

ABORDAGEM MATEMÁTICA NO ENSINO DE FÍSICA E A TEORIA DOS CÓDIGOS DE LEGITIMAÇÃO

MATHEMATICAL APPROACH IN PHYSICS TEACHING AND LEGITIMATION CODE THEORY



Otávio Bocheco*

(<https://orcid.org/0000-0002-4648-5037>)

Frederico Firmo de Souza Cruz**

(<https://orcid.org/0000-0002-8188-0542>)

Sandro da Silva Livramento Machado***

(<https://orcid.org/0000-0001-5623-1543>)

INTRODUÇÃO

O conhecimento em Física é multifacetado. Envolve inúmeras e complexas relações que descrevem, explicam, predizem e permitem questionar os fenômenos do mundo empírico. O discurso que legitima e organiza este conhecimento também é igualmente multifacetado, condizente a elementos funcionais, principalmente subjacentes à Matemática, cujo papel é crucial para a construção do conhecimento físico.

O desejo por entender como se organiza o discurso que legitima explicações físicas, em salas de aula e materiais didáticos, implica em considerar o enorme envolvimento deste discurso, perante o processo de matematização de ideias físicas (DORAN, 2018).

* Instituto Federal Catarinense – Campus Rio do Sul Professor de Física – Educação Básica Técnica e Tecnológica (EBTT). E-mail: otavio.bocheco@ifc.edu.br.

** Universidade Federal de Santa Catarina. Professor titular do Departamento de Física. E-mail: fred@fsc.ufsc.br.

*** Escola de Educação Básica Leonor de Barros - Secretaria Estadual de Educação de Santa Catarina. Professor de Física. E-mail: sanlivra@gmail.com.

O estudo quantitativo de Parodi (2012), em livros didáticos de diversas disciplinas acadêmicas, sugere que o discurso do conhecimento físico apresenta a maior dependência da Matemática, dentre todas as ciências básicas. Na mesma direção, o estudo de Lemke (1998), realizado em artigos publicados no prestigiado periódico *Physical Review Letters*, detecta que a média de equações por página é substancialmente maior, quando comparado às publicações de outras ciências.

Além disso, dentre as Ciências Naturais, a Física procura a construção de teorias generalizantes que deem conta de uma ampla variedade de fenômenos empíricos. E tais generalizações integram a Matemática, criando assim um discurso de matematização, tanto na esfera da sua produção quanto na esfera do seu ensino.

Tais constatações denotam a importância de se compreender como se organiza um discurso matematizador, voltado ao ensino de ideias físicas. Entender os seus princípios organizacionais, bem como identificar os elementos que permitam a sua qualificação, diz respeito tanto ao aperfeiçoamento do ensino de Física quanto a prover soluções para um dos grandes problemas nesta esfera: a abordagem Matemática no ensino de Física.

Mas, quais seriam os princípios organizacionais que estruturariam um discurso do processo de matematização no ensino de Física?

Análises historiográficas dos processos de matematização da Mecânica Racional de Newton e do Eletromagnetismo de Maxwell demonstram que as relações físico-matemáticas seriam a essência que integra Matemática e fenomenologia física. Mesmo que por caminhos metodológicos de matematização diferentes, Newton e Maxwell proporcionam à Matemática um papel *estruturante* na formalização do conhecimento físico (BOCHECO, 2021).

De acordo com Pietrocola (2002), tal análise epistêmica, no campo de produção teórica da Física, pressupõe que, diferente do papel *técnico* comumente dado à Matemática, em materiais didáticos e salas de aula de Física, onde a primeira é vista como ferramenta de cálculo, é possível extrapolar tal senso comum para o âmbito de um discurso matematizador capaz de revelar a Matemática como ferramenta voltada para a formulação do pensamento físico. Ou seja, é possível um discurso matematizador que legitime tanto có-

digos condizentes com uma abordagem *técnica* e/ou *estruturante*. A primeira voltada para a construção de significados nominais e a segunda para aspectos relacionais.

Sendo mais específico, em $\vec{F} = m\vec{a}$, por exemplo, estão condensados significados nominais-*técnicos* e relacionais-*estruturantes*. A representatividade simbólica, o que significam os símbolos \vec{F} , m e \vec{a} (força, massa e aceleração, respectivamente), condiz com uma semântica nominal-*técnica*. Enquanto os significados tangentes às relações físico-matemáticas entre as grandezas físicas \vec{F} , m e \vec{a} , aquelas que, de fato, integram Matemática e fenomenologia física, são subjacentes a uma semântica relacional-*estruturante*.

Portanto, um discurso matematizador no ensino de Física pode revelar códigos semânticos de âmbito nominal-*técnico* e/ou relacional-*estruturante*. Os primeiros legitimariam a Matemática como ferramenta de cálculo no ensino de Física, potencializando o famoso processo de aplicação de fórmulas, resolução de problemas *plug-in-play* ou fórmula triângulo. Já os últimos legitimam a mesma como ferramenta para constituição do pensamento físico. Aquilo que potencializa aos estudantes construir significados que os levem a entender por que é mais fácil acelerar um carrinho de compras vazio do que quando está cheio.

Isto demonstra que o discurso matematizador num material didático ou sala de aula de Física pode legitimar uma semântica mais *técnica* ou *estruturante*. A primeira focada numa construção de significados simbólicos, de cunho nominal, e a segunda voltada para a construção de aspectos relacionais. Uma espécie de princípios organizacionais que legitimariam um discurso de matematização *técnico* e/ou *estruturante*.

Porém, não basta a identificação teórica dos princípios organizacionais de um discurso de matematização, dentro do espectro *técnico-estruturante*. É necessária uma ferramenta para a sua análise refinada. Tornar explícitos tais princípios, na dinâmica do tempo, em uma sala de aula, ou em linhas e parágrafos, de um material didático.

Tal intento é possível através de uma espécie de expansão r da Teoria dos Códigos de Bernstein, conhecida como Teoria dos Códigos de Legitima-

ção¹ (TCL), proposta por Maton (2014a). Uma teoria multidimensional, cuja dimensão Semântica, composta pelos conceitos de Gravidade Semântica (GS) e Densidade Semântica (DS), potencializa uma ferramenta analítica capaz de revelar ou tornar explícito os códigos ou princípios organizacionais que legitimam um discurso matematizador no ensino de Física.

Estes conceitos podem ser caracterizados por um continuum de infinitas gradações de níveis que codificam e permitem traçar variações referentes a uma prática, ao longo do tempo/texto. Tal movimentação constitui o que Maton (2014) denomina de perfil semântico.

Um mecanismo que permite a análise dinâmica da episteme discursiva de uma prática de matematização no ensino de Física. De modo a revelar ou expor se ela está inclinada a um dispositivo de legitimação *técnica* e/ou *estruturante*. Ou seja, se há uma predisposição em legitimar códigos semânticos subjacentes a uma construção de significados nominais-descritivos e/ou relacionais-estruturantes.

A ABORDAGEM MATEMÁTICA NO ENSINO DE FÍSICA NO ESPECTRO SEMÂNTICO

A Matemática potencializa estabelecer relações, de forma que na Física, classes de objetos, conceitos e enunciados podem ser interligados e constituir significados físico-matemáticos, capazes de instrumentalizar a interpretação e o questionamento de fenômenos físicos. Ou seja, o processo de matematização do conhecimento físico, seja na constituição teórica da Física ou no seu ensino, constitui-se numa prática discursiva, oral ou escrita. E que, portanto, remete-o ao âmbito semântico dentro da linguística.

Quando Pietrocola (2002) preconiza a necessidade de uma nova abordagem da Matemática no ensino de Física, via uma postura epistemológica inovadora, delimita, também, um novo olhar para questões subjacentes à linguagem. Aponta a necessidade de uma abordagem atrelada à construção de ideias e não apenas descritiva ou reveladora de códigos de informação. Salienta a necessidade de olhar para o discurso do processo de matematização no ensino de Física, no âmbito da construção de significados.

¹ Em inglês; Legitimation Code Theory (LCT)

Pesquisas como as de Redish (2005) e Tuminaro e Redish (2007) têm sugerido uma semântica diferente entre a Matemática abordada no ensino de Física e a ensinada na disciplina de Matemática. O primeiro, por exemplo, chama a atenção para o fato de que a Matemática na Física se destina a representar sistemas físicos, ao invés de apenas expressar relações abstratas.

As pesquisas de Tuminaro (2004) apontam que os próprios estudantes alegam diferenças entre a Matemática abordada nas aulas de Física e a Matemática das aulas de Matemática. Pospiech (2006) apresenta um quadro para demonstrar interpretações e significados distintos entre conceitos matemáticos e seus correspondentes na Física (Quadro 1).

Quadro 1 - Diferenças semânticas entre representações em Matemática e Física

Matemática	Física
Números	Números com unidades
Fração	Relação
Função em sentido abstrato	Relações funcionais entre grandezas físicas
Objetos geométricos	Representações simbólicas de sistemas físicos
Derivada	Taxa de variação
Integral	Soma de infinitos infinitesimais

Fonte: Pospiech (2006, p. 8) apud Karam (2012, p. 196)

A princípio, observando o quadro acima, nota-se apenas uma distinção referente a nomenclaturas dadas na Matemática e na Física. Porém, é necessário observar o contexto semântico que cada conceito carrega, tanto no lado direito, quanto no lado esquerdo do quadro.

Enquanto na Matemática os conceitos representam ou constituem significados subjacentes a relações algébricas, geométricas, vetoriais e/ou matriciais generalizantes, na Física todos estes significados são encorpados dentro de um contexto físico-matemático, também generalizante, dentro do universo físico.

É como se a Matemática operasse como uma ciência das relações dentro da Física. Porém, ao invés de relacionar apenas variáveis e constantes abstratas, as relações são inerentes a grandezas físicas, que por sua vez caracterizam processos e princípios. Portanto, tais relações são embutidas de uma

essencialidade ou carga semântica ligada a uma fenomenologia física. Sendo as relações físico-matemáticas as entidades responsáveis por carregarem uma semântica capaz de estruturar ideias fundamentais de uma teoria física. Sejam relações limitadas no interior de uma equação ou outros tipos de representações como gráficos, vetores e matrizes.

Isto é diferente de considerar a Matemática uma linguagem de comunicação para a Física. Afinal, linguagem de comunicação pressupõe a função de comunicar ideias e representar conceitos através de um sistema de signos ou códigos de informação. A Matemática não carrega informações da Física, constrói ou estabelece significados, subjacentes às relações físico-matemáticas.

Portanto, se a Matemática é dada como a linguagem da Física, a mesma deve ser analisada como expressão do pensamento e não apenas como instrumento de comunicação ou descrição. O importante seria a Matemática emprestar todas as suas regras, axiomas e teoremas para o processo de produção de objetos que permitirão a construção de significados e, conseqüentemente, propiciar a interpretação ou questionamento da fenomenologia presente no mundo físico.

Mas quais significados permitiriam um entendimento do mundo físico, através das estruturas matemáticas, apresentadas no ensino de Física?

SIGNIFICADOS NOMINAIS E RELACIONAIS

Lemke (1999; 2002) defende a ideia de que a Matemática interliga significados nominais-tipológicos e relacionais-topológicos. Sendo que tais significados constituiriam uma espécie de entidades ou unidades de análise, que permitiriam, mediante a inter-calibração existente entre eles, detectar a construção de significados matemáticos.

As expressões matemáticas, em geral, são formadas por símbolos nominais-tipológicos. No entanto, as relações que elas proporcionam, condensam significados relacionais-topológicos.

Isto fica explícito quando se escreve uma fração $5/3$, por exemplo. Os números e a barra oblíqua (/) são nominais-tipológicos. Afinal, visualizar um

asterisco (*) entre os números 5 e 3, significaria uma multiplicação entre ambos. Assim, de acordo com as ideias de Lemke (2002), supõe-se que, por contraste, interpreta-se a barra como uma divisão, levando à leitura do conjunto simbólico (5; /; 3) como uma fração; ‘cinco terços’.

Já a proporção que esta fração gera tem um significado relacional-topológico. Afinal, representa um grau ou relação; quantas vezes o número 5 é maior que no número 3.

Todos estes significados, nominais-tipológicos e relacionais-topológicos, estariam condensados na fração 5/3. Construir o seu significado matemático consistiria, portanto, numa construção híbrida destes dois significados.

Em relação a construção de significados condensados em estruturas físico-matemáticas pode-se pensar na famosa segunda Lei de Newton, $\vec{F} = m\vec{a}$. Nesta estrutura matemática estão condensados tanto significados nominais-tipológicos quanto relacionais-topológicos.

A representatividade simbólica, por exemplo, o que significam os símbolos \vec{F} , m e \vec{a} , respectivamente, força, massa e aceleração, bem como o caráter vetorial da primeira e da última constituem significados nominais-tipológicos. A proporção, puramente algébrica, entre tais grandezas, também condensa significados nominais-tipológicos. Afinal, o discurso do ‘quanto maior este, menor aquele’, ‘diretamente ou inversamente proporcional’ seria tão nominal-tipológico quanto nomear os símbolos, dentro do ensino de Física.

Estes significados não identificam ou integram matemática à fenomenologia física, que está condensada em $\vec{F} = m\vec{a}$. Tal integração se dá a partir de relações físico-matemáticas. São estas que permitem a identificação do grau fenomenológico, diferente de um grau, meramente algébrico matemático, por isso tais relações constituem um grau de complexidade semântica maior. São elas que consideram a massa como sinônimo de inércia e permitem o entendimento do porquê que é mais fácil acelerar um carrinho de compras vazio do que quando está cheio.

Além das relações físico-matemáticas de grau fenomenológico, estão condensadas também as relações físico-matemáticas de estrutura. Afinal, conforme demonstra Bocheço (2021), Newton chega à força através da trajetória,

que, portanto, constitui-se na ponte estrutural que permite conectar objetos físicos da Dinâmica $\left(\frac{\vec{F}}{m}\right)$ à Cinemática $\left[\vec{a}=\frac{d^2x}{dt^2}\right]$.

Tanto relações físico-matemáticas de grau fenomenológico quanto de estrutura constituem significados relacionais-topológicos, que estariam condensados em $\vec{F}=m\vec{a}$. Portanto, um discurso do processo de matematização no ensino de Física, subjacente a uma linguagem com semântica *estruturante*, que supere a concepção rasteira de semântica *técnica*, comunicativa ou nominal, seria pensar na construção híbrida de significados nominais-tipológicos e relacionais-topológicos, condensados em estruturas matemáticas.

Estes seriam os princípios organizacionais ou códigos que possibilitariam a construção de uma ferramenta de análise que permita a construção de um perfil semântico do discurso matematizador no ensino de Física. A dimensão semântica da Teoria dos Códigos de Legitimação de Maton (2014a) possibilita a construção desta ferramenta analítica.

CÓDIGOS DE LEGITIMAÇÃO

A Teoria dos Códigos de Bernstein (1999; 1998; 1996) consiste em descrever as práticas organizacionais, discursivas e de transmissão, presentes nos dispositivos pedagógicos. Sua preocupação é subjacente à reprodução cultural, ou seja, às relações de poder externas à educação, geradoras de uma dominação de classe, patriarcal e étnica. Entretanto, diferente de outras teorias da reprodução, sua preocupação condiz com uma análise interna da estrutura do discurso pedagógico.

Tal análise se concentra em uma teorização a respeito da “estrutura do discurso, a lógica do discurso, que fornece os meios pelos quais as relações externas de poder possam ser transportadas por ele” (BERNSTEIN, 1996, p. 18).

De todas as Ciências Naturais, o exemplo mais emblemático de estrutura de conhecimento hierárquico é a Física (BERNSTEIN, 1999), que procura a construção de teorias generalizantes para dar conta de uma ampla variedade de fenômenos físicos. Isto é diferente da Sociologia, por exemplo, que envolve diversas abordagens para interpretar o mesmo objeto de estudo.

Estas generalizações providas no campo da Física integram a Matemática, criando assim um discurso de matematização, tanto na esfera da sua produção quanto na esfera do seu ensino. Portanto, seria razoável questionar-se a respeito de como o ensino de Física organiza este discurso de matematização. Identificar os princípios organizacionais que estruturariam um discurso do processo de matematização no ensino de Física, bem como analisá-los em materiais didáticos e salas de aula de Física.

As análises historiográficas dos processos de matematização newtoniana e maxwelliana, apresentadas por Boheco (2021), demonstram que as relações físico-matemáticas seriam a essência dos códigos ou princípios organizacionais que guiariam a legitimação de um discurso de matematização *estruturante* no ensino de Física. Tais relações, seja de forma tácita ou explícita, é que promoveriam a construção de significados relacionais-topológicos (LEMKE, 1999; 2002), propícios ao questionamento e a interpretação de fenômenos, mediante a estruturação de um pensamento físico.

Já os códigos ou princípios organizacionais que legitimariam um discurso de matematização *técnico*, dizem respeito aos significados nominais-tipológicos (LEMKE, 1999; 2002). Uma semântica conectada com a representatividade simbólica e a nominalização de proporções entre grandezas físicas, também condensados em estruturas matemáticas que são matematizadas no ensino da Física.

Importante frisar que, em acordo com Bernstein (1999), o termo ‘*código*’ não se refere à língua, enquanto sistema de regras ou signos. Em sua definição mais aprimorada, “código é um princípio, tacitamente adquirido, que seleciona e integra significados relevantes, a forma de suas realizações e dos contextos que evoca” (BERNSTEIN, 1996, p. 143). Ou seja, ‘*código*’ para Bernstein significa um princípio regulador subjacente às manifestações do discurso, tanto em termos de percepção quanto da ordem do sentido. Está relacionado aos princípios que regulam a seleção e organização dos discursos (MAINARDES; STREMELE, 2010; SANTOS, 2003).

A categorização de Bernstein aponta uma etapa inicial para a análise do discurso de matematização no ensino de Física. No entanto, sua categorização é insuficiente quanto à missão em observar seus princípios organizacionais dentro de dados coletados. Além disso, sua classificação su-

gere alocar o conhecimento dentro de categorias discretas e relativamente homogêneas.

O discurso de matematização em uma sala de aula ou material didático constitui num processo em que o conhecimento a ser construído vai se modificando ou se integrando ao longo do tempo, linhas, parágrafos ou páginas. Por isso, seria interessante extrapolar a categorização dicotômica (*tem, não tem, é isto ou é aquilo*) para um perfilamento dinâmico, de como tal processo modifica-se ou é construído.

Tal intento é possível através de uma espécie de ampliação da Teoria dos Códigos de Bernstein, conhecida como Teoria dos Códigos de Legitimação² (TCL), proposta por Maton (2014a).

A TEORIA DOS CÓDIGOS DE LEGITIMAÇÃO

A Teoria dos Códigos de Legitimação (TCL) constitui uma teoria prática, subjacente à construção de conhecimento em educação e outras áreas. Seus conceitos ou ferramentas têm sido adotados por professores/pesquisadores, que buscam mapear as propostas de construção do conhecimento, com a finalidade de entender, mudar e melhorar suas práticas (MATON, 2013; MATON, 2014a; MATON; HOOD; SHAY, 2016; MARTIN; MATON; DORAN, 2020).

Esta teoria é subjacente a uma abordagem sociológica do conhecimento e da educação. Está imersa no realismo social e sua teorização apoia-se nas noções de discurso e estruturas de conhecimento de Bernstein (1999). Assim como na obra de Pierre Bourdieu, a qual estabelece a relação dos atores sociais com o conhecimento como uma luta por poderes e recursos.

Maton (2014a) propõe um quadro conceitual que viabiliza a observação de práticas de conhecimento, de modo a identificar seus princípios organizacionais, bem como explorar suas propriedades e poderes. A TCL condiz com uma teoria prática e não um paradigma. Fornece um kit de ferramentas conceituais e de metodologia analítica. Além de se caracterizar como uma teoria sociológica e não filosófica.

² Em inglês; *Legitimation Code Theory* (LCT)

Seu desenvolvimento parte da pesquisa de problemas substantivos, de modo a se retroalimentar. Afinal, uma característica marcante é ser evolutiva perante a pesquisa de diversos tópicos, cujos dados retornam à teoria exigindo esclarecimentos, aprimoramentos e desenvolvimentos.

A TCL não constitui um relato substantivo específico de conhecimento ou educação. Pesquisas que utilizam seus conceitos originam hipóteses explicativas relativas a situações-problemas. Mais do que conhecimento e conhecedores, constitui-se numa sociologia da legitimidade.

Para Maton (2014a), as práticas de conhecimento podem ser entendidas como linguagens de legitimação; reivindicações realizadas por atores dispostos a criarem e manterem espaços dentro de campos sociais da prática. Tal linguagem propõe regras e critérios dentro de um campo, sendo que as primeiras ditam a conduta de participação e os segundos avaliam as conquistas no campo.

A TCL conceitua os princípios organizadores das práticas em termos de códigos de legitimação. Conforme Maton (2014a)

Subjacente à estruturação de campos e agindo como uma espécie de mecanismo de taxa de câmbio entre moedas, está o Dispositivo de Legitimação [...]. Quem controla esse ‘dispositivo’ estabelece códigos de legitimação específicos como dominantes e define o que é legítimo, moldando o campo social da prática como um campo dinâmico de possibilidades (idem, p. 44 – tradução nossa – grifos do autor).

Portanto, analisar códigos de legitimação ligados ao discurso de matematização no ensino de Física, permitiria explorar o discurso que se configura como dominante. Afinal, além de evidenciá-lo, é possível caracterizá-lo. Uma espécie de estudo da tradição no ensino de Física, que fundamentaria de maneira mais contundente a sua crítica e propostas de inovação.

Assim, de modo genérico, a TCL consiste num “conjunto de ferramentas [...] para o estudo da prática” (MATON, 2013, p.10 – tradução nossa), como o discurso do processo de matematização no ensino de ideias físicas, por exemplo.

A TCL é constituída por quatro dimensões que integram o seu mecanismo de legitimação: Autonomia, Especialização, Semântica e Temporalida-

de. Cada dimensão inclui conceitos para analisar os princípios organizadores como tipos específicos de códigos de legitimação.

Estas dimensões não exploram diferentes práticas empíricas, mas sim os diferentes princípios organizadores de tais práticas. De modo que estas dimensões, bem como seus conceitos internos, podem ser utilizadas de forma articulada ou independente, sendo esta escolha subordinada ao objeto de estudo.

Ao que tudo indica, a TCL oportuniza um mapeamento ou a descrição dos princípios organizacionais que legitimam a prática do discurso de matematização no ensino de ideias físicas, através da sua dimensão Semântica. Afinal, o foco estaria na análise dos significados ou códigos semânticos, condensados ou que se consubstanciam em tal discurso.

TCL E A SUA DIMENSÃO SEMÂNTICA

A dimensão Semântica da TCL considera os campos sociais das práticas como estruturas semânticas, cujos princípios organizadores são conceituados como códigos semânticos, compreendendo forças de Gravidade Semântica (GS) e Densidade Semântica (DS).

Alexandre (2012) argumenta que esta dimensão está preocupada com duas questões: Em que grau o conhecimento se relaciona com o contexto (Gravidade)? Em que grau o conhecimento ou a sua complexidade está condensado em símbolos (Densidade)?

Considerando que as estruturas matemáticas, apresentadas no ensino de Física, condensam significados com diferentes complexidades semânticas, elencou-se o conceito de DS como o mais propício para o provimento de uma ferramenta de análise, capaz de revelar um perfil semântico, subjacente ao discurso de matematização no ensino de Física.

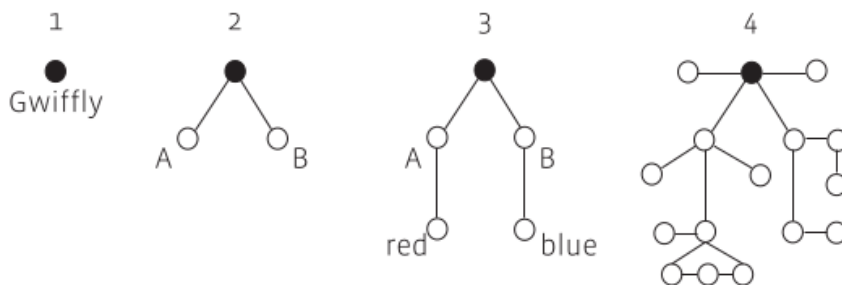
A Densidade Semântica (DS) condiz com o grau de condensação de significados dentro de uma prática (estruturas matemáticas, por exemplo). Sua codificação, de acordo com Maton (2013), revela se a complexidade é relationalmente mais forte (+) ou mais fraca (-), ao longo de um continuum de forças.

No fortalecimento da DS (+DS), há um aumento da complexidade semântica que está condensada dentro das práticas. Enquanto o enfraquecimento (DS) condiz com o oposto. “A força da densidade semântica de uma prática ou símbolo refere-se à estrutura semântica em que está localizada” (MATON, 2013, p.211 – tradução nossa).

Segundo Maton e Doran (2017a, p. 49) “[...] a densidade semântica explora a relacionalidade dos significados: quanto mais os significados estão relacionados, mais forte é a Densidade Semântica.”

Para ilustrar a noção de relacionalidade, os autores apresentam a Figura 1, abaixo. Onde aparece uma palavra sem sentido, Gwiffly.

Figura 1 - Constelação Gwiffly



Fonte: Maton e Doran (2017a, p. 49)

De acordo com Maton e Doran (2017a, p. 49), a declaração ‘há um Gwiffly’ (uma palavra sem sentido) estabelece um nó solitário de significado (número 1 na Figura 1). Porém, descrever ou desmembrar dois tipos de ‘Gwiffly’, como ‘A’ e ‘B’ (número 2), estabelece uma relação entre ‘Gwiffly’ e dois outros termos ou significados. Ao continuar descrevendo que ‘Gwiffly A’ é vermelho e ‘Gwiffly B’ é azul, as relações destes termos com outros significados ficam ainda maiores (número 3). De modo que se inicia a constituição de uma constelação de significados. Um processo que pode se dar de forma contínua e indefinida (número 4).

No caso da Segunda Lei de Newton, por exemplo, um discurso matema-
tizador focado apenas na apresentação dos significados tipológicos de $\vec{F} = m\vec{a}$,

ou seja, que apenas descreve o que representam os símbolos \vec{F} , m e \vec{a} , revelaria um grau de estrutura semântica ligada apenas à representatividade simbólica. Algo restrito ao âmbito nominal-*tipológico*, onde menos significados estão relacionados. Ou seja, estaria ligado a níveis de DS mais fracos.

A mesma restrição estaria presente num discurso de matematização cujo foco é o processo nominal de ler ou descrever as proporções entre \vec{F} , m e \vec{a} . Tratar a massa como uma constante de proporcionalidade e evocar um discurso matematizador do tipo ‘a aceleração é inversamente proporcional a massa’ ou que ‘para uma mesma força, quanto maior a massa, menor a aceleração’, por exemplo. Apesar de que mais significados estariam relacionados, este tipo de discurso não integra, de fato, a Matemática à fenomenologia física.

As estruturas semânticas apresentadas pelos supostos discursos de matematização, descritos nos dois parágrafos anteriores, caracterizaria a construção de significados referente a uma complexidade semântica bastante *técnica*. Ligada ao âmbito nominal-*tipológico*.

No entanto, um discurso de matematização que extrapolasse os significados nominais-*tipológicos* e abordasse, também, os significados relacionais-*topológicos*, referentes às relações físico-matemáticas de grau fenomenológico e estrutura física, que estão condensados em $\vec{F}=m\vec{a}$, caracterizaria a construção de estruturas semânticas mais complexas. Uma complexidade subjacente ao tratamento da massa como sinônimo de inércia e não uma simples constante de proporcionalidade.

Isto revelaria um discurso matematizador capaz de integrar, de fato, Matemática e natureza ou fenomenologia física. Encorpado de uma estrutura semântica mais complexa, portanto com +DS, e que daria conta de interpretar ou questionar fenômenos físicos, como o porquê de uma mesma força proporcionar acelerações diferentes, ao agir sobre um carrinho de compras vazio ou cheio. Bem como, entender a relação de estrutura que há entre força e trajetória.

Este discurso matematizador, caracterizado pela construção dos significados relacionais-*topológicos*, condensados em $\vec{F}=m\vec{a}$, estaria subjacente a uma construção discursiva com complexidade semântica *estruturante*.

Portanto, o conceito de DS permitiria qualificar o discurso que forja a abordagem Matemática no ensino de Física, de forma a revelar se há uma legitimação inclinada a uma abordagem *técnica e/ou estruturante*, mediante o perfilamento desta prática.

PERFIL SEMÂNTICO DA ABORDAGEM MATEMÁTICA NO ENSINO DE FÍSICA

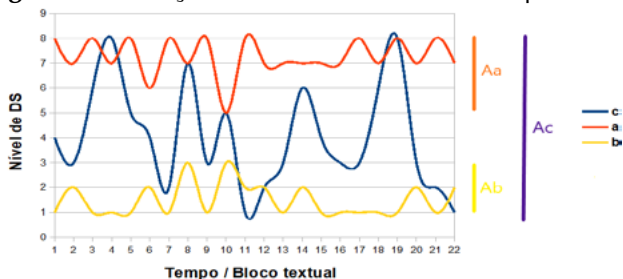
O conceito de DS apresenta um continuum de forças relativas, que podem representar infinitas gradações de valores ou níveis. De modo que, traçar as variações destas forças, num plano cartesiano, possibilita estabelecer um perfil semântico, mediante a movimentação entre diferentes graus de complexidade semântica (MATON, 2014a; 2013).

O entendimento aqui refere-se à existência de diferentes níveis de complexidade semântica condensados em estruturas matemáticas, como $\vec{F} = m\vec{a}$, por exemplo. Onde estariam condensados tanto significados nominais-tipológicos quanto relacionais-topológicos. Os primeiros seriam dotados de uma complexidade semântica mais fraca que os últimos.

Desta forma, uma prática discursiva de matematização poderia ser analisada numa espécie de oscilação semântica. De modo que a construção de significados seria caracterizada pelo fortalecimento ou enfraquecimento da DS.

Em tal movimentação, tal oscilação evidenciaria uma distância entre pontos extremos de DS, '*mais forte*' e '*mais fraco*', o que caracterizaria aquilo que se denomina de Alcance Semântico. A figura 2 a seguir, ilustra a hipótese de três perfis semânticos distintos, por exemplo.

Figura 2 - Ilustração de três Perfis Semânticos hipotéticos



Fonte: adaptado de Maton (2014b, p. 6)

Na figura 2, as curvas a, b e c ilustram, hipoteticamente, 3 perfis semânticos, que demonstrariam como ocorre o fortalecimento e o enfraquecimento da DS, subjacentes a três discursos de matematização diferentes, hipoteticamente proferidos através da fala de um professor ou um texto didático. Por isso, no eixo das abcissas ilustra-se as variáveis tempo ou bloco textual. Os números neste eixo seriam referentes aos minutos de aula ou quantidade de blocos.

Pela Figura 2, percebe-se que os perfis pulsam com Amplitudes ou Alcances Semânticos diferentes (A_a , A_b e A_c). O perfil c, por exemplo, é a que oscila com maior Alcance Semântico. Diria respeito a um discurso que abrange todos os níveis de DS. Ou seja, abrange a construção de significados referentes a diferentes níveis de estrutura ou complexidade semântica.

Já os perfis a e b pulsam ou oscilam até mais que a curva c, porém, limitados no que diz respeito ao Alcance Semântico. Como se a movimentação do fortalecimento e/ou enfraquecimento da DS ficasse restrita a uma construção de significados com alta complexidade semântica, no caso do perfil a, ou uma baixa complexidade semântica, tratando-se do perfil b.

Trazendo a interpretação destes perfis para o ensino de Física, propõe-se imaginar um discurso matematizador da segunda Lei de Newton, $\vec{F} = m\vec{a}$, por exemplo.

No caso do perfil a cujo Alcance Semântico do discurso de matematização é A_a , praticamente, oscilando entre níveis de DS mais fortes, pode-se interpretar um discurso caracterizado pela construção de significados condizentes com um alto nível de complexidade semântica. É como se um material didático ou professor dispusessem blocos textuais semânticos ou tempo de fala focados apenas nos aspectos relacionais, que estão condensados em $\vec{F} = m\vec{a}$.

Já o perfil b, cujo Alcance Semântico também fica, basicamente, flutuando entre dois níveis, porém, mais fracos (-DS), pode-se interpretar um discurso matematizador de $\vec{F} = m\vec{a}$, onde um material didático ou professor dispõem blocos textuais ou tempo de fala focados em descrever ou nominar os símbolos e as relações de proporção, condensados nesta estrutura matemática. Um discurso que estaria legitimando aspectos nominais/descriptivos, de baixa

complexidade semântica e pouca integração fenomenológica, entre estrutura matemática e mundo empírico/físico.

Enquanto isso, no perfil c, o material didático ou professor dispendem um discurso de matematização que permeia a construção de significados ligados tanto à representação simbólica (nominal, descritiva) quanto aos aspectos relacionais. Ou seja, o fortalecimento e enfraquecimento da DS demonstra uma oscilação mais ampla do Alcance Semântico (Ac).

Porém, para traçar um perfil semântico, referente à estrutura epistêmica do discurso de matematização, em salas de aula de Física ou materiais didáticos, é preciso um dispositivo de tradução ou uma ferramenta de análise.

DISPOSITIVO DE TRADUÇÃO

Para rastrear o perfil semântico da abordagem Matemática no ensino de Física, via o conceito de DS, é importante conceituar o seu processo de fortalecimento e enfraquecimento (DS $\uparrow \downarrow$). O intervalo semântico entre as forças mais altas e mais baixas caracterizará um Alcance Semântico e a oscilação/pulsação deste poderá potencializar a qualificação da abordagem, dentro do espectro *técnico-estruturante*.

No entanto, traçar o fortalecimento e enfraquecimento da DS, de um discurso matematizador, de modo a perfilar a estrutura epistêmica deste discurso, exige um dispositivo de tradução. Conforme Maton e Doran (2017a; 2017b) este dispositivo de tradução oferece um modo de analisar o discurso pelo qual uma prática, como a abordagem da Matemática no ensino de Física, pode expressar os seus princípios organizadores ou códigos semânticos.

Importante salientar que o dispositivo oferece uma classe de categorias que caracterizam o discurso em níveis de estrutura epistêmica, permitindo representar o fortalecimento ou enfraquecimento do grau de complexidade com que os significados estão condensados (DS $\uparrow \downarrow$). No caso aqui, em estruturas matemáticas, como, $\vec{F} = m\vec{a}$, por exemplo.

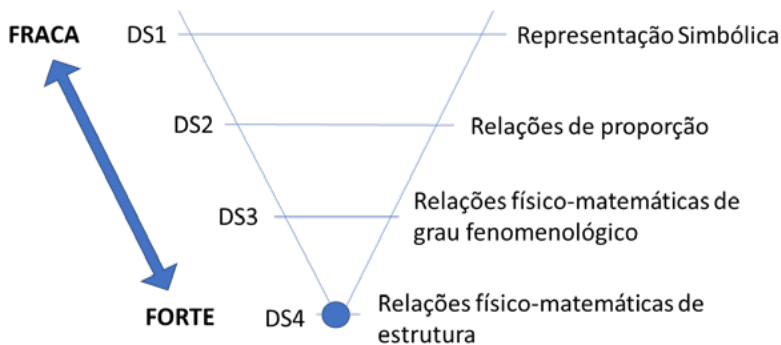
Porém, tais categorias, que permitem 'ler' o discurso, não se constituem em conceitos, unicamente, linguísticos. São atributos do próprio conhecimento. Em outras palavras, Maton e Doran (2017a; 2017b) enfatizam que o

conhecimento pode ser expresso de diversas formas, uma das quais através do discurso. A função do dispositivo de tradução consiste em explorar como essa expressão no discurso pode revelar uma característica do conhecimento que está sendo expresso ou construído. Portanto, o dispositivo refere-se aos princípios organizacionais (níveis de DS) que compõem a episteme de uma prática discursiva.

Como pretende-se traçar um perfil semântico do discurso de matematisação no ensino de Física, de forma a qualificá-lo no espectro *técnico-estruturante*, obviamente, é necessário elencar níveis de DS tanto para o âmbito *técnico* quanto o *estruturante*.

Assim, foram elencados 4 níveis de estrutura epistêmica ou DS, referentes à construção de um discurso de matematisação no ensino de Física. Os 2 primeiros, subjacentes ao âmbito *técnico* e os 2 últimos ao âmbito *estruturante*. Tais níveis são representados na Figura 3, abaixo.

Figura 3 – Níveis de Densidade Semântica para a abordagem matemática no ensino de Física



Fonte: Elaboração própria

O nível DS1 refere-se à complexidade semântica mais fraca. Está conectado à representatividade simbólica, condensada numa estrutura matemática. Seria identificado quando o ato discursivo matematizador nomina ou descreve o que representam cada símbolo. Em $\vec{F} = m\vec{a}$, por exemplo, o discurso estaria voltado para descrever \vec{F} como força, m como massa e \vec{a} como aceleração.

O nível DS2 representa um aumento na complexidade semântica, porém, ainda limitado ao âmbito nominal-descriptivo. Este nível seria identificado quando um ato discursivo nomina proporções matemáticas entre grandezas físicas, que estão condensadas nas estruturas matemáticas. Para $\vec{F}=m\vec{a}$, por exemplo, este nível poderia ser identificado quando se verbaliza que “*aceleração é proporcional à força*” ou que “*quanto maior a massa, menor a aceleração*”. Ou seja, o discurso de matematização trata a massa como constante de proporcionalidade.

Estes níveis DS1 e DS2 caracterizam o âmbito nominal-descriptivo. Portanto, identificam na episteme do discurso de matematização uma abordagem *técnica* da Matemática no ensino de Física. Ou seja, uma construção de significados subjacentes a uma baixa complexidade semântica. Praticamente estéril quanto a uma fenomenologia física.

O nível DS3 corresponde as relações físico-matemáticas, de grau fenomenológico. Em $\vec{F}=m\vec{a}$, pode ser identificado no tratamento da massa como sinônimo de inércia e não como uma simples constante de proporcionalidade. Neste caso, é a massa inercial e aditiva que permite uma integração da Matemática com a natureza, proporcionando uma construção relacional de significados com grau de complexidade mais elevada que o níveis DS1 e DS2. Neste caso, um estudante estaria conectando a ideia físico-matemática de que para acelerar um carrinho de compras cheio exige mais força do que um vazio. Não apenas memorizando a verbalização de proporções algébricas entre grandezas físicas.

Já o nível DS4 corresponde ao maior grau de complexidade semântica, condensado em $\vec{F}=m\vec{a}$. E que, neste caso, diz respeito as relações de estrutura entre força e trajetória. Afinal, este é o berço da física-matemática que Newton propõe em sua Mecânica Racional (BOCHECO, 2021).

APLICAÇÃO DO DISPOSITIVO DE TRADUÇÃO EM LIVRO DIDÁTICO DE FÍSICA

Bocheço X (2021) aplica este dispositivo de tradução para perfilar o discurso de matematização de $\vec{F}=m\vec{a}$, em livros didáticos de Física do Plano Nacional do Livro Didático (PNLD). A título de demonstração, apresenta-se uma parte de seus resultados, que dizem respeito à análise do livro didático

de Física destinado ao primeiro ano do ensino médio, mais distribuído nas últimas duas edições do Plano Nacional do Livro Didático (PNLD). (BRASIL, 2015; BRASIL, 2018).

O livro em questão foi o título **Física: Mecânica**. (BONJORNIO *et al.*, 2016), onde os autores tratam a 2ª Lei de Newton como o princípio fundamental da Dinâmica e discursam a construção dos significados, condensados em $\vec{F} = m\vec{a}$, em menos 2 páginas.

Separou-se este discurso em 8 blocos semânticos.

No Bloco Semântico 1, os autores iniciam o discurso matematizador com um contexto problematizador referente ao deslocamento horizontal de um bloco, sendo executado por dois meninos, conforme ilustração, abaixo.

Figura 4 – Bloco Semântico 1

Que tipo de movimento um caixote muito pesado apresentaria se um colega o ajudasse a deslocá-lo?

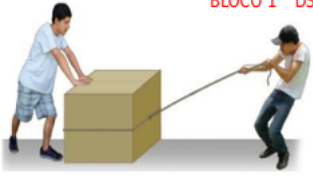
Ainda de acordo com o seu famoso livro **Princípios matemáticos da Filosofia Natural**, Newton enunciou assim a 2ª lei:

“A mudança do movimento é proporcional à força motriz impressa, e se faz segundo a linha reta pela qual se imprime essa força.”

E, na sequência, escreve o seguinte comentário:

“Se toda força produz algum movimento, uma força dupla produzirá um movimento duplo e uma tripla, um triplo, quer essa força se imprima conjuntamente e de uma vez só, quer seja impressa gradual e sucessivamente.”

BLOCO 1 DS2



Paulo César Pereira

Fonte: Bonjorno *et al.* (2016, p. 129)

Neste primeiro bloco semântico, o caminho matematizador dos autores identifica-se com o nível DS2. Restrito a uma construção de significados, condizentes com a nomenclatura de proporções. Isto fica evidente mediante ao uso de trechos do *Principia* de Newton, com fins de nominar a proporcionalidade entre uma força motriz e a mudança de movimento. Nomina-se, claramente, proporções do tipo ‘força dupla implica em movimento duplo’, ‘força tripla implica em movimento triplo’ e assim sucessivamente.

No bloco semântico 2, os autores permanecem restritos a uma legitimação matematizadora nominal-descritiva.

Figura 5 – Bloco Semântico 2

No caso do caixote, uma força dupla produzirá um “movimento duplo”? **BLOCO 2 DS2**

Fonte: Bonjorno et al. (2016, p. 129)

Percebe-se, explicitamente, a intencionalidade didática do discurso matematizador, em conectar os trechos do *Princípios* com a construção de significados nominais-descriptivos. Dois meninos tentando deslocar o bloco, na mesma direção e sentido, implica numa força dupla, logo haverá um movimento duplo. Ou seja, os autores não alternam o nível de DS, permanecendo no nível DS2.

No Bloco Semântico 3, citando uma experiência, os autores legitimam ainda mais o caminho da construção semântica subjacente à proporção nominal-descriptiva.

Figura 6 – Bloco Semântico 3

A experiência evidencia que uma mesma força produzirá diferentes acelerações sobre corpos com diferentes massas. Uma mesma força provoca uma aceleração maior numa bola de futebol do que numa bola de boliche. Do mesmo modo, quanto maior a massa de um corpo, mais força será necessária para produzir determinada aceleração.

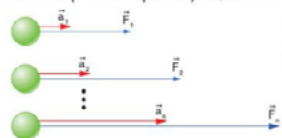
Para compreender melhor esse fato, imagine uma experiência em que um corpo é sujeito, sucessivamente, a diferentes forças resultantes $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n$ que produzem, respectivamente, acelerações $\vec{a}_1, \vec{a}_2, \dots, \vec{a}_n$.

Efetuada-se o quociente entre a intensidade de cada força resultante e da respectiva aceleração tem-se:

$$\frac{F_1}{a_1} = \frac{F_2}{a_2} = \dots = \frac{F_n}{a_n} = k = \text{constante}$$

O quociente mostra que, duplicando o valor da força resultante, o valor da aceleração duplica; triplicando o valor da força, o valor da aceleração triplica, e assim sucessivamente.

Dessa experiência, conclui-se que a constante k mede a resistência que o corpo opõe ao ser acelerado, isto é, mede a inércia do corpo. A constante k é denominada **massa inercial** do corpo ($k = m$).



Fonte: Bonjorno et al. (2016, p. 129)

Fica explícita a intenção discursiva em estabelecer relações de proporções nominais, chegando a uma grandeza K , constante, que quantificaria a massa de um corpo. Ou seja, esta última é dada como uma constante de proporcionalidade, mantendo-o no nível DS2.

No Bloco Semântico 4, os autores permanecem legitimando um discurso nominal.

Figura 7 – Bloco Semântico 4

Desse modo, para corpos de mesma massa, a aceleração é diretamente proporcional à força resultante aplicada e tem a mesma direção e o mesmo sentido que ela. **BLOCO 4 DS2**

Fonte: Bonjorno et al. (2016, p. 129)

A conclusão de que aceleração e força resultante são diretamente proporcionais fica evidente através de um discurso nominal. Não há um fenomenológico envolvido para a construção semântica de tal relação. Por isso o Bloco Semântico 4 permanece no nível DS2.

No Bloco Semântico 5, os autores enunciam ou apresentam a equação $\vec{F} = m\vec{a}$.

Figura 8 – Bloco Semântico 5

O fato de que a relação entre a força resultante aplicada a um corpo e a aceleração adquirida pelo corpo é constante e igual a **m** é expressa pela relação:

$$\frac{\vec{F}_R}{\vec{a}} = m, \text{ ou seja, } \vec{F}_R = m \cdot \vec{a}$$

BLOCO 5 DS2

Esta fórmula é conhecida como 2ª lei de Newton ou **princípio fundamental da dinâmica**, que em módulo fica:

$$F = m \cdot a$$

Fonte: Bonjorno et al. (2016, p. 129)

Geralmente, o enunciado da estrutura matemática ocorre no patamar da complexidade semântica nominal. Revelador de uma construção de significados tangente ao nível DS2.

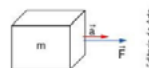
A seguir, no Bloco Semântico 6, os autores abordam os significados subjacentes à representatividade simbólica.

Figura 9 – Bloco Semântico 6

em que:

- F_R : módulo da resultante de todas as forças que agem sobre o corpo;
- **m**: massa do corpo;
- **a**: módulo da aceleração adquirida.

BLOCO 6 DS1



Fonte: Bonjorno et al. (2016, p. 129)

Neste bloco, nitidamente, os autores possuem a intencionalidade didática em construir significados conectados à representação simbólica de \vec{F}_R , m e \vec{a} . Por isso a categorização deste bloco no nível DS1.

No Bloco Semântico 7, os autores alternam o nível de DS.

Figura 10 – Bloco Semântico 7

BLOCO 7 DS2

A aceleração de um corpo é diretamente proporcional à força resultante que age sobre ele, inversamente proporcional à sua massa e tem a mesma direção e o mesmo sentido da força resultante.

Fonte: Bonjorno et al. (2016, p. 130)

Ao 'lerem' ou descreverem as relações entre força resultante, massa e aceleração, os autores retornam à seara semântica nominal. Descrevem, nominalmente, relações que estão condensadas em $\vec{F} = m\vec{a}$. Por isso, este bloco é categorizado no nível DS2.

Os autores encerram o discurso de matematização no Bloco Semântico 8.

Figura 11 – Bloco Semântico 8

A unidade de força no SI é o newton (N), que corresponde à força necessária para acelerar a massa de 1 kg a 1 m/s².

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m/s}^2$$

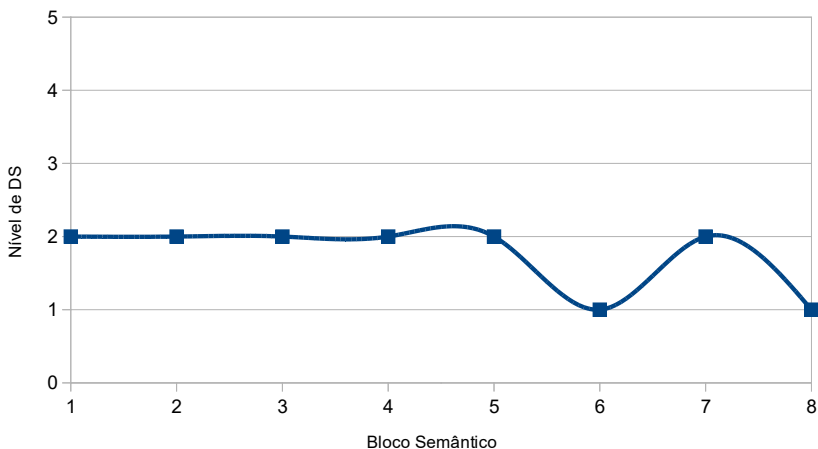
BLOCO 8 DS1

Fonte: Bonjorno et al. (2016, p. 130)

Neste bloco, os autores nominam as unidades de medida, que compõem as grandezas físicas de $\vec{F} = m\vec{a}$. Uma intencionalidade didática discursiva voltada para a representação simbólica, ou seja, ao nível DS1.

Mediante os dados, referentes aos Blocos Semânticos e os níveis de DS categorizados, pode-se traçar o perfil semântico para o discurso de matematização analisado.

Figura 12 – Perfil Semântico do discurso de matematização de $\vec{F}=m\vec{a}$, em Bonjorno *et al.* (2016)



Fonte: elaboração própria

Pelo perfil semântico acima, demonstra-se que a episteme discursiva de matematização para a segunda Lei de Newton, apresentada pelos autores, fornece indicativos de uma legitimação discursiva mais inclinada ao âmbito semântico da *técnica*. O discurso matematizador não aborda os níveis de DS, subjacentes à semântica *estruturante* (DS3 e DS4).

Identifica-se uma construção de significados na qual o Alcance Semântico, praticamente, não pulsa. Limita-se à seara semântica nominal e inclina-se à uma intencionalidade didática voltada para o desenvolvimento de *habilidades técnicas*, muito conectadas com a resolução de questões tipo *plug-and-play*: a famosa prática tradicional de aplicação de fórmulas.

Este indicativo não significa taxar o discurso de matematização analisado como inadequado. O que se propõe aqui não condiz com uma estigmatização ou ato valorativo. Afinal, isto fugiria do principal propósito da Teoria dos Códigos de Legitimação; proporcionar uma análise dinâmica e reflexiva das práticas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apontam que a TCL, de fato, viabiliza a construção e aplicação de uma ferramenta que permita a construção de perfis semânticos, subjacentes ao discurso de matematização no ensino de Física. De modo que esta prática seja exposta de forma dinâmica, perante o espaço-tempo de materiais didáticos e salas de aula de Física, permitindo uma análise mais acurada dos códigos que legitimam o discurso matematizador.

Diversos trabalhos revelam a problemática educacional, quanto a abordagem da Matemática no ensino de Física. Portanto, a análise e estudo da sua prática permitiria entender o dispositivo de legitimação dominante, que vem proporcionando problemas e distorções, quanto ao papel da Matemática no ensino de ideias físicas.

Bocheço (2021) aplica a mesma ferramenta para analisar os outros dois Livros Didáticos de Física, destinados ao primeiro ano do ensino médio, mais distribuídos pelo PNLD (BRASIL, 2015; BRASIL, 2018). Os perfis semânticos traçados denunciam que o discurso de matematização da segunda Lei de Newton – $\vec{F}=m\vec{a}$, está fortemente inclinado à uma legitimação *técnica*. Ou seja, o dispositivo de legitimação dominante parece revelar a Matemática como ferramenta de cálculo no ensino de Física. Diferente do papel *estruturante* que a primeira desempenha na construção teórica da segunda e cujos preceitos guiariam para uma abordagem inovadora, de âmbito *estruturante*.

Importante destacar que a proposta aqui diz respeito a um estudo de caráter analítico e não valorativo. A ideia é potencializar elementos reflexivos que colaborem para o entendimento da tradição de ensino, de modo a guiar propostas inovadoras, subjacentes à uma abordagem *estruturante* da Matemática no ensino de Física.

ABORDAGEM MATEMÁTICA NO ENSINO DE FÍSICA E A TEORIA DOS CÓDIGOS DE LEGITIMAÇÃO

Resumo: O objetivo desta pesquisa é apresentar o potencial da Teoria dos Códigos de Legitimação (TCL), quanto à composição de um dispositivo de tradução, voltado para a construção de perfis semânticos, subjacentes à abordagem Matemática no ensino de Física. Defende-se o processo de matematização como uma construção híbrida entre significados tipológicos (aspecto nominal) e significados topológicos (aspecto relacional). Princípios organizacionais de um discurso de matematização no ensino de Física que seriam uma

espécie de códigos semânticos, condensados em estruturas matemáticas, como $\vec{F}=m\vec{a}$, por exemplo, que, quando revelados ou manifestos, permitiriam traçar um perfil semântico do discurso matematizador, dentro de um espectro denominado *técnico-estruturante*. Tal revelação é possível mediante o conceito de Densidade Semântica, presente na TCL e que diz respeito ao grau com que o conhecimento ou suas complexidades estão condensados em símbolos. Através de níveis de DS, baseados nos significados nominais e relacionais, apresenta-se um dispositivo de tradução, bem como a sua aplicabilidade na análise do discurso de matematização da segunda Lei de Newton - $\vec{F}=m\vec{a}$, presente num livro didático de Física.

MATHEMATICAL APPROACH IN PHYSICS TEACHING AND LEGITIMATION CODE THEORY

Abstract: This research aims to discuss the potential of the Legitimation Code Theory (LCT) in terms of a translation device, aimed at the construction of semantic profiles underlying the mathematics approach in Physics teaching. The process of mathematization is defended as a hybrid construction between typological meanings (nominal aspect) and topological meanings (relational aspect). This process refers to organizational principles of a mathematization discourse in Physics teaching. Such principles would be a semantic code condensed into mathematical structures, such as $\vec{F}=m\vec{a}$. When revealed or manifested, these principles would allow building a semantic profile of the mathematizing discourse within a *technical-structuring spectrum*. Such revelation is possible through the concept of Semantic Density (SD) present in the LCT, which concerns the degree to which knowledge, or its complexities are condensed into symbols. Through the SD levels, and based on nominal and relational meanings, a translation device is presented and its applicability in the analysis of the mathematization discourse of Newton's second law - $\vec{F}=m\vec{a}$ present in a Physics textbook.

SOBRE OS AUTORES

Otávio Boheco

Possui licenciatura em Física (2001), Mestrado (2011), e Doutorado (2021) em Educação Científica e Tecnológica pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Foi professor de Física em escolas de nível médio, durante uma década. Desde 2011, é professor de Física do Instituto Federal Catarinense - Campus Rio do Sul/SC, onde ministra aulas no curso superior de Licenciatura em Física e cursos técnicos profissionalizantes de nível médio. No ensino superior ministra disciplinas de Física Geral, História e Filosofia da Ciência e Didática das Ciências. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4648-5037>.

Frederico Firmo de Souza Cruz

Possui Bacharelado em Física (1976), mestrado (1979) e doutorado (1987) em Física, pela Universidade de São Paulo (USP). Professor titular da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Tem experiência na área de Física, com ênfase em Teorias de Muitos Corpos em sistemas bosônicos e fermiônicos. Atua também na área de Ensino de Física, orientando dissertações e teses no Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica da UFSC, com temas ligados à modelização, ensino de Física moderna e história e epistemologia da ciência. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8188-0542>. E-mail: fred@fsc.ufsc.br.

Sandro da Silva Livramento Machado

Possui Licenciatura em Física (1999), Mestrado em Física (2004) e Doutorado em Educação Científica e Tecnológica (2017), pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Professor de Física na rede pública estadual de Santa Catarina, desde 1993. Orienta dissertações no Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5623-1543>. E-mail: sanlivera@gmail.com.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDRE, Marta Susana Filipe. **Representação e legitimação do conhecimento científico e suas áreas de especialidade**: análise crítica de entrevistas com cientistas portugueses. 2012. Tese (Doutorado) – Faculdade de Letras, área de Literaturas, Artes e Culturas, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2012.
- BERNSTEIN, Basil. **A estruturação do discurso pedagógico**: classe, códigos e controle. Vozes: Petrópolis, 1996.
- BERNSTEIN, Basil. **Pedagogia, control simbólico e identidade**: teoria, investigación y crítica. Madrid: Ediciones Morata, 1998.
- BERNSTEIN, Basil. Vertical and Horizontal Discourse: An essay. **British Journal of Sociology of Education**, v. 20, n. 2, p. 157-173, 1999.
- BOCHECO, Otávio. **A Abordagem Matemática no Ensino de Física e sua Qualificação no Viés Semântico**. 2021. 211 f. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) – Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021. Disponível em: <https://tede.ufsc.br/teses/PECT0490-T.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2022.
- BONJORNO, J. R. et al. **Física**: Mecânica. 3. ed. São Paulo: FTD, 2016.
- BRASIL. Ministério da Educação. Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. **PNLD 2018 - Valores de Aquisição por Título**: todos os programas. 2015. <https://www.fnnde.gov.br/index.php/centrais-de-conteudos/publicacoes/category/35-dados-estatisticos?download=9709:pnld>. Acesso em 20 jul. 2021
- BRASIL. Ministério da Educação. Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. **PNLD 2018 - VALORES DE AQUISIÇÃO POR TÍTULO**: todos os programas. 2018. Disponível em: https://www.fnnde.gov.br/index.php/centrais-de-conteudos/publicacoes/category/35-dados-estatisticos?download=13221:tabela_de_negociacao_pnld_2018_por_titulo. Acesso em: 20 jul. 2021.
- DORAN, Yeagan John. **The discourse of physics**: building knowledge through language, mathematics and image. London: Routledge, 2018. 239 p. (Routledge studies in multimodality).
- LEMKE, Jay. Mathematics In The Middle: measure, picture, gesture, sign, and word. In: ANDERSON, Myrdene; SAENZ-LUDLOW, Adalira; ZETLWEGER, Shea; CIFARELLI, Victor V. **Educational Perspectives On Mathematics As Semiosis**: from thinking to interpreting toknowing. Ottawa: Legas Publishing, 2002. p. 215-234.
- LEMKE, Jay. Multiplying Meaning: Visual and Verbal Semiotics in Scientific Text. In: MARTIN, James Robert; VEEL, Robert. (eds.) **Reading Science**: Critical and Functional Perspectives on Discourse of Science. London: Routledge, 1998. p. 87-113.
- LEMKE, Jay. Typological and topological meaning in diagnostic discourse. **Discourse Processes**, [S.L.], v. 27, n. 2, p. 173-185, jan. 1999.
- MAINARDES, Jefferson; STREMELE, Silvana. A teoria de Basil Bernstein e algumas de suas contribuições para as pesquisas sobre políticas educacionais e curriculares. **Revista Teias**, v. 11, n. 22, p. 31-54, mai./ago. 2010.
- MARTIN, James Robert; MATON, Karl; DORAN, Yeagan. **Accessing academic discourse**: systemic functional linguistics and legitimation code theory. London & New York: Routledge, 2020. 303 p. (LCT Centre for Knowledge-Building).

MATON, Karl; DORAN, Yaegan. Semantic density: a translation device for revealing complexity of knowledge practices in discourse, part 1—wording. **Onomázein Revista de Linguística, Filología y Traducción**, Santiago, n. NE II, p. 46-76, 5 mar. 2017a.

MATON, Karl; HOOD, Susan; SHAY, Suellen. **Knowledge-building**: educational studies in legitimation code theory. London & New York: Routledge, 2016. 334 p.

MATON, Karl. Building Powerful Knowledge: the significance of semantic waves. In: RATA, Elizabeth; BARRETT, Brian. **Knowledge and the Future of the Curriculum**: international studies in social realism. London, Uk: Palgrave Macmillan, 2014b. Cap. 12. p. 1-238.

MATON, Karl. **Knowledge and knowers**: towards a realist sociology of education. Abingdon: Routledge, 2014a.

MATON, Karl. Making semantic waves: a key to cumulative knowledge-building. **Linguistics and Education**, [S.L.], v. 24, n. 1, p. 8-22, abr. 2013.

PARODI, Geovanni. **University Genres and Multisemiotic Features**: Accessing Specialized Knowledge Through Disciplinarity. Fórum Linguístico. 9:4, 259-282. 2012.

PIETROCOLA, Maurício. A matemática como estruturante do conhecimento Físico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 19, n. 1, p. 93-114, jan. 2002.

POSPIECH, Gesche. **Promoting the competence of mathematical modeling in physics lessons**. Proceedings of the GIREP 2006 p. 575-583. Modelling in Physics and Physics Education. AMSTEL institute, Faculty of Science, University of Amsterdam, Netherlands. August, 2006.

REDISH, Edward F. **Problem solving and the use of math in physics courses**. Palestra proferida na conferência World View on Physics Education in 2005: Focusing on Change. Nova Delhi, 2005.

SANTOS, Lucíola Licínio de C. P.; Bernstein e o campo educacional: relevância, influências e incompreensões. *Cadernos de Pesquisa*, n. 120, p. 15-49, novembro/ 2003

TUMINARO, Jonathan; REDISH, Edward. F. Elements of a cognitive model of physics problem solving: Epistemic Games. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*, v. 3, n. 2, 020101, p. 1-22, 2007.

TUMINARO, Jonathan. **A cognitive framework for analyzing and describing introductory students’ use and understanding of mathematics in physics**. 2004. Tese (Doutorado) – Physics Education, Universidade de Maryland, College Park, 2004.

Recebido em junho de 2022

Aceito em agosto de 2022

The Creative Commons License in Revista InterMeio

CC BY-NC-SA: This license allows reusers to distribute, remix, adapt, and build upon the material in any medium or format for non-commercial purposes only, and only so long as attribution is given to the creator. If you remix, adapt or build upon the material, you must license the modified material under identical terms.

CC BY-NC-SA includes the following elements: • BY: Credit must be given to the creator; • NC: Only noncommercial uses of the work are permitted; • SA: Adaptations must be shared under the same terms.