dos significados relacionais de grau fenomenológico e de estrutura, também condensados na mesma, cuja complexidade semântica seria ainda maior.

Os significados relacionais de grau fenomenológico estão ligados as relações entre as grandezas físicas \vec{F} , m e \vec{a} . São eles que permitem interpretar e questionar fenômenos físicos, como, por exemplo, empurrar, com a mesma força, um carrinho de compras vazio e cheio e perguntar-se a respeito das acelerações.

Para interpretá-las, é necessário relacionar a grandeza ou conceito subjacente a resistência a mudança do estado cinemático ($m = \text{massa} = \text{inércia}$) com a grandeza ou conceito referente a mudança temporal da velocidade; ($\vec{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \text{aceleração}$). Tal relação estaria condensada numa derivação da estrutura físico-matemática, $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$, que, matematicamente, demonstra uma relação inversamente proporcional. Assim, conclui-se que o carrinho de compras vazio acelera mais que o carrinho de compras cheio.

Percebe-se que tanto significados nominais, conceituais e da própria Matemática (diretamente ou inversamente proporcionais, relação linear, quadrática, etc.) se entrelaçam, formando o significado relacional de grau fenomenológico. Por isso, a estrutura $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$ é uma estrutura físico-matemática e não matemática.

Salienta-se que a construção do significado relacional de grau fenomenológico evidencia a real integração entre Matemática e fenomenologia física. Afinal, conceitualmente, quanto maior a resistência à mudança de movimento, ou seja, a inércia de um corpo, menor serão os efeitos da mudança no seu estado cinemático e isto está condensado em $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$. Não se trata apenas de uma proporcionalidade numérica que leva a citação ou memorização do tipo 'quanto maior este, menor aquele'. Diz respeito, a utilização de uma estrutura físico-matemática como instrumento de pensamento físico, que integra Matemática e fenômenos físicos.

Portanto, o grau com que os carrinhos aceleram depende da construção desta ideia relacional, dotada de uma complexidade semântica superior aos significados nominais e conceituais. Afinal, é o entrelaçamento destes que a constitui.

Além dos significados relacionais de grau fenomenológico, a estrutura físico-matemática, $\vec{F} = m\vec{a}$ condensa um outro tipo de significado relacional.

Conforme demonstram Bocheco (2021) e Ricardo (2012), no processo de matematização da sua Mecânica Racional, Newton chega à força através da trajetória, que, portanto, constitui-se na ponte estrutural que permite conectar objetos físicos da Dinâmica ($\frac{\vec{F}}{m}$) com a Cinemática ($\vec{a} = \frac{d^2x}{dt^2}$). Ou seja, estaria condensado em $\vec{F} = m\vec{a}$ uma espécie de relação físico-matemática de estrutura, que, neste caso, estruturaria causas e efeitos cinemáticos.

Algo que também está condensado nas estruturas físico-matemáticas que representam a Lei de Faraday ($\varepsilon = -\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$) e a quantização da energia ($E = hf$), por exemplo. Onde, campo magnético e quantização da energia, respectivamente, também permitem interligar objetos físicos. Na primeira, entre objetos da eletricidade e do magnetismo e na segunda, entre energia e frequência.

Na estrutura físico-matemática $\vec{F} = m\vec{a}$ os significados relacionais de estrutura aparecem em questionamento e interpretações referentes a relação entre força resultante e trajetória. E isto se efetua através do caráter vetorial da força, aceleração e velocidade. É mediante a direção e sentido dos vetores força resultante e velocidade, por exemplo, que se define o tipo de movimento e trajetória. Ou seja, através de uma trajetória é possível chegar à força e vice-versa.

Estes significados relacionais de estrutura teriam uma complexidade semântica superior a todos outros. Afinal, sua constituição se daria mediante o entrelaçamento de todos outros significados. Significados nominais, conceituais, relacionais de grau fenomenológico e significados matemáticos vetoriais é que permitem a constituição dos mesmos.

Assim, diante do exposto, defende-se que há uma complexidade semântica variável, condensada em $\vec{F} = m\vec{a}$. Cuja variação identificaria uma espécie de Densidade Semântica nas estruturas físico-matemáticas.

III. DENSIDADE SEMÂNTICA DE ESTRUTURAS FÍSICO-MATEMÁTICAS

O conceito de Densidade Semântica (DS) está dentro da dimensão Semântica da Teoria dos Códigos de Legitimação de Maton (2014; 2013). Especificamente, diria respeito ao grau com que a complexidade semântica do conhecimento estaria condensada em símbolos. O fortalecimento da DS implica num aumento da complexidade semântica condensada, enquanto o seu enfraquecimento implicaria o oposto.

De acordo com Maton e Doran (2017), esta complexidade semântica estaria ligada a relacionalidade de significados que estariam condensados nos símbolos. Quanto mais significados relacionados, mais forte seria a DS.

Os autores ilustram isso com a constelação de significados gerada, através de uma palavra sem sentido, conforme a Figura 1, abaixo.

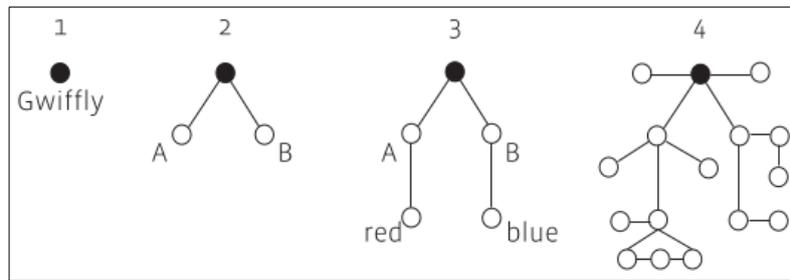


FIGURA 1. Constelação Gwiffly (Maton e Doran, 2017, p. 49).

Para os autores, a denominação ‘há um Gwiffly’ (uma palavra sem sentido) gera um nó solitário de significado (número 1 na figura). No entanto, conceituar duas espécies de ‘Gwiffly’, como A e B (número 2 na figura), estabelece uma relação entre ‘Gwiffly’ e outros dois significados. O que aumentaria a complexidade semântica dela, afinal, haveria mais significados relacionados ou entrelaçados. Se continuar descrevendo que ‘Gwiffly A’ é vermelho e ‘Gwiffly B’ é azul, a relação dos termos com outros significados aumenta (número 3). De modo que se inicia a constituição de uma constelação de significados e, novamente, um aumento da complexidade semântica. Tal processo poderia se efetuar de forma contínua e indefinida (número 4).

No caso da Segunda Lei de Newton - $\vec{F} = m\vec{a}$, de início, os símbolos \vec{F} , m e \vec{a} revelam um grau de complexidade semântica subjacente apenas a representatividade simbólica. Atribui-se a tal estrutura semântica uma baixa DS, restrito ao âmbito nominal.

Porém, os significados conceituais que estão condensados nestes mesmos símbolos representam um aumento na relação de significados. Afinal, além da representatividade simbólica, agora tem-se o que eles representam fisicamente. Por isso, há um aumento na DS ou na complexidade da estrutura semântica. Saber que m representa massa e que esta significa, fisicamente, a resistência a mudança do estado cinemático (inércia) possuem complexidades semânticas diferentes.

Ao adentrar nos significados relacionais de grau fenomenológico, onde força, massa e aceleração serão relacionadas, como um todo, dentro da estrutura físico-matemática, $\vec{F} = m\vec{a}$, aumentará ainda mais o grau de complexidade semântica e, conseqüentemente, ocorrerá um fortalecimento da DS. Neste caso, os significados nominais e conceituais, o que significam, simbolicamente e fisicamente, duas grandezas físicas, como m e \vec{a} , por exemplo, seriam relacionados na estrutura $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$, possibilitando gerar um significado de grau fenomenológico, que diria respeito a proporcionalidade inversa entre massa e aceleração. Ou seja, que resistência a mudança de estado cinemático (m) e variação temporal de velocidade (\vec{a}) são inversas e, por isso, para uma mesma força \vec{F} , corpos ou sistemas com massas diferentes obteriam acelerações diferentes.

Por último, entender a relação de estrutura que há entre força e trajetória, atingiria o nível máximo de DS. Onde, praticamente, todos os significados condensados na estrutura físico-matemática estariam relacionados. Significados nominais, conceituais e relacionais de grau fenomenológico entrelaçados gerariam a construção da relação físico-matemática entre força e trajetória, que está condensada em $\vec{F} = m\vec{a}$ e revela o papel matemático vetorial na relação entre força, aceleração e velocidade.

Na Figura 2, abaixo, ilustrar-se a constelação de significados que se forma e está condensado em $\vec{F} = m\vec{a}$.

Pela figura, percebe-se que ao adentrarmos em $\vec{F} = m\vec{a}$ aparecem mais significados entrelaçados, fortalecendo a Densidade Semântica (+DS).

No início, os símbolos apenas comunicam ou informam a representatividade simbólica das grandezas físicas. O que pressupõe uma relacionalidade de significados baixa, conseqüentemente, uma DS fraca (-DS).

A seguir, tais símbolos se entrelaçam com conceitos físicos, aumentando a relacionalidade e fortalecendo a DS. Isto é demonstrado na figura, pelo sentido da grande seta azul.

Na seqüência, significados nominais e conceituais são relacionados na estrutura matemática $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$, derivada de $\vec{F} = m\vec{a}$, e compõem os significados relacionais de grau fenomenológico. Novamente, há um aumento da relacionalidade e, portanto, um fortalecimento da DS.

É importante salientar que esta última relacionalidade de significados nominais e conceituais poderia se efetuar em outra derivação de $\vec{F} = m\vec{a}$, como, por exemplo, $\vec{F} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = m \frac{\Delta v}{\Delta t}$, considerando um sistema com massa inercial constante. O que gerariam outros significados relacionais de grau fenomenológico.

Por último, os significados nominais, conceituais e relacionais de grau fenomenológico se entrelaçariam e constituiriam os significados relacionais de estrutura. Fortalecendo ao máximo a DS, ou seja, atinge-se o grau mais elevado de significados relacionados e que está condensado em $\vec{F} = m\vec{a}$.

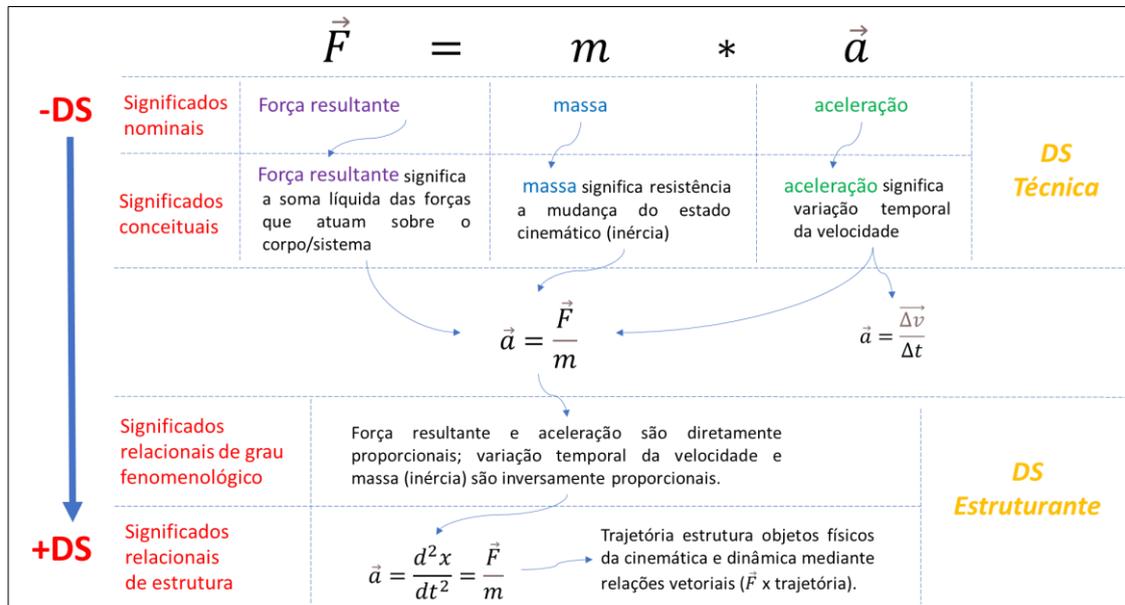


FIGURA 2. Ilustra-se a constelação de significados condensados em $\vec{F} = m\vec{a}$, a variação da Densidade Semântica (DS), bem como os significados subjacentes a uma DS técnica e estruturante (Fonte: elaboração própria).

Importante salientar que a estrutura físico-matemática $\vec{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$, apresentada na Figura 2, também condensa significados nominais, conceituais e relacionais. O que permitiria a constituição de uma outra constelação de significados e análise de DS.

Diante desta teorização a respeito de significados condensados em uma estrutura físico-matemática, defende-se que a abordagem Matemática no ensino de Física se guie pela construção de tais significados, de forma a observar a variação da DS no discurso de matematização. Sendo que, desta forma, pode-se pensar em três tipos de abordagens Matemática ou o processo de matematização no ensino de Física. As abordagens técnica, estruturante e híbrida.

IV. ABORDAGENS TÉCNICA, ESTRUTURANTE OU HÍBRIDA DA MATEMÁTICA NO ENSINO DE FÍSICA

Obviamente, a abordagem da Matemática no ensino de Física tem a ver com o ato discursivo. Seja oral, numa sala de aula, ou de forma escrita, num material didático. Portanto, defende-se que tal discurso pode legitimar a construção de significados subjacentes a uma semântica técnica, estruturante ou híbrida.

A semântica técnica diria respeito a um discurso matematizador voltado, unicamente, à construção dos significados nominais e conceituais, condensados nas estruturas físico-matemáticas. Cuja intencionalidade didática seria subjacente a tradicional aplicação de fórmulas; substituição de símbolos por valores numéricos e obtenção de outros valores. Uma operação estéril, quanto a fenomenologia física. O papel da Matemática perante a Física ficaria restrito a uma instrumentalização operacional.

Já a semântica estruturante se caracterizaria através de um discurso matematizador que privilegia a construção de significados relacionais, de grau fenomenológico e de estrutura, que promovem a real integração entre Matemática e fenomenologia física. Em termos de intencionalidade didática, este discurso proveria à Matemática o status de estrutura perante a Física, revelando as estruturas físico-matemáticas como instrumentos voltados a constituição do pensamento físico.

No entanto, assim como para Lemke (1999; 2002) um significado matemático é caracterizado pela construção híbrida de significados tipológicos e topológicos, a defesa aqui é a de que uma semântica estruturante não se constrói na ausência de uma semântica técnica. Ou seja, defende-se uma abordagem da Matemática no ensino de Física do tipo híbrida, focada na construção entrelaçada de significados nominais e conceituais, tangentes a semântica técnica, com os significados relacionais, subjacentes a uma semântica estruturante.

Por exemplo, um discurso escolar matematizador de $\vec{F} = m\vec{a}$, focado, unicamente, na construção de significados nominais revelaria uma abordagem com a semântica *técnica*, voltada, apenas, para a tradicional aplicação de fórmulas. Um discurso matematizador com baixa DS.

Caso o discurso matematizador extrapole a nominalização pertinente a representatividade simbólica e relacione-a aos significados conceituais, ainda assim estaria no patamar de uma abordagem *técnica*. Afinal, por mais que haja um aumento na relação de significados, símbolos e conceitos, a *técnica* em substituir dados numa equação ainda seria privilegiada. O discurso matematizador estaria elevando a DS, porém, ainda restrito a um alcance semântico *técnico*, sem vínculos reais com a fenomenologia física.

No entanto, supõe-se um discurso de matematização de $\vec{F} = m\vec{a}$, onde, de início, se constrói os significados nominais e conceituais. A seguir, se entrelaça estes dois últimos na construção de significados relacionais, de grau fenomenológico. Percebe-se que tal discurso engloba tanto uma semântica *técnica* quanto *estruturante*, tornando-se um discurso *híbrido*. Dotado de uma DS superior aos discursos dos dois parágrafos anteriores, pois haveria um aumento na relacionalidade de significados e complexidade semântica.

O mesmo ocorreria com um discurso matematizador condizente com a DS máxima, subjacente a construção dos significados relacionais de estrutura. Onde significados nominais, conceituais e relacionais de grau fenomenológico seriam relacionados ou entrelaçados para questionamentos e interpretações referentes a relação força versus trajetórias.

Assim, um discurso de matematização *híbrido* consistiria em um discurso focado na variação da DS, que permeia uma estrutura físico-matemática. A oscilação da DS no ato discursivo matematizador focaria tanto na construção de significados subjacentes a uma complexidade semântica *técnica* quanto *estruturante*. O que poderia revelar uma extrapolação da abordagem tecnicista, evidenciada pelas pesquisas citadas, no início deste trabalho.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nada no universo da pesquisa em ensino de Física é prescritivo. Pelo contrário, é propositivo. Portanto, não deve haver engessamento quanto a ordem de abordagem ou construção dos significados condensados nas estruturas físico-matemáticas. Se a preferência de um professor ou material didático é iniciar um discurso matematizador a partir da construção dos significados relacionais de estrutura, dotados de uma alta complexidade semântica (+DS), seguir para a construção de significados com menos complexidade semântica (-DS) e, na sequência retornar, novamente, para uma complexidade semântica alta, não haveria problema. O importante é este professor ou material didático oscilar a DS do discurso matematizador, aumentando e diminuindo a complexidade semântica na construção dos significados.

Esta oscilação revelaria uma pulsação semântica que proporcionaria uma construção progressiva de significados. Na qual, significados de baixa complexidade semântica (baixa DS) agregam-se aos de alta complexidade semântica (alta DS) e vice-versa. Por isso a defesa de um discurso matematizador *híbrido*.

Outra consideração importante, diz respeito a escolha da estrutura físico-matemática $\vec{F} = m\vec{a}$, para caracterizar os significados condensados e esclarecer o conceito de Densidade Semântica (DS). Trata-se de uma escolha teórico-metodológica que poderia se efetuar a partir de qualquer outra estrutura físico-matemática, como a Lei de Faraday $\varepsilon = \frac{d\phi}{dt}$, por exemplo. Ou seja, a teorização apresentada aqui seria generalizante e poderia se estender para diferentes estruturas em distintas áreas da Física.

Por último, com certeza, o desdobramento mais interessante diz respeito a uma proposta de aula ou material didático de Física, que demonstre toda a teorização apresentada nesta pesquisa. De modo a apresentar, no discurso matematizador de alguma estrutura físico-matemática, a construção dos significados, a oscilação ou pulsação da Densidade Semântica, bem como deixar nítido as partes *técnica*, *estruturante* e *híbrida* de uma abordagem da Matemática no ensino de Física.

REFERENCIAS

Bocheco, O. (2021). *A Abordagem Matemática no Ensino de Física e sua Qualificação no Viés Semântico*. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <https://tede.ufsc.br/teses/PECT0490-T.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2022.

Brock, C. e Rocha Filho, J. B. (2011). Algumas origens da rejeição pela carreira profissional no magistério em Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*. Florianópolis, 28(2), 356-372.

Karam, R. A. S. (2012). *Estruturação matemática do Pensamento Físico no Ensino: uma ferramenta teórica para analisar abordagens didáticas*. Tese de Doutorado. USP. São Paulo.

Lemke, J. (2002). Mathematics In The Middle: measure, picture, gesture, sign, and word. In: Anderson, Myrdene; Saenz-Ludlow, Adalira; Zetlweiger, Shea; Cifarelli, Victor V. *Educational Perspectives On Mathematics As Semiosis: from thinking to interpreting to knowing*. Ottawa: Legas Publishing. pp. 215-234.

Lemke, J. (1999). Typological and topological meaning in diagnostic discourse. *Discourse Processes*, [S.L.], 27(2), 173-185.

Lunkes, M. J. e Rocha Filho, J. B. (2011). A baixa procura pela licenciatura em física, com base em depoimentos de estudantes do ensino médio público do oeste catarinense. *Ciência & Educação (Bauru)*, [S.L.], 17(1), 21-34. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1516-73132011000100002>.

Maton, K. (2014). *Knowledge and knowers: towards a realist sociology of education*. Abingdon: Routledge.

Maton, K. (2013). Making semantic waves: a key to cumulative knowledge-building. *Linguistics and Education*, [S.L.], 24(1), 8-22.

Maton, K. e Doran, Y. (2017). Semantic density: a translation device for revealing complexity of knowledge practices in discourse, part 1.: wording. *Onomázein Revista de Lingüística, Filología y Traducción*, [S.L.], 46-76, 5 mar. 2017.

Pietrocola, M. (2002) A matemática como estruturante do conhecimento Físico. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, 19(1), 93-114.

Ricardo, E. C., Ahumada, G. e Couso, D. (2011). *Um estudo exploratório das concepções dos alunos acerca do ensino da física no Brasil, Chile e Espanha*. Actas. I Congreso Internacional de Enseñanza de las Ciencias y la Matemática, Tandil – Argentina.

Ricardo, E. C. e Freire, J. C. A. (2007). A concepção dos alunos sobre a física do ensino médio: um estudo exploratório. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, [S.L.], 29(2), 251-266. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1806-11172007000200010>.

Ricardo, E. C. (2012). *Elementos Físicos e Matemáticos da Mecânica Analítica, a Relação entre as duas Ciências e a Vigilância Epistemológica*. Tese de Livre Docência. Faculdade de Educação. Universidade de São Paulo.