

Representações da Física de Partículas contemporânea nos livros didáticos do Ensino Médio: experimentação, tecnologia e práticas científicas no PNLD 2026

Representations of contemporary Particle Physics in High School textbooks: experimentation, technology and scientific practices in the 2026 PNLD

Fernanda Mossi Haiduk^{*1}, Gustavo Gil da Silveira¹, Dioni Paulo Pastorio¹

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Física, Porto Alegre, RS, Brasil.

Recebido em 27 de janeiro de 2026. Revisado em 30 de abril de 2026. Aceito em 07 de junho de 2026.

A presença da Física de Partículas nos livros didáticos do Ensino Médio coloca desafios específicos à representação da prática científica contemporânea, marcada por forte mediação tecnológica e organização coletiva. Este artigo investiga como os livros didáticos de Física aprovados pelo Programa Nacional do Livro e Material Didático (PNLD) no ciclo de 2026 representam – ou silenciam – as dimensões experimental, tecnológica e colaborativa da Física de Partículas. Para tal, adota uma abordagem qualitativa e documental, baseada na análise do conjunto completo de obras aprovadas no ciclo, restrita aos livros do estudante. Os materiais foram examinados a partir de categorias analíticas que contemplam conteúdos conceituais, dispositivos experimentais, referências tecnológicas, aspectos sociotécnicos e recursos representacionais. A análise revela um padrão recorrente de apresentação da Física de Partículas centrado em classificações conceituais, com presença limitada de referências às condições experimentais e organizacionais que estruturam a produção de evidências na área. Elementos associados à instrumentação, à computação e à colaboração científica aparecem de forma pontual e pouco integrada aos enunciados conceituais. Esses resultados indicam a consolidação de um regime representacional que privilegia descrições abstratas do campo, em detrimento da explicitação de suas práticas científicas contemporâneas. O estudo oferece subsídios para discutir limites e possibilidades da transposição de áreas altamente especializadas para o currículo do Ensino Médio, contribuindo para reflexões sobre livros didáticos e Ensino de Física.

Palavras-chave: Física de Partículas, Livros didáticos, Física Experimental de Altas Energias, Práticas científicas, PNLD.

The presence of Particle Physics in high school textbooks poses specific challenges to the representation of contemporary scientific practice, which is strongly shaped by technological mediation and collective organization. This paper investigates how Physics textbooks approved in the 2026 cycle of the Programa Nacional do Livro e Material Didático (PNLD) represent – or silence – the experimental, technological, and collaborative dimensions of Particle Physics. The analysis adopts a qualitative, document-based approach applied to the complete set of student textbooks approved in the cycle. The materials were examined using analytical categories encompassing conceptual content, experimental devices, technological references, sociotechnical aspects, and representational resources. The results reveal a recurring pattern in which Particle Physics is predominantly presented through conceptual classifications, with limited reference to the experimental and organizational conditions that structure evidence production in the field. Elements related to instrumentation, computation, and scientific collaboration appear sporadically and are weakly integrated into the conceptual discourse. These findings point to the consolidation of a representational regime that privileges abstract descriptions of the field at the expense of explicit engagement with contemporary scientific practices. The study contributes to discussions on the limits and possibilities of translating highly specialized areas into the high school curriculum, offering insights for research on textbooks and Physics Education.

Keywords: Particle Physics, Textbooks, Experimental High-Energy Physics, Scientific practices, PNLD.

1. Introdução

A Ciência ocupa posição estratégica no desenvolvimento humano, seja pela elaboração de modelos explicativos sobre o mundo natural ou pela criação de tecnologias que reconfiguram práticas sociais e modos de vida. A Física

desempenha papel central nesse processo, articulando teoria, experimentação e tecnologia em uma dinâmica que, historicamente, moldou conceitos, impulsionou mudanças de paradigma e inaugurou novos regimes de observação [1, 2]. No Ensino de Física (EF), contudo, essa articulação não se expressa de forma homogênea. Enquanto tópicos clássicos permitem mediações experimentais relativamente acessíveis [3, 4], a Física Moderna e Contemporânea (FMC) mobiliza entidades abstratas e

*Endereço de correspondência: haiduk@ufrgs.br

Editor-Chefe: Marcello Ferreira

escalas não diretamente observáveis, cuja inteligibilidade depende de dispositivos técnicos, linguagens especializadas e representações semióticas complexas [5, 6].

Nesse cenário, a Física de Partículas (FPart) ocupa posição singular. Na Base Nacional Comum Curricular, os seus princípios conceituais atravessam temas estruturantes relacionados à constituição da matéria, às interações fundamentais e aos modelos explicativos da Ciência contemporânea [7]. Mesmo sem prescrição explícita como conteúdo autônomo, a FPart é acionada nos livros didáticos (LD) como recurso de contextualização, atualização científica e introdução a elementos da FMC [8, 9]. Trata-se, portanto, de um domínio cujas formas de produção de conhecimento exigem infraestruturas e práticas próprias que evidenciam a dependência epistemológica de dispositivos e técnicas altamente especializadas [10, 11].

Grande parte das investigações em FPart desenvolve-se no âmbito da Física de Altas Energias (FAE), área paradigmática da Ciência contemporânea. Dado o papel central das práticas instrumentais, cabe distinguir a FAE como campo amplo – que abrange desenvolvimentos teóricos, fenomenológicos e experimentais – da Física Experimental de Altas Energias (FEAE). Esta designa especificamente a dimensão experimental, compreendendo as atividades de detecção, aquisição e tratamento de dados, bem como os sistemas sociotécnicos que viabilizam a produção empírica. Instalações como o Grande Colisor de Hádrons¹ (LHC) exemplificam a escala dessa infraestrutura. A sua materialidade distribuída e tecnologicamente mediada, característica da *Big Science*² (BSc), tensiona formas tradicionais de representação escolar da Ciência, frequentemente, marcadas por narrativas lineares, simplificadas e individualizadas [12–14].

No Brasil, o Programa Nacional do Livro e Material Didático (PNLD) atribui aos LD função normativa na mediação do currículo, potencialmente influenciando as imagens de Ciência que circulam na escola. A literatura aponta, porém, para um descompasso persistente entre a prática efetiva da FEAE e essas representações, em que predominam narrativas históricas, metáforas simplificadoras e imagens de dispositivos clássicos – como câmaras de nuvens ou bolhas – ou então esquemas genéricos de aceleradores; em contraste, permanecem pouco visíveis detectores contemporâneos, processos de análise de dados e a organização coletiva da pesquisa [15–19]. Ainda que existentes, são escassas as investigações que examinam, de forma sistemática e a partir de um *corpus*

recente, como os LD aprovados no âmbito do PNLD mobilizam esses elementos na apresentação da FPart.

É nesse descompasso que se insere o problema que orienta este estudo: *como os LD aprovados no PNLD 2026³ representam – ou silenciam – as dimensões experimental, tecnológica e colaborativa da FPart?* Neste aspecto, “representação” não é compreendida apenas como registro gráfico ou textual isolado, mas como um arranjo discursivo-visual que produz uma determinada imagem da prática científica por meio de operações de recorte, hierarquização e omissão – operações que produzem sentidos sobre o que é legitimado como Ciência. Para enfrentá-lo, analisa-se de que modo esses livros figuram a FPart à luz da prática contemporânea da FEAE, examinando o conjunto de representações textuais e visuais presentes nos livros do estudante (LE), com atenção à configuração de dispositivos, tecnologias, processos de detecção, formas de organização coletiva da pesquisa e elementos institucionais associados à BSc.

A partir desse enquadramento, o estudo busca responder às seguintes questões: (i) *Quais aspectos da FPart são representados nos LD do PNLD 2026, considerando textos e imagens?* (ii) *Como essas representações distribuem-se entre conteúdos conceituais, dispositivos experimentais, referências tecnológicas e elementos sociotécnicos?* e (iii) *Que padrões de presença, ausência e combinação dessas dimensões emergem ao longo das obras analisadas?*

Metodologicamente, adotou-se uma abordagem qualitativa de análise documental, com suporte de procedimentos computacionais, para identificar e examinar padrões representacionais da FPart – textuais e visuais – no conjunto completo de nove coleções de Física aprovadas no PNLD 2026. A contribuição do estudo reside, portanto, em mapear sistematicamente essas escolhas representacionais e contrastá-las com o modo de produção de conhecimento característico da FEAE, no qual teoria, instrumentação e organização colaborativa operam de forma indissociável [20–23].

2. Representações da Física de Partículas no Contexto da *Big Science*

No contexto brasileiro, a análise de representações científicas nos LD requer considerar o papel estruturante do PNLD. Instituído como política pública de ampla escala [24, 25], o programa opera como um dispositivo de Estado que centraliza a seleção, padroniza formatos

¹ O Grande Colisor de Hádrons (em inglês, *Large Hadron Collider*) é o maior acelerador e colisor de partículas do mundo, instalado na fronteira franco-suíça. Opera, principalmente, feixes de prótons e íons pesados em um anel subterrâneo de, aproximadamente, 27 km de circunferência para investigar propriedades fundamentais da matéria.

² *Big Science* diz respeito ao modelo de organização da pesquisa caracterizado por infraestruturas de grande porte, altos investimentos, equipes numerosas e colaboração internacional, típico de áreas como Física de Altas Energias e Astronomia.

³ Embora denominado PNLD 2026, o programa refere-se a um ciclo de elaboração, avaliação e aprovação de obras didáticas realizado previamente à sua vigência nas escolas. Os LD analisados correspondem, portanto, a um conjunto editorial já homologado no momento do início desta pesquisa. Nesse ciclo, o processo teve início em agosto de 2024, com a publicação do edital que orientou a submissão e a avaliação das obras, cuja distribuição às escolas públicas de Ensino Médio ocorreu no ano letivo de 2026.

e estabelece diretrizes sobre o que deve ser levado à escola, influenciando diretamente a forma como áreas especializadas são transpostas para o currículo [26, 27]. Os LD aprovados não expressam apenas decisões editoriais, mas também as racionalidades curriculares e epistemológicas que o próprio PNLD reconhece, legítima e distribui nacionalmente. Neste sentido, atua como um filtro epistemológico, mediando a relação entre a complexidade da prática científica contemporânea e as formas escolares de representação da Ciência.

Analisar essas representações exige uma perspectiva teórica capaz de situar a Ciência contemporânea como prática mediada, na qual instrumentos, linguagens, tecnologias e coletivos humanos articulam-se na produção do conhecimento. A epistemologia da experimentação constitui ponto de partida essencial. Para Sér  , Coelho e Nunes [10], a experimentação não se limita à coleta de dados, mas implica uma cadeia de mediações técnico-conceituais por meio das quais modelos e dispositivos configuram indícios, consolidam resultados e orientam inferências. Qualquer representação escolar da FPart envolve, por conseguinte, traduzir e selecionar aspectos dessa rede, conferindo às representações um papel ativo na construção de sentidos sobre o conhecimento científico.

Empregamos aqui o termo “sociotécnico” para designar a articulação indissociável entre dispositivos materiais, práticas experimentais, protocolos de análise, arquiteturas computacionais e coletivos humanos que organizam a produ  o de conhecimento em FAE. Trata-se de um arranjo no qual tecnologia, a  o social e modos de opera  o científica se coproduzem [28], reforçando que instrumentos e práticas não são externos    teoria, mas componentes constitutivos sobre como a Ciência estabelece evidências. Reconhecer esse caráter mediado não equivale a relativizar os conceitos físicos. Trata-se de situ  -los nas condi  es materiais, instrumentais e organizacionais que tornaram a sua produ  o empírica possível, distinguindo o que um conceito    do regime em que ele    representado.

Na FPart – e particularmente na FEAE – essa dinâmica    radicalizada. Como a observa  o direta    inviável, o acesso aos fen  menos depende integralmente de sistemas de detec  o, arquiteturas computacionais e algoritmos de reconstru  o. Detectores de múons, calorímetros segmentados, sistemas de rastreamento e plataformas distribuídas de processamento não são acessórios do experimento, mas elementos constitutivos de seu modo de ver, isolar e interpretar intera  es subat  micas. Como enfatizado por Moreira [29], certas estruturas só se tornam inteligíveis por meio de tradu  es tecnológicas específicas, que transformam sinais físicos dispersos em representa  es manipuláveis. A singularidade da área reside nessa dependência estrutural de dispositivos que organizam tanto a observa  o quanto a interpreta  o dos fen  menos, o que problematiza a sua representa  o nos materiais didáticos e distingue-a dos conteúdos clássicos da Física escolar.

A Teoria Crítica da Tecnologia, formulada por Andrew Feenberg [30], aprofunda essa discussão ao compreender a tecnologia não como conjunto neutro de ferramentas, mas como forma socialmente construída de organizar a a  o. Aceleradores, detectores, sistemas de controle, *pipelines* de dados e protocolos de análise expressam racionalidades específicas e moldam a prática científica tanto quanto são moldados por ela. Feenberg denomina essas racionalidades como “códigos técnicos” [30, p. 124, tradu  o nossa], estruturas que incorporam valores, decisões operacionais e prioridades institucionais aos artefatos científicos.

A sua no  o de ambivalência tecnológica    complementar, uma vez que os mesmos dispositivos que ampliam a capacidade de observar o domínio subatômico, têm delimitam o campo da visibilidade, legitimando certos fen  menos em detrimento de outros. Já a democracia técnica, entendida como amplia  o da participa  o social e epist  mica na interpreta  o e no uso das tecnologias, oferece um horizonte para o EF ao sugerir que compreender a FEAE exige reconhecer as escolhas e os valores inscritos na instrumenta  o. Omitir essa materialidade tecnológica não    uma escolha didática neutra. Implica reforçar visões substantivistas da Ciência, centradas em teorias e indivíduos e dissociadas das condi  es que tornam o conhecimento possível.

Essa perspectiva converge com análises sociológicas e históricas que deslocam a produ  o do conhecimento experimental do plano técnico isolado para o das práticas coletivas e materialmente mediadas. Collins e Pinch [14] mostram que o laboratório    espaço de interpreta  o, negocia  o e julgamento, em que o conhecimento experimental emerge de práticas sociais e não de leituras automáticas dos instrumentos. Knorr-Cetina [31] aprofunda esse entendimento ao caracterizar os experimentos em FAE como “*superorganismos*” [31, p. 4, tradu  o nossa] organizados em culturas epistêmicas próprias, compostas por redes de pesquisadores, dispositivos e fluxos de informa  o altamente coordenados.    nesse horizonte que a FAE insere-se no paradigma da BSc [20, 22, 23, 32, 33], que redefine o que significa fazer Ciência na contemporaneidade e desafia narrativas escolarizadas centradas em descobertas individuais e experimentos simples.

A esse plano coletivo soma-se a constata  o, formulada por Galison [34], de que os instrumentos não são meros captadores de sinais: eles incorporam modelos teóricos, funcionando como teorias congeladas que codificam decisões epistemológicas e operacionais estruturantes da própria produ  o de evidências. A sua no  o complementar de *trading zones*⁴ ilumina o papel de diagramas, metáforas visuais e quadros do Modelo

⁴ *Trading zones*, na formula  o de Peter Galison, designam espaços de intera  o nos quais comunidades científicas com linguagens, práticas e epistemologias distintas conseguem cooperar por meio de vocabulários híbridos e procedimentos compartilhados, permitindo coordena  o sem exigir consenso conceitual pleno.

Padrão como linguagens intermediárias, capazes de estabelecer significados compartilhados entre comunidades epistêmicas heterogêneas. Regimes representacionais – textuais ou visuais – condensam, assim, essas mediações sociotécnicas, funcionando como interfaces de coordenação e compartilhamento de sentido entre especialistas.

Compreender tais regimes é condição para analisar as operações de mediação curricular presentes nos LD. Livros que apresentam câmaras históricas sem referência aos detectores atuais, ou que privilegiam esquemas descontextualizados, deixam de comunicar condições essenciais da produção contemporânea da evidência científica. É a partir desse pressuposto que o presente estudo analisa as representações da FPart nos LD, situando-as no contexto sociotécnico que constitui a prática real da FEAE.

2.1. Produção do conhecimento na FEAE: infraestrutura, experimentação e cultura epistêmica

O conhecimento na FEAE é produzido no interior de práticas científicas altamente estruturadas, que não se reduzem a procedimentos técnicos isolados. Diferentemente de outros campos experimentais, nos quais a observação pode ser efetuada por dispositivos relativamente simples ou com controle direto em ambientes laboratoriais, a FEAE depende integralmente de infraestruturas de grande porte e de arquiteturas instrumentais complexas, cuja operação exige coordenação contínua entre grupos técnicos especializados [34–36]. Essa coordenação estrutura fluxos de trabalho que atravessam todas as etapas da produção do conhecimento: das condições de operação dos aceleradores e da aquisição de dados aos processos de interpretação e validação de resultados, em um sistema integrado, no qual decisões técnicas, teóricas e computacionais articulam-se continuamente para tornar os fenômenos acessíveis à investigação.

Nesse contexto, aceleradores e detectores não podem ser compreendidos como instrumentos isolados responsáveis pela produção direta de resultados finais, mas como componentes de um sistema de ações articuladas para estudar fenômenos em escala quântica e obter observáveis físicos. A medição de colisões de partículas em altas energias envolve tanto a coordenação dos parâmetros técnicos dos instrumentos de aceleração quanto a sincronização precisa da tomada de dados nos experimentos, que operam com diversos subsistemas de aquisição. Uma vez de posse desses dados, estudos, avaliações e validações são efetuados em relação aos processos de reconstrução de trajetória de partículas, identificação e correções em nível eletrônico, entre outros, até que estejam preparados para as análises físicas que se conectam aos modelos teóricos [37].

A obtenção de resultados em FEAE ocorre, portanto, por meio de cadeias de tratamento de sinais, em que estes – físicos e eletrônicos – são progressivamente

transformados, selecionados, reconstruídos e, finalmente, interpretados. Tais procedimentos só podem ser concretizados pela atuação coordenada de diferentes grupos técnicos, que são responsáveis por etapas específicas do processo experimental, envolvendo, a depender da escala do experimento, centenas de pesquisadores. O produto central desse processamento é o chamado evento – o conjunto de sinais físicos tratados que resulta na medida física de interesse. Etapas de validação são igualmente efetuadas para garantir a qualidade dos dados e determinar o evento de medida, principalmente, por envolver observáveis quânticos no domínio de partículas de altas energias.

Compreender a FEAE apenas a partir de sua materialidade instrumental é, contudo, insuficiente – a área opera em múltiplos níveis epistemológicos que articulam teoria, modelagem e experimentação. Entre esses níveis, destaca-se a fenomenologia de altas energias, responsável por produzir predições operacionalizáveis que orientam tanto o arranjo experimental quanto a análise de dados. A fenomenologia funciona como interface entre teorias fundamentais e procedimentos experimentais, convertendo estruturas abstratas em entidades empiricamente comparáveis. Soma-se a isso o papel das simulações, que permitem reconstruir eventos, testar hipóteses e antecipar assinaturas experimentais, constituindo um componente epistemológico central para a validação de modelos.

Por sua vez, a escala de dados produzidos pelos experimentos atuais inviabiliza qualquer modelo centralizado de análise e torna a computação distribuída em componente indispensável da FEAE, tanto para armazenamento quanto para os estudos físicos posteriores. Nesse contexto, a análise não se restringe à interpretação de resultados finais, pois inclui o desenvolvimento, a validação e a manutenção de bases de código computacional para processamento, simulação, ferramentas estatísticas e sistemas de versionamento que estruturam o trabalho coletivo dentro dos experimentos. Programar, validar algoritmos e interpretar resultados estatisticamente são, portanto, práticas tão centrais quanto a operação dos detectores.

A prática científica em FEAE é, neste sentido, marcada por uma complexidade sociotécnica, na qual as colaborações experimentais operam como coletivos de pesquisadores com tarefas distribuídas e altamente especializadas – organização que se manifesta de forma concreta nas publicações da área, em que o número elevado de autores expressa a natureza coletiva da produção de conhecimento.

3. Metodologia

3.1. Delimitação do *corpus*

Esta investigação adota uma abordagem qualitativa de análise documental, fundamentada em Cellard [38] e Chizzotti [39], compreendendo os LD como artefatos

curriculares e culturais que expressam racionalidades sobre o conhecimento e as suas formas de produção e não como repositórios neutros de informação. Essa dupla fundamentação justifica a análise dos LD como enunciados curriculares situados, cuja interpretação demanda atenção ao contexto, à materialidade e às práticas representacionais.

A classificação realizada não segue procedimentos indutivos ou emergentes, mas uma categorização dedutiva ancorada nas dimensões epistêmicas da prática científica discutidas no quadro teórico, o que permite examinar como elementos materiais, tecnológicos e sociotécnicos da FPart são figurados – ou silenciados – nas obras analisadas. No caso da FPart e, em especial, da FEAE, cuja inteligibilidade depende de instrumentação sofisticada e processos coletivos de validação, compreender como tais dimensões são figuradas nos LD exige um procedimento de seleção capaz de captar nuances discursivas, textuais e iconográficas. Em consonância com as orientações dos autores supracitados, a seleção do *corpus* foi guiada por critérios de pertinência epistêmica. Um trecho é considerado relevante quando articula, de modo implícito ou explícito, elementos conceituais, instrumentais, visuais ou sociotécnicos que operam na produção, mediação ou consolidação do conhecimento de FEAE.

O *corpus* é composto pelos LE das obras de Física aprovadas no PNLD 2026, obtidos integralmente em formato PDF, diretamente nos endereços eletrônicos das editoras participantes, conforme listagem oficial do programa [40–42]. Optou-se por analisar exclusivamente os LE por constituírem o principal artefato de acesso direto ao conteúdo pelo estudante, concentrando as representações que estruturam a imagem escolar da Ciência independentemente das mediações docentes. No total, foram coletadas nove obras, produzidas por sete editoras, que representam diferentes propostas didáticas e configurações curriculares. O conjunto analisado corresponde à totalidade das obras de Física aprovadas no ciclo, configurando um *corpus* de caráter censitário e evitando vieses de seleção.

A constituição do *corpus* ocorreu em três etapas articuladas. Na primeira, realizou-se a análise dos sumários

para identificar capítulos explicitamente relacionados à FMC e FPart. Nas obras em que essa organização não era evidente, procedeu-se a buscas internas nos arquivos PDF com descritores como “moderna”, “contemporânea”, “estrutura da matéria”, “partículas” e “núcleo”, permitindo localizar seções pertinentes mesmo quando não nomeadas diretamente. Na segunda etapa, todas as seções identificadas foram lidas integralmente, com o objetivo de determinar com precisão quais intervalos de páginas continham conteúdos associados à FPart ou a elementos característicos da prática da FEAE. Esse procedimento resultou na identificação de 168 páginas potencialmente relevantes.

Na terceira etapa, foram excluídas sistematicamente páginas dedicadas exclusivamente a exercícios, atividades, quadros operacionais ou revisões. A exclusão desses segmentos decorre da natureza do objetivo analítico deste estudo, no qual a investigação está centrada nas representações da FPart enquanto conteúdo expositivo, ou seja, na forma como os LD apresentam conceitualmente a área, as suas práticas e os dispositivos. Ao privilegiar as seções expositivas, busca-se examinar justamente os trechos em que decisões curriculares e editoriais cristalizam-se de modo mais explícito. O *corpus* efetivamente analisado passou a compreender 79 páginas de texto, figuras, esquemas e representações visuais, distribuídas entre as nove coleções. Em seguida, elaborou-se o Quadro 1, que apresenta: (i) o código de identificação de cada coleção; (ii) o total de páginas do volume; (iii) os intervalos incluídos na análise e (iv) o número de páginas efetivamente examinadas.

Já se observa, na própria delimitação, uma heterogeneidade marcada entre as obras. O número de páginas examinadas varia de dois (obra 67) a 24 (obra 72), indicando que o espaço editorial dedicado à FPart difere substantivamente entre as coleções. Essa variação, presente desde a constituição do *corpus*, será retomada na seção de Resultados. Reconhece-se, contudo, que esse recorte deixa fora do escopo eventuais alusões implícitas à FEAE presentes em propostas de atividades ou em mediações docentes, o que constitui uma limitação assumida da abordagem documental aqui adotada.

Quadro 1: Descritivo das obras analisadas.

Código da obra	Total de páginas da obra	Intervalo de páginas analisadas	Total de páginas analisadas
66 – 0040P260101203815	448	415–419	5
67 – 0041P260101203815	448	284–285	2
68 – 0016P260101203815	424	378–380	3
69 – 0017P260101203815	440	15–21	7
71 – 0069P260101203815	448	418–428; 430–431	13
72 – 0087P260101203815	448	15–20; 23–36; 38–41	24
73 – 0100P260101203815	424	344; 350–352	4
74 – 0080P260101203815	448	224; 226–228; 230–232; 241–248	15
78 – 0112P260101203815	448	418–423	6

Fonte: elaboração própria.

3.2. Extração automatizada e preparação dos dados

A extração dos trechos foi realizada por meio de *scripts* desenvolvidos em linguagem R, aplicados aos arquivos PDF convertidos integralmente para texto. O *pipeline* envolveu as etapas de conversão, limpeza textual, normalização de caracteres e aplicação de um dicionário de descritores. Esse dicionário foi construído de forma iterativa e fundamentada em duas fontes principais: (i) os eixos do quadro teórico, que orientaram a inclusão de termos vinculados à instrumentação histórica, detectores contemporâneos, aceleradores, infraestrutura sociotécnica e mediações representacionais e (ii) a leitura exploratória do *corpus*, que permitiu mapear regularidades lexicais e identificar radicais capazes de capturar diferentes variações morfológicas dos termos.

O resultado desse processo foi um conjunto de 86 descritores, organizados majoritariamente como radicais para ampliar a sensibilidade da busca e evitar a perda de ocorrências relevantes. Tecnicamente, sempre que um descritor era identificado no texto, o *script* delimitava como gatilho de localização a sentença em que ele ocorria, entendida como o segmento compreendido entre sinais de pontuação forte. Essa escolha decorreu de critérios operacionais e analíticos. Ao contrário do parágrafo, que, frequentemente, agrega informações heterogêneas e ampliaria o ruído da extração, a sentença oferece granularidade suficiente para isolar ocorrências relevantes, preservar rastreabilidade e facilitar a indexação em planilha. Ao mesmo tempo, a sentença não foi tratada como unidade analítica definitiva - quando semanticamente insuficiente, o contexto discursivo-visual da página foi recomposto, podendo integrar texto, legenda e imagem como unidade de sentido mais ampla. Essa distinção entre unidade de localização e unidade analítica é central para compreender o procedimento adotado.

Cada sentença, assim delimitada, era registrada como uma linha em planilha, acompanhada de colunas que indicavam quais descritores haviam acionado a sua captura. A busca foi aplicada a todo o conteúdo textual dos arquivos - incluindo corpo do texto, legendas, quadros e elementos adjacentes - de modo que qualquer ocorrência potencialmente relevante pudesse ser posteriormente contextualizada.

A aplicação sequencial desses descritores produziu trechos candidatos, definidos como toda sentença extraída automaticamente pelo *script* em função da ocorrência de, ao menos, um descritor, antes de sua avaliação interpretativa. Em seguida, os trechos foram submetidos à validação manual para confirmar a pertinência e eliminar falsos positivos decorrentes do processo automatizado. Ainda reconhece-se que a busca lexical realizada apresenta limitações de rastreabilidade textual, pois nem toda representação relevante depende de marcadores linguísticos explícitos. Para mitigar esse risco, manteve-se a leitura integral das páginas selecionadas, preservando representações visuais, metáforas e construções

discursivas que não emergiram exclusivamente da busca por termos. Durante essa leitura, trechos que continham frases claramente alheias ao escopo da investigação, como, por exemplo, usos cotidianos de termos ou artefatos de conversão digital, foram excluídos, preservando-se apenas sentenças com vínculo efetivo à FPart ou à FEAE.

3.3. Validação manual e organização dos trechos

A etapa de validação manual constituiu um momento central da metodologia, uma vez que a extração automatizada, embora eficaz para ampliar o alcance da coleta, produz inevitavelmente ruídos lexicais e estruturais. Em conformidade com Chizzotti [39], cada um dos trechos inicialmente recuperados foi lido na íntegra e cotejado com sua página de origem, preservando o contexto textual e iconográfico em que se insere. Esse procedimento é indispensável em análises representacionais, pois textos, imagens, legendas, boxes e diagramas, frequentemente, operam de forma integrada, produzindo sentidos que não podem ser avaliados a partir de fragmentos isolados. Em consonância com as discussões de Cellard [38] sobre a materialidade e o suporte dos documentos, imagem, legenda e trecho textual correlato foram tratados como uma única unidade analítica.

A leitura, nessa etapa, permitiu distinguir entre trechos efetivamente associados às representações da FPart e ocorrências geradas por coincidências lexicais, ambiguidades semânticas ou artefatos do processo de conversão dos arquivos PDF (como hifenizações indevidas, fragmentação sintática ou inserção acidental de elementos gráficos). Foram excluídos trechos que apenas tangenciam os descritores do dicionário - como usos não científicos de termos ou radicais como “dados”, “instrument*”, “fundament*” ou “experi*” - bem como trechos provenientes de exercícios, revisões ou seções operacionais cujo propósito não envolve representação conceitual da FPart. Ressalta-se que a sentença funcionou exclusivamente como unidade técnica de localização automática: em trechos nos quais o enunciado conceitual é semanticamente autossuficiente, a classificação foi realizada a partir do próprio excerto; nos demais casos, imagem, legenda e trecho textual correlato foram tratados conjuntamente como unidade analítica, procedendo-se à recomposição do contexto discursivo-visual da página. Para garantir fidelidade ao material analisado, procedeu-se também a um ajuste formal sistemático, recompondo quebras incorretas, restaurando vínculos entre imagem e texto explicativo, corrigindo distorções resultantes da conversão digital.

Para assegurar consistência interna no processo de classificação, adotou-se uma estratégia de dupla verificação espaçada. Após a validação manual inicial, uma segunda rodada de inspeção foi conduzida pelo mesmo pesquisador em momento distinto, com foco exclusivo na adequação da atribuição categorial e nos casos identificados como ambíguos ou multiclasse. O intervalo entre

Quadro 2: Categorias analíticas para análise das representações da FPart nos LD⁵.

Categoria	Denominação	Definição operacional	Marcadores principais
A	Dispositivos experimentais	Referências à materialidade da prática científica: instrumentos históricos e contemporâneos envolvidos na produção de evidências em FEAE.	Câmaras de nuvens, câmaras de bolhas, aceleradores, colísos, calorímetros, detectores de múons, sistemas de rastreamento, gatilho, reconstrução de eventos.
B	Infraestrutura e organização sociotécnica da Big Science	Menções a instituições, colaborações internacionais, redes distribuídas de análise e formas de organização coletiva da pesquisa.	CERN, LHC, colaborações ATLAS/CMS/ALICE/LHCb, Fermilab, KEK, equipes transnacionais, coautoria massiva.
C	Representações semióticas e metáforas visuais	Elementos gráficos e linguísticos de mediação simbólica: diagramas, esquemas, mapas do Modelo Padrão, infográficos e metáforas visuais.	Quadro do Modelo Padrão, diagramas de famílias de partículas, blocos, camadas, esquemas de aceleradores.
D	Conteúdo conceitual desmaterializado	Termos do Modelo Padrão apresentados desacoplados de processos experimentais, instrumentais ou colaborativos.	Quarks, léptons, bósons, neutrinos, hádrons, interações fundamentais, força fraca, força forte.
E	Léxico científico-generalista	Termos amplos do discurso científico não associados especificamente à FAE/FEAE.	Experimento, pesquisa, cientista, evidência, laboratório, descoberta.

Fonte: elaboração própria.

as rodadas funcionou como mecanismo de distanciamento interpretativo, reduzindo vieses de proximidade temporal com a primeira leitura. Em situações em que a interpretação de um trecho divergiu entre a primeira e a segunda leitura, procedeu-se a uma terceira rodada focal, que resultou na codificação final.

3.4. Construção das categorias analíticas

A construção das categorias analíticas decorreu da necessidade de organizar os trechos validados segundo dimensões capazes de explicitar os modos pelos quais os LD figuram a FPart. Para evitar que a classificação se reduzisse a agrupamentos lexicais, optou-se por uma tipologia orientada por níveis epistêmicos da prática científica, alinhados ao quadro teórico estabelecido. Assim, as categorias analíticas foram concebidas não como rótulos temáticos, mas como operadores epistêmicos capazes de capturar dimensões essenciais da atividade científica em altas energias.

O processo da estruturação da tipologia seguiu um procedimento predominantemente dedutivo, orientado pelos três eixos centrais que estruturam o referencial teórico: (i) a materialidade da experimentação, (ii) a organização sociotécnica da BSc e (iii) os modos de mediação simbólica e representacional do conhecimento. Esses eixos foram traduzidos em categorias analíticas por meio de uma cadeia lógica estruturada em três passos: (a) identificação das dimensões epistêmicas da FEAE

presentes na literatura discutida no referencial teórico, (b) derivação dessas dimensões em funções analíticas observáveis nos LD e (c) seleção de marcadores conceituais, visuais e textuais compatíveis com tais funções.

A leitura exploratória inicial do *corpus* permitiu ajustar o escopo dessas dimensões, estabelecer fronteiras conceituais e assegurar que cada categoria correspondesse a uma função epistêmica. Desse processo, emergiu uma tipologia composta por cinco categorias, distribuídas segundo três níveis analíticos da prática científica na FEAE: materialidade experimental (Categoria A), infraestrutura sociotécnica (Categoria B) e mediação representacional (Categorias C, D e E). Essa tipologia deriva dos referenciais discutidos na seção anterior, em particular das contribuições de Knorr-Cetina [31], Galison [34] e Collins e Pinch [14]. A classificação admite múltiplas marcações por trecho, preservando a natureza híbrida de representações que articulam simultaneamente elementos conceituais, instrumentais e visuais. O Quadro 2 sintetiza as categorias, as suas definições operacionais e os principais marcadores que orientaram a classificação.

Não se adotou hierarquia entre categorias, ou seja, um mesmo trecho pôde ser classificado em todas as categorias que efetivamente mobiliza. A categorização resultou de um processo iterativo de leitura exploratória, recodificação e revisão espaçada, garantindo consistência entre o referencial teórico e a estrutura representacional identificada nos livros. Para fins de quantificação, cada categoria foi contabilizada uma vez por trecho, independentemente de coocorrências. Trechos multiclasse foram analisados tanto em termos de sua contribuição às frequências de cada categoria quanto em análises específicas de coocorrência, viabilizando identificar padrões de articulação entre dimensões representacionais sem inflar artificialmente a presença de categorias dominantes. As métricas resultantes não visam medir intensidade,

⁵ A distinção entre as categorias C e D reside na função do elemento: em C, o recurso visual ou esquemático tem como função potencial operar como mediação cognitiva, independentemente de sua articulação efetiva com outras categorias no *corpus* analisado; em D, o conteúdo conceitual aparece desacoplado de qualquer mediação instrumental ou organizacional. A coocorrência entre ambas é frequente e esperada, dado o caráter híbrido das representações analisadas.

mas mapear presença e padrões de associação entre materialidade experimental, infraestrutura sociotécnica e mediação simbólica.

Reconhece-se, por fim, que os resultados que seguem referem-se especificamente ao conjunto de coleções aprovadas no PNLD 2026 e não podem ser extrapolados automaticamente para outros ciclos do programa ou para materiais não submetidos a esse processo avaliativo, em virtude dos diferentes modelos editoriais e diretrizes curriculares que os embasam. Os resultados apresentados a seguir devem ser interpretados como um mapeamento de regimes representacionais autorizados no *corpus* analisado, mas não como uma avaliação de qualidade pedagógica das obras. As frequências e as distribuições por categoria indicam a presença ou a ausência de dimensões epistêmicas associadas à prática da FEAE, e não sua profundidade explicativa.

4. Resultados

A aplicação do dicionário de descritores aos nove LE resultou, inicialmente, na extração automática de 1.116 trechos, tendo sido baseada no processamento integral dos arquivos em formato PDF e na identificação de radicais lexicais associados às dimensões experimental, tecnológica e colaborativa da FPart. Na sequência, a etapa de triagem e validação manual foi necessária para a eliminação de falsos positivos, a recomposição de trechos fragmentados por falhas de OCR e a recuperação de ocorrências não reconhecidas pelo procedimento automatizado. Como resultado, foram excluídos 599 trechos, correspondentes a: títulos (10); exercícios, propostas pedagógicas e atividades de revisão (101); quebras artificiais de texto (114) e trechos que apenas tangenciam termos técnicos sem relação efetiva com a FPart (374). Adicionalmente, 48 trechos foram incorporados manualmente. A consolidação dessas etapas resultou em um *corpus* final composto por 565 trechos validados, distribuídos entre as nove coleções analisadas.

4.1. Caracterização do *corpus* de FPart

Os 565 trechos validados foram classificados segundo o tipo de material discursivo em que a FPart é mobilizada, considerando quatro classes mutuamente excludentes: texto contínuo, correspondente ao texto principal do capítulo, fora de *boxes* ou seções destacadas; texto informativo, composto por quadros, *boxes* e seções de destaque – como curiosidades, complementos ou aprofundamentos – que integram o capítulo sem constituir o seu fio narrativo central; legenda, referente a legendas de imagens, figuras, esquemas ou diagramas; e objeto digital, que engloba referências a vídeos, *sites*, *podcasts* ou outros recursos que dependem de acesso à *internet*.

Observa-se um predomínio expressivo de texto contínuo, que concentra 389 ocorrências (68,8% do *corpus*). Os trechos do tipo informativo totalizam 132 ocorrências (23,4%), indicando que a FPart aparece

com frequência em espaços discursivos secundários ou complementares ao desenvolvimento central dos capítulos. As legendas somam 38 trechos (6,7%), enquanto os objetos digitais apresentam ocorrência residual, com apenas seis registros (1,1%).

Esse panorama indica que a FPart é mobilizada predominantemente por meio de narrativas em texto principal, com participação limitada de mediações por imagens (captadas via legendas) e quase ausência de encaminhamentos a recursos digitais. Essa caracterização desempenha papel estruturante na análise, pois o tipo de suporte discursivo condiciona tanto o estatuto atribuído ao conteúdo quanto as suas possibilidades de articulação entre as dimensões conceituais, experimentais e sociotécnicas.

4.2. Panorama geral das categorias representacionais da FPart

A Figura 1 apresenta a distribuição global das categorias analíticas A–E no *corpus*, considerando todas as suas ocorrências, independentemente de ocorrerem de forma isolada ou articulada. Nesse procedimento, cada categoria foi contabilizada sempre que presente em um trecho, permitindo captar o peso representacional efetivo de cada dimensão no conjunto analisado. Os resultados evidenciam um predomínio expressivo da Categoria D, associada ao conteúdo conceitual desmaterializado da FPart, que totaliza 392 ocorrências (50,2%). A Categoria E aparece em 159 ocorrências (20,4%), enquanto a Categoria A soma 88 ocorrências (11,3%). As Categorias B e C contabilizam 71 ocorrências cada (9,1%). Cabe destacar que, embora a Categoria C apresente frequência comparável à da Categoria B no conjunto do *corpus*, ela não ocorre de forma exclusiva, sendo mobilizada apenas em articulação com outras categorias.

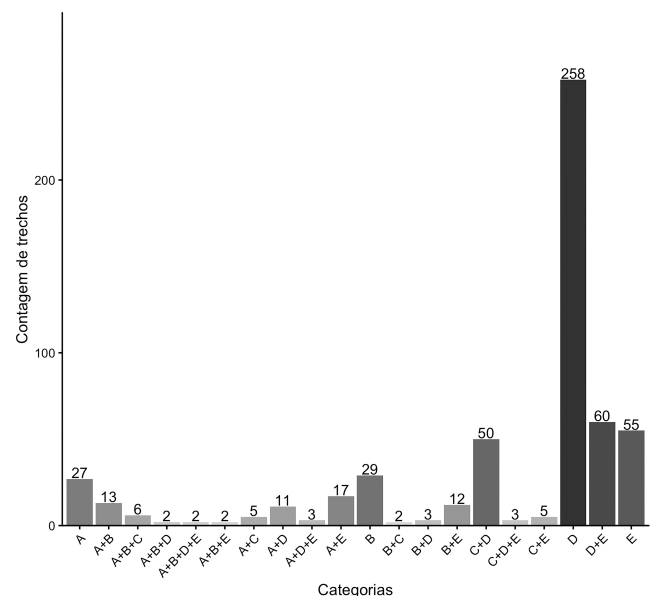


Figura 1: Distribuição global das categorias analíticas A–E no *corpus*, considerando todas as ocorrências, inclusive em classificação multiclasse. Fonte: elaboração própria.

Quadro 3: Exemplos representativos dos trechos extraídos dos LD analisados.

Classificação	Trecho	Justificativa
A	“Já aceleradores de partículas são máquinas fabricadas para gerar colisões de partículas aceleradas a altas energias.” (66_5_17)	Descrição direta de dispositivo experimental responsável pela produção de colisões em altas energias.
B	“O LHC foi um esforço coletivo de diversos países e os estudos realizados nele costumam envolver muitos pesquisadores de várias partes do mundo.” (78_5_20)	Ênfase na organização coletiva e internacional da Big Science.
D	“Hádrons são partículas massivas, como os prótons e os nêutrons, por exemplo, compostas de quarks.” (67_2_22)	Definição conceitual e estrutural de hádrons apresentada de forma desmaterializada.
E	“O compartilhamento do conhecimento científico foi, historicamente, essencial para o desenvolvimento científico, tecnológico e social.” (69_7_26)	Afirmação metacientífica histórica em registro genérico, sem práticas ou estruturas específicas.
A+B	“O artigo publicado em 2015, que discute a massa do bóson de Higgs a partir de dados coletados no LHC, teve a colaboração de 5 154 autores.” (78_8_21)	Produção científica coletiva (B) baseada em dados experimentais (A).
A+D	“A análise das colisões de partículas aceleradas nesses equipamentos pode ser utilizada para entender as propriedades das partículas elementares e investigar a estrutura da matéria.” (78_5_15)	Prática experimental (A) articulada à inferência conceitual (D).
B+D	“Até meados dos anos setenta a física de partículas e a cosmologia eram áreas de pesquisa completamente separadas, porém, nessa época, [...] pesquisadores em física de partículas se deram conta que estudos sobre os primórdios do universo ofereciam uma possibilidade única de investigar fenômenos de alta energia que não podiam ser recriados em laboratório.” (71_14_20)	Articulação histórica entre campos científicos (B) motivada por limites conceituais (D).
C+D	“Quadro organizacional das partículas fundamentais do Modelo Padrão.” (66_6_18)	Organização visual e classificatória (C) de entidades conceituais do Modelo Padrão, sem articulação experimental (D).
D+E	“Alguns modelos atômicos foram propostos durante os séculos seguintes, até que se verificou que o átomo é composto de outras partículas; mesmo assim, o termo foi mantido devido à sua importância histórica.” (66_2_3)	Modelos e mudanças conceituais (D) narrados por “verificou” sem método/instrumento, com léxico genérico (E).
A+B+D	“Lattes retornou a Bristol com emulsões repletas das marcas que apontavam a passagem de mésons pi, permitindo à equipe confirmar de vez a existência da partícula, e também as suas propriedades, como o fato de que [o] méson pi, quando fora do átomo, eventualmente se desintegra dando origem a outra partícula, na época já conhecida, o [lépton] múon.” (68_4_18)	Confirmação experimental (A) em contexto coletivo (B) articulada à caracterização conceitual da partícula (D).
A+B+D+E	“Em 2012, foi anunciado pelo CERN a detecção do bóson de Higgs, assim batizado em homenagem ao físico escocês Peter Higgs (1929-2024), que previu teoricamente sua existência em 1964.” (78_5_18)	Detecção experimental (A), Big Science (B), previsão teórica (D) e marco histórico (E).

Fonte: elaboração própria.

Esses dados indicam uma assimetria clara: as representações de FPart são majoritariamente organizadas em torno de conteúdos conceituais desmaterializados, com presença secundária das dimensões experimentais, sociotécnicas e semióticas. A Categoria D não é apenas majoritária, mas estrutura o panorama global das representações, enquanto as demais categorias aparecem como camadas complementares. As categorias associadas à experimentação, à infraestrutura sociotécnica e às mediações semióticas, embora presentes, não organizam o discurso nem funcionam como eixos centrais de

explicação. Neste sentido, essa distribuição já antecipa um padrão de centralidade conceitual e de periferização da prática científica, cuja análise será aprofundada nas seções seguintes.

Com o objetivo de explicitar a natureza dos diferentes tipos de ocorrência identificados, o Quadro 3 reúne exemplos representativos extraídos do *corpus*⁶.

⁶ A codificação adotada para os trechos segue o formato XX_YY_ZZ, no qual XX identifica a obra analisada, YY indica a página no *corpus* consolidado em um único arquivo de análise, e

4.3. Padrões de articulação entre categorias representacionais

Estabelecido o panorama geral das categorias mobilizadas nos LD, a análise voltou-se para o modo como essas categorias organizam-se nos enunciados. Do total de trechos validados, 369 ocorrências (65,3%) mobilizam apenas uma categoria analítica, enquanto 196 (34,7%) articulam duas ou mais simultaneamente. A contagem isolada, contudo, diz pouco sobre a natureza dessas articulações. É preciso examinar quais categorias conectam-se, com que frequência e com que peso relativo no conjunto do *corpus*.

A Figura 2 apresenta o grafo de coocorrência entre categorias, no qual os nós representam as categorias analíticas (A–E) e as arestas indicam a frequência relativa com que duas categorias aparecem conjuntamente em um mesmo trecho. A espessura das conexões expressa o peso dessas coocorrências, permitindo visualizar não apenas a existência de articulações, mas a sua intensidade relacional no conjunto do *corpus*.

Observa-se que a Categoria D ocupa posição de destaque na rede de coocorrências, estabelecendo conexões mais fortes com todas as demais categorias. Essa centralidade não se expressa apenas pelo número de conexões, mas também pela intensidade das articulações. As ligações que envolvem D apresentam, de modo sistemático, maior peso relativo quando comparadas às demais. Tal configuração indica que os conteúdos conceituais desmaterializados constituem o núcleo estruturante em torno do qual as outras dimensões representacionais organizam-se. Entre as articulações mais intensas,

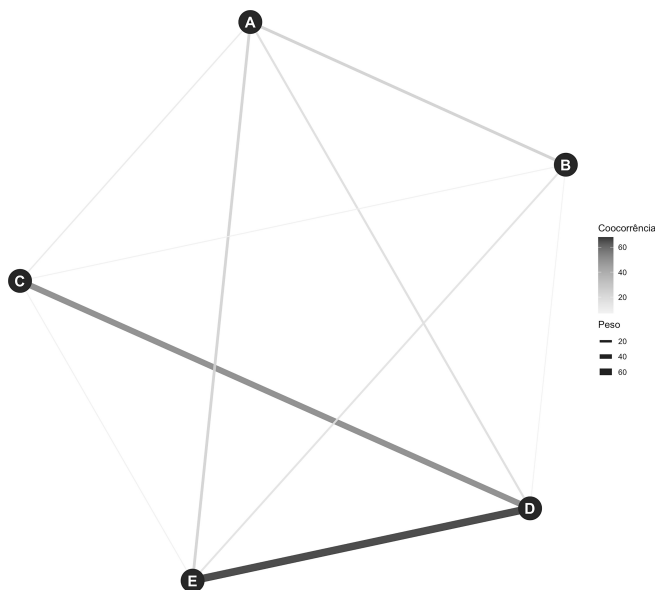


Figura 2: Grafo de coocorrência entre categorias analíticas A–E no *corpus*. Fonte: elaboração própria.

ZZ corresponde ao identificador sequencial atribuído ao trecho ao longo do processo de extração, validação e classificação.

destaca-se a conexão D–E, que corresponde à associação recorrente entre conteúdos conceituais e registros de léxico científico-generalista. Essa articulação sugere que a mobilização conceitual da FPart é, recorrentemente, acompanhada por formulações de caráter mais amplo ou metacientífico, sem que isso implique, nesse momento, avaliação sobre a natureza dessa associação.

Também é expressiva a conexão C–D, evidenciando que as representações semióticas e metáforas visuais associadas à FPart aparecem predominantemente ancoradas em conteúdos conceituais, mas não mobilizadas como dimensões autônomas de representação. Esse padrão indica que elementos visuais e esquemáticos funcionam, sobretudo, como dispositivos de organização e sistematização conceitual, acompanhando descrições abstratas em vez de constituírem instâncias independentes de mediação do conhecimento.

As Categorias A e B, conforme Figura 2, apresentam densidade relacional significativamente menor no grafo de coocorrência. As suas conexões são menos frequentes e, em geral, mediadas pela Categoria D ou, secundariamente, pela Categoria E, o que sugere que essas dimensões tendem a ser incorporadas a estruturas representacionais previamente organizadas em torno de conteúdos conceituais ou de registros discursivos mais amplos. Assim, quando dispositivos experimentais ou referências à organização da pesquisa científica são mobilizados, eles raramente configuram eixos centrais de articulação no enunciado, aparecendo de forma subordinada a outras dimensões.

Em conjunto, esses padrões de coocorrência caracterizam a representação da FPart nos LD analisados como organizada em torno de um núcleo conceitual dominante – marcado por centralidade, dependência e periferia –, ao qual se acoplam, de maneira assimétrica, as demais dimensões representacionais, fornecendo a base empírica para a discussão subsequente acerca dos sentidos e dos limites dessas articulações no contexto da representação escolar do campo.

4.4. Variações editoriais entre coleções

Por fim, examinam-se se os padrões representacionais identificados nas seções anteriores distribuem-se de modo homogêneo entre as diferentes coleções analisadas ou se apresentam variações de natureza editorial.

A Figura 3, apresentada na forma de *heatmap* obra *versus* categoria, explicita a intensidade absoluta das categorias em cada coleção e torna visíveis concentrações e lacunas que configuram assinaturas editoriais. Observa-se, em primeiro lugar, uma heterogeneidade marcada no volume de ocorrência de FPart entre as obras: algumas coleções concentram grande parte das ocorrências do *corpus*, enquanto outras mobilizam a temática de maneira muito mais pontual. Esse contraste torna-se evidente quando se comparam as obras com valores elevados na Categoria D e na classificação multiclasse (por exemplo, com picos de D e de multiclasse na obra 71

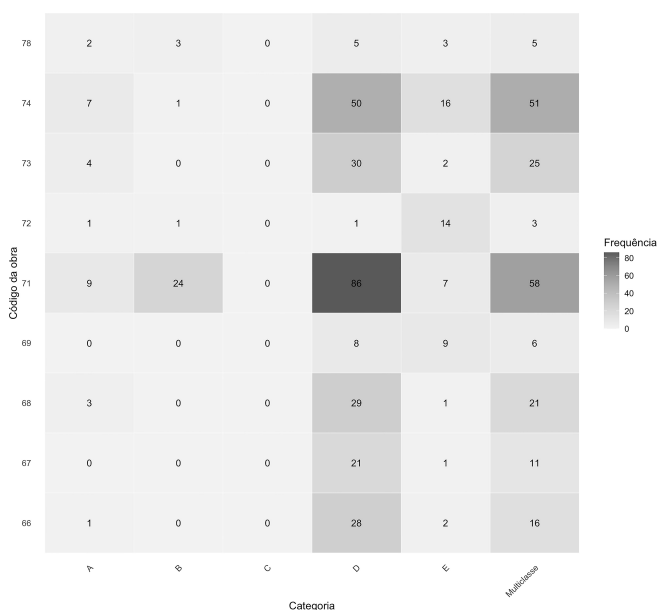


Figura 3: Frequência das categorias A-E e da classificação multiclasse por coleção. Fonte: elaboração própria.

e na obra 74) com obras de baixa incidência global (como as obras 69 e 72), nas quais o conjunto de ocorrências é bastante reduzido.

O *heatmap* evidencia, além disso, diferenças editoriais qualitativas no perfil interno de cada obra, ainda que o regime geral mantenha-se. A obra 72 destaca-se como caso limítrofe. Nela a Categoria E aparece com frequência muito superior à Categoria D, enquanto as categorias A e B permanecem residuais e a classificação multiclasse é baixa. Esse perfil sugere uma estratégia editorial em que a FPart é mobilizada, sobretudo, por meio de um registro discursivo generalista, com baixa densidade de desenvolvimento conceitual específico e pouca articulação categorial.

Em contraste, obras como 71 e 74 não apenas apresentam alta incidência de D, como também concentram valores mais elevados de multiclasse, indicando maior produção de enunciados em que diferentes dimensões são acionadas conjuntamente; nesse quadro, a obra 74 chama atenção pela proximidade entre as frequências de D e de multiclasse, o que sugere um padrão de apresentação em que a articulação é recorrente. As variações na proporção de trechos multiclasse entre obras, contudo, não alteram a estrutura geral do regime representacional observado, uma vez que a articulação permanece majoritariamente organizada em torno de conteúdos conceituais.

Ainda torna-se explícito um traço estrutural que tende a diluir-se em leituras apenas proporcionais: a ausência sistemática de ocorrências exclusivas da Categoria C, que permanece nula em todas as obras. Esse resultado reforça que as representações semióticas não se configuram como dimensão autônoma nas coleções analisadas, sendo mobilizadas apenas em associação com outras categorias. Por fim, nota-se que a Categoria B

apresenta concentração localizada em uma obra específica (destacando-se na obra 71), o que sugere uma inclinação editorial pontual à tematização sociotécnica, novamente, sem que isso se converta em reconfiguração do regime predominante no conjunto do *corpus*.

Em conjunto, os resultados indicam que, embora existam variações editoriais mensuráveis entre as coleções analisadas – incluindo diferenças na intensidade relativa das categorias e na proporção de trechos multiclasse, cujos desvios permanecem dentro de uma faixa controlada sem configurar ruptura do padrão geral –, o regime representacional da FPart permanece amplamente estável no *corpus*. As diferenças observadas dizem respeito principalmente à forma discursiva e à intensidade relativa das categorias, e não à substituição do eixo conceitual por outras dimensões representacionais. Essa constatação reforça a leitura de que os padrões identificados não são próprios de uma obra isolada, mas configuram tendências amplamente compartilhadas entre as coleções aprovadas no PNLD 2026.

5. Discussões

A FPart está presente em todas as nove coleções analisadas, mobilizada por uma variedade de recursos textuais e visuais que inclui definições conceituais, referências institucionais e representações semióticas. Em um contexto internacional em que a FMC, frequentemente, permanece ausente ou marginal nos currículos de Ensino Médio, essa incorporação representa um avanço curricular que não deve ser subestimado. É a partir desse reconhecimento que a discussão dos padrões identificados nos resultados torna-se produtiva. A centralidade estrutural da Categoria D, combinada à dependência sistemática das demais categorias, aponta para a constituição de um regime representacional específico, no qual a FPart é apresentada prioritariamente como um corpo consolidado de entidades e classificações, o que, como se discute a seguir, não constitui uma falha dos autores, mas uma resposta funcional às exigências do currículo escolar.

Nesse regime, a FPart emerge como um domínio conceitual fechado, organizado em torno de partículas, interações e modelos formais, cuja inteligibilidade não depende da explicitação dos processos experimentais, das infraestruturas envolvidas ou das dinâmicas coletivas de produção de conhecimento. A recorrência de conteúdos desmaterializados não indica apenas uma opção didática por abstração, mas uma operação epistemológica de contenção, na qual o conhecimento é apresentado como resultado consolidado, e não como produto de práticas historicamente situadas e tecnologicamente mediadas. Essa operação é coerente com as exigências formais do Ensino Médio – sequencialidade, clareza expositiva, possibilidade de avaliação padronizada –, mas tem um custo preciso: ao tornar a FPart ensinável nesses termos, apaga precisamente o que a distingue de qualquer outro

campo da Física escolar, isto é, a escala e a complexidade sociotécnica do empreendimento que a torna possível.

A análise das articulações das categorias reforça essa leitura. A posição periférica das dimensões experimentais (Categoria A) e sociotécnicas (Categoria B) sugere que dispositivos, infraestruturas e formas de organização da pesquisa científica não são tratados como constitutivos do conhecimento em FPart, mas como elementos acessórios, acionados apenas de modo pontual e subordinado. O contraste entre trechos do *corpus* torna isso concreto. Enquanto um trecho B – “*Mundialmente, a Organização Europeia para a Investigação Nuclear (CERN...) é o maior laboratório de pesquisa em Física de Partículas*” (71_15_23) – reduz a maior infraestrutura de pesquisa em FPart a uma menção nominal, o trecho A+B do Quadro 3 – “*O artigo publicado em 2015, que discute a massa do bóson de Higgs a partir de dados coletados no LHC, teve a colaboração de 5 154 autores*” (78_8_21) – começa a comunicar a escala real do empreendimento. A diferença não é de grau: é a diferença entre um estudante que sabe que o CERN existe e um estudante que consegue imaginar o que significa produzir conhecimento lá dentro.

A dependência estrutural da Categoria C mostra-se reveladora. Representações semióticas e metáforas visuais não ocorrem de forma exclusiva no *corpus*, funcionando predominantemente como dispositivos de confirmação conceitual – como ilustra o trecho C+D do Quadro 3, em que o “*Quadro organizacional das partículas fundamentais do Modelo Padrão*” (66_6_18) organiza visualmente entidades sem articulação com os processos que as evidenciaram. Trata-se de uma semiótica orientada mais à organização do conteúdo do que à problematização de sua produção. Esse conjunto de escolhas representacionais produz efeitos epistemológicos para a imagem de Ciência que os estudantes constroem. Ao dissociar conceitos de suas condições materiais de produção, os LD constroem uma imagem da FPart como Ciência essencialmente teórica, cuja legitimidade parece derivar da coerência interna de seus modelos.

O que se perde nesse processo não são apenas informações sobre dispositivos ou instituições: é a compreensão de que a FEAE é um empreendimento coletivo de escala sem paralelo na Ciência escolar, no qual uma única publicação pode reunir milhares de pesquisadores, um único detector pode ocupar vários andares e a análise de dados envolve estruturas computacionais distribuídas por dezenas de países. Essa dimensão – humana, instrumental e institucional – é precisamente o que os códigos técnicos, na formulação de Feenberg [30], incorporam nos artefatos científicos e que os LD, ao omiti-los, tornam invisível. A ausência relativa da infraestrutura e da experimentação não configura, portanto, apenas uma lacuna informativa, mas um apagamento estrutural da dimensão sociotécnica que define a FEAE como prática científica contemporânea.

As variações editoriais observadas entre as coleções não alteram substantivamente esse quadro. O padrão

mantém-se estável entre as nove obras, indicando que não se trata de decisões individuais de autores ou editoras específicas. Ao contrário, os dados sugerem a existência de uma racionalidade curricular compartilhada, na qual a FPart é tornada escolarmente aceitável por meio de sua redução a um conjunto de conceitos consolidados, passíveis de ensino e avaliação no contexto do Ensino Médio. A ambivalência tecnológica [30] está presente também aqui. O mesmo movimento que torna a FPart acessível ao currículo escolar é o que delimita os horizontes de compreensão possíveis sobre a Ciência contemporânea, restringindo o acesso dos estudantes a uma visão mais complexa e processual da produção do conhecimento em áreas marcadas pela BSc.

Essa estrutura conceitual cumpre, portanto, uma função curricular clara – e reconhecê-la como tal é condição para pensar alternativas. Não se trata de propor que os LD reproduzam a complexidade técnica da FEAE, o que seria inviável e pedagogicamente questionável. Trata-se de reconhecer que representações mais articuladas da FPart – como as classificadas como A+B+D ou A+B+D+E no Quadro 3 – já existem no *corpus*, ainda que de forma periférica, e que sua ampliação não exige abandono do conteúdo conceitual, mas a sua contextualização nas condições que o tornam possível. A noção de democracia técnica de Feenberg [30] oferece aqui um horizonte formativo, não como prescrição didática, mas como princípio orientador – o de que compreender a Ciência contemporânea implica reconhecer as escolhas inscritas em seus instrumentos, as suas colaborações e as suas infraestruturas. Aproximar o currículo desse horizonte, dentro dos limites reais do Ensino Médio, é um desafio que extrapola os LD individualmente e interpela políticas curriculares, critérios de avaliação do PNLD e formação de professores, dimensões que, embora fora do escopo deste estudo, constituem o contexto estrutural no qual qualquer mudança representacional precisaria inserir-se.

6. Considerações Finais

A análise desenvolvida neste estudo permite compreender as representações da FPart nos LD não apenas como escolhas editoriais ou didáticas, mas como parte de um processo mais amplo de escolarização do conhecimento científico, no qual determinados modos de produzir, validar e comunicar Ciência são tornados legítimos, enquanto outros são sistematicamente atenuados ou silenciados. Neste sentido, a forma como a FPart aparece nos materiais aprovados pelo PNLD 2026 pode ser interpretada como expressão de uma tecnologia curricular de regulação epistemológica, que opera por meio de adequações, seleções e hierarquizações representacionais.

Essa organização não constitui uma simplificação contingente, mas um mecanismo estrutural de adaptação curricular, que torna um campo científico altamente especializado compatível com as exigências formais do

Ensino Médio – sequencialidade de conteúdos, clareza expositiva e possibilidade de avaliação padronizada. Tal concepção não decorre de desconhecimento da Ciência contemporânea por parte dos autores, mas de uma compatibilização necessária entre o saber científico e as formas tradicionais de organização curricular. A estabilidade dos padrões representacionais entre as diferentes coleções reforça essa interpretação, uma vez que o regime identificado não é produto de decisões individuais, mas de racionalidades compartilhadas que atravessam políticas públicas, critérios de avaliação, expectativas de professores e tradições consolidadas de ensino de Física. Nesse contexto, o PNLD atua menos como agente uniformizador e mais como instância de legitimação de formas específicas de tornar a Ciência inteligível.

As implicações dessa regulação curricular extrapolam o caso da FPart e dizem respeito às dificuldades estruturais de incorporar, no currículo escolar, campos científicos contemporâneos, nos quais a produção do conhecimento depende de sistemas técnicos complexos, fluxos massivos de dados e formas de organização que desafiam modelos clássicos de experimentação escolar. Reconhecer esse processo não implica desqualificar os LD analisados nem lhes atribuir responsabilidade individual pelas limitações identificadas. Trata-se, antes, de compreender os condicionantes estruturais que moldam a circulação do conhecimento científico na escola e, a partir desse diagnóstico, identificar caminhos possíveis para a sua transformação.

A análise evidencia, no entanto, que o caminho para representações mais articuladas da FPart não está fora dos LD aprovados - ao contrário, está dentro deles. Trechos que articulam dimensões conceituais, experimentais e sociotécnicas já existem no *corpus*, ainda que de forma periférica, e sua ampliação não exigiria abandonar o conteúdo conceitual nem reformular o currículo, mas redistribuir a ênfase entre dimensões que os LD já mobilizam. Reconhecer essa possibilidade é o que permite que o diagnóstico aqui apresentado deixe de ser apenas descrição de um regime e passe a funcionar como ponto de partida para pensá-lo de outra forma.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Disponibilidade de Dados

Todos os dados que dão suporte a este estudo estão disponíveis mediante solicitação ao autor correspondente (haiduk@ufrgs.br), nos limites permitidos pelos direitos autorais das obras didáticas que compõem o *corpus*, de titularidade das respectivas editoras.

Referências

- [1] T.S. Kuhn, *A Estrutura das Revoluções Científicas* (Perspectiva, São Paulo, 2013).
- [2] R.F. Castro, C.A.S. Almeida e F.H.L. Vasconcelos, em: *IV From Micro to Macrococosmos: Nos Domínios das Ondas Gravitacionais* (Fortaleza, 2018).
- [3] A.C. Força, C.E. Laburú e O.H.M. da Silva, em: *Anais do VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências* (Campinas, 2011).
- [4] L.J.B. Lima, R.H. Pucinelli e E.A.G. Oliveira, *Revista de Enseñanza de la Física* **37**, 53 (2025).
- [5] F. Ostermann e M.A. Moreira, *Investigações em Ensino de Ciências* **5**, 23 (2000).
- [6] T.C.F. Marques, T.C. Martins, A.L.F. Novais, L.M. Gomes, C.M.M. Paschoal, C.S. Fernandes e F.C.L. Ferreira, *Scientia Plena* **15**, 1 (2019).
- [7] BRASIL, *Base Nacional Comum Curricular* (MEC, Brasília, 2018).
- [8] C.N.T. Rodrigues, *Práticas Escolares de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: Um Estudo de Dissertações e Teses Brasileiras (1972–2015)*. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas (2019).
- [9] S.O.T. Alencar e L.H.M. Arthury, *Revista de Ensino de Ciências e Matemática* **12**, 1 (2021).
- [10] M.G. Séré, S.M. Coelho e A.D. Nunes, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **20**, 30 (2003).
- [11] M. Pessanha e M. Pietrocola, *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências* **16**, 361 (2016).
- [12] F. Ostermann e M.A. Moreira, *Enseñanza de las Ciencias* **18**, 391 (2000).
- [13] F. Ostermann e M.A. Moreira, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **18**, 135 (2001).
- [14] H. Collins e T. Pinch, *The Golem: What You Should Know About Science* (Cambridge University Press, Cambridge, 2010).
- [15] R. Milnitsky, *Epistemologia e Currículo: Reflexões sobre a Ciência Contemporânea em Busca de um Outro Olhar para a Física de Partículas Elementares*. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo (2018).
- [16] J.G. Paulo Neto, A.N. de Oliveira e M.C.A. Siqueira, *ScientiaTec* **6**, 2 (2019).
- [17] K.L. Bastos, K.M. Gonçalves e J.S. Cabral Neto, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **44**, e20220153 (2022).
- [18] D.S. Oliveira e M. Siqueira, *Experiências em Ensino de Ciências* **18**, 412 (2023).
- [19] D.S. de Oliveira, G. Shinomiya e M. Siqueira, em: *Anais do XX Encontro de Pesquisa em Ensino de Física* (Recife, 2024).
- [20] M. Bodnarczuk e L. Hoddeson, *Historical Studies in the Natural Sciences* **38**, 508 (2008).
- [21] K.C. Cramer, O. Hallonsten, I.K. Bolliger e A. Griffiths, em: *Big Science and Research Infrastructures in Europe* (Edward Elgar Publishing, Cheltenham, 2020).
- [22] S. Liyanage, M. Nordberg e M. Streit-Bianchi (eds.), *Big Science, Innovation, and Societal Contributions: The Organisations and Collaborations in Big Science Experiments* (Oxford University Press, Oxford, 2024).

- [23] C. Krishna e R. Voss, *Science Diplomacy Review* **7**, 15 (2025).
- [24] M.G. Romanini, *Análise do Processo de Implementação de Política: O Programa Nacional do Livro Didático – PNLD*. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas (2013).
- [25] BRASIL, *Programas do Livro (FNDE)*, disponível em: <https://www.gov.br/fnde/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/programas/programas-do-livro>, acessado em: 08/12/2025.
- [26] F.R. Xavier, S.M.A. Toledo e Z.S. Cardoso, *Educação em Debate* **42**, 186 (2020).
- [27] BRASIL, *Funcionamento do PNLD (FNDE)*, disponível em: <https://www.gov.br/fnde/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/programas/programas-do-livro/pnld/funcionamento>, acessado em: 08/12/2025.
- [28] S. Jasanoff, em: *States of Knowledge: The Co-Production of Science and Social Order* (Routledge, London, 2004).
- [29] M.A. Moreira, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **29**, 161 (2007).
- [30] A. Feenberg, *Transforming Technology: A Critical Theory Revisited* (Oxford University Press, New York, 2002).
- [31] K. Knorr-Cetina, *Epistemic Cultures: How the Sciences Make Knowledge* (Harvard University Press, Cambridge, 1999).
- [32] P.L. Galison e E.A. Thompson, *The Architecture of Science* (MIT Press, Cambridge, 1999).
- [33] R. Forty, CERN Yellow Reports: School Proceedings **2**, 197 (2025).
- [34] P.L. Galison, *Image and Logic: A Material Culture of Microphysics* (University of Chicago Press, Chicago, 1997).
- [35] W. Shrum, J. Genuth e I. Chompalov, *Structures of Scientific Collaboration* (MIT Press, Cambridge, 2007).
- [36] A. Pickering, *The Mangle of Practice: Time, Agency, and Science* (University of Chicago Press, Chicago, 2009).
- [37] H. Wiedemann, *Particle Accelerator Physics* (Springer, Cham, 2015).
- [38] A. Cellard, em: *A Pesquisa Qualitativa: Enfoques Epistemológicos e Metodológicos* (Vozes, Petrópolis, 2008).
- [39] A. Chizzotti, *Pesquisa em Ciências Humanas e Sociais* (Cortez, São Paulo, 2018).
- [40] BRASIL, *Portaria nº 1.141, de 27 de dezembro de 2024* (2024), disponível em: https://www.gov.br/fnde/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/programas/programas-do-livro/consultas-editais/editais/PORTARIA_N_1141_DE_27_DE_DEZEMBRO_DE_2024.pdf, acessado em: 11/12/2025.
- [41] BRASIL, *Guia Digital – PNLD Ensino Médio 2026–2029* (2025), disponível em: https://pnld.nees.ufal.br/pnld_ensino_medio_2026_2029acesse_as_obras, acessado em: 11/12/2025.
- [42] BRASIL, *Portaria SEB/MEC nº 111, de 13 de junho de 2025* (2025), disponível em: https://www.gov.br/fnde/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/programas/programas-do-livro/consultas-editais/editais/resultado_final_avaliacaopedag.pdf, acessado em: 11/12/2025.