

O modelo atômico de Thomson em livros de Química: desafios e perspectivas

Lucas Menhô Dias, Valéria Pereira Soares e Evelyn Jeniffer de Lima Toledo

A Química é uma ciência abstrata e o professor tem o papel de transpor seus modelos e teorias. Essa transposição pode ser feita usando diferentes recursos, dentre eles o livro didático. Reconhecendo a importância desse recurso e a dificuldade de apropriação dos modelos atômicos, nesta pesquisa foi investigada se a apresentação do modelo de Thomson nos livros de Química do PNLD 2018, Ciências da Natureza e suas tecnologias do PNLD 2021 e em livros utilizados no ensino superior é efetivamente coerente com o originalmente proposto pelo cientista. A pesquisa foi feita de forma qualitativa, utilizando como técnica a análise de conteúdo de Bardin. Como resultado, foram observadas incoerências entre o modelo proposto por Thomson e o apresentado nos livros. As principais incoerências são: massa do átomo, posição dos elétrons e uso de analogias. Espera-se, com esta pesquisa, contribuir para a disseminação do modelo conforme proposto pelo cientista.

► transposição didática, analogias, elétrons ◀

Recebido em 18/01/2024; aceito em 04/09/2024



116

Introdução

Historicamente, livros didáticos apresentam um papel fundamental na educação. Contudo, a forma como o conteúdo é apresentado nesses materiais pode contribuir para aumentar as dificuldades dos estudantes. Dentre as dificuldades mais frequentes na literatura acadêmica, destacam-se a compreensão de conceitos, modelos e teorias em nível submicroscópico. Para tentar facilitar o entendimento dos estudantes, os livros didáticos recorrem frequentemente ao uso de analogias (Teixeira e Santos, 2023; Oliveira e Mozzer, 2023).

Muitas das vezes, os livros, servindo-se de analogias, são os únicos recursos utilizados pelos professores, mas, em geral, não apresentam os Modelos Atômicos como construções científicas. O uso de analogias é vastamente desaprovado pela literatura acadêmica quando não empregado de maneira crítica (Teixeira e Santos, 2023; Oliveira e Mozzer, 2023). Embora os modelos

sejam fundamentais para a Química, alunos e professores frequentemente possuem concepções limitadas sobre esse conceito, como apontam Melo e Lima Neto (2013).

Quanto a essa temática, destacamos o modelo atômico de Thomson, por ser esse o primeiro modelo famoso a reconhecer a divisibilidade do átomo e possibilitar a explicação de fenômenos elétricos. No contexto do ensino regular, é um dos primeiros a ser apresentado aos estudantes, já nos anos finais do Ensino Fundamental (Teixeira e Santos, 2023).

Nessa perspectiva, discutir como o modelo atômico de Thomson é apresentado nos livros didáticos se torna essencial, principalmente nos livros oriundos de uma política pública como o Plano Nacional do Livro Didático (PNLD) e os que fazem parte da formação geral de futuros professores de química. Diante do exposto, foi objetivo desta pesquisa analisar se o modelo atômico de

[...] foi objetivo desta pesquisa analisar se o modelo atômico de Thomson apresentado nos livros de Química do PNLD 2018, Ciências da Natureza e suas tecnologias do PNLD 2021, e em livros utilizados no ensino superior (Brown *et al.*, 2016 e Atkins *et al.*, 2018), é efetivamente coerente com o originalmente proposto pelo cientista: uma esfera com eletricidade positiva em que corpúsculos negativos estão imersos em posições matematicamente calculadas.

Thomson apresentado nos livros de Química do PNLD 2018, Ciências da Natureza e suas tecnologias do PNLD 2021, e

em livros utilizados no ensino superior (Brown *et al.*, 2016 e Atkins *et al.*, 2018), é efetivamente coerente com o originalmente proposto pelo cientista: uma esfera com eletricidade positiva em que corpúsculos negativos estão imersos em posições matematicamente calculadas. Assim, acreditamos poder contribuir com as próximas gerações de livros e com a formação dos professores, ao compararmos o modelo do cientista com as explicações textuais e imagéticas dos livros supracitados, a fim de verificar a conformidade do modelo científico apresentado.

Transposição didática

A principal função da escola é a disseminação de conhecimento, que podemos caracterizar como saber. Segundo Chevallard e Joshua (1982), o termo “saber” refere-se a um objeto suscetível a transformações, sendo essas alterações denominadas de transposição didática, que pode ser categorizada em três níveis: saber sábio; saber a ensinar e saber ensinado.

O saber sábio é resultado da compreensão humana diante dos fenômenos naturais, sendo construído por meio de diálogos e trabalhos que buscam respostas para explicar observações. Esse processo culmina na publicação, transformando-o em um produto da ciência com linguagem própria. O saber sábio deve ser reconhecido e transmitido para futuras gerações por meio da transposição didática, gerando um novo tipo de saber, o “saber a ensinar” (Alves Filho, 2000).

O saber a ensinar é o conhecimento voltado ao ensino, apresentado em livros e manuais educacionais. No ambiente escolar, o saber a ensinar torna-se uma ferramenta de trabalho para os educadores, que o utilizam como base para o planejamento de suas aulas. A partir desse contexto, surge um novo cenário em que, por meio de uma transposição didática, o saber a ensinar transforma-se no “saber ensinado” (Alves Filho, 2000).

O saber ensinado é o mais suscetível a mudanças, uma vez que ocorre no ambiente escolar. Envolve pais, diretores e demais responsáveis pela instituição. Enquanto o saber sábio e o saber a ensinar são caracterizados como transposições externas, sem interferência externa significativa, o saber ensinado é classificado como uma transposição interna devido às possíveis pressões e influências provenientes desse contexto (Alves Filho, 2000).

Durante a transformação dos saberes, pode acontecer uma completa distorção do conceito científico culminando na divulgação de um erro conceitual, tanto a partir dos discursos linguísticos como extralinguísticos (dos Santos e Meloni, 2023). Erros esses que vêm sendo percebidos, inclusive, em obras aprovadas pelo PNLD (Silva e Chagas, 2017; Oliveira e Siqueira, 2023) e livros do Ensino Superior (Silva e Chagas, 2017).

Martinand (1986), citado por Astolfi e Develay (1995, p.53), destaca um elemento crucial no saber ensinado, denominado “prática social de referência”. Esse conceito ressalta a importância de relacionar os conteúdos a serem ensinados

com a cultura dos alunos. As analogias representam exemplos de como conectar a realidade diária dos estudantes com os fenômenos a serem estudados, constituindo, assim, uma forma de transposição didática.

Analogias são “comparações de estruturas entre dois domínios” (Duit, 1991). Podem ser apresentadas em dois formatos: um verbal, que apresenta apenas palavras, e outro pictórico-verbal, no qual as palavras são conectadas com figuras. Para compreender as analogias verbais, o estudante deve criar sua própria imagem (Curtis e Reigeluth, 1984). Entre os modelos atômicos famosos, por causa de uma analogia associada, está o modelo atômico de Thomson.

O modelo atômico de Joseph John Thomson

Joseph John Thomson foi um físico britânico que viveu entre 1856 e 1940. Seu interesse pela física começou aos 14 anos, quando iniciou seus estudos em engenharia no *Owens College*. Ele se destacou na área de teorias atômicas e combinações químicas, influenciado por John Dalton. Thomson sucedeu Lorde Rayleigh no Laboratório Cavendish, onde desenvolveu suas pesquisas sobre a natureza elétrica da matéria e a teoria atômica (Lopes e Martins, 2009).

Entre as pesquisas de Thomson, destacam-se sua investigação sobre a estrutura dos átomos e a distribuição dos elétrons, que culminaram na elaboração de uma teoria atômica. Segundo essa teoria, o átomo neutro é descrito como constituído por eletricidade positiva e corpúsculos negativamente carregados que se repelem mutuamente. Devido à incerteza sobre a natureza exata da eletricidade positiva no átomo, o cientista optou por descrevê-la como uma esfera de densidade uniforme – uma abordagem mais conveniente do ponto de vista matemático (Thomson, 1907).

Inicialmente, Thomson propôs arranjos poligonais para distribuir os corpúsculos nos átomos, variando de 3 a 6 corpúsculos. No entanto, a impossibilidade matemática de organizar tridimensionalmente os corpúsculos em um átomo esférico de forma a garantir o equilíbrio levou-o a considerar um caso especial. Nesse caso, os corpúsculos são confinados a um plano que passa pelo centro da esfera e, assim, em posições de equilíbrio, eles se localizam em anéis: um único anel para átomos com até cinco corpúsculos e dois ou mais anéis para átomos com mais de cinco corpúsculos. Portanto, o posicionamento dos corpúsculos dado por Thomson refere-se a esse caso especial em que todos os corpúsculos estão em um plano que passa pelo centro do átomo esférico, por ter sido essa a condição suscetível a modelagem matemática, que foi a que originou os anéis (Thomson, 1907).

É importante destacar que, por estarem em um mesmo plano, os elétrons podem estar em equilíbrio sem a necessidade de estar se movimentando. Além disso, em seu trabalho, Thomson cita um método experimental para investigar o equilíbrio dos corpúsculos em um plano. Nesse experimento, foram utilizadas pequenas agulhas magnéticas fixadas em rolhas que flutuavam em água sob a influência de um ímã forte. Essas agulhas também se posicionaram naturalmente

em anéis concêntricos, ilustrando a configuração dos corpúsculos em um átomo de acordo com sua teoria dos anéis (Thomson, 1907).

Os corpúsculos negativos, posteriormente denominados elétrons, são constituintes do átomo e possuem sempre o mesmo tamanho e quantidade de carga elétrica. Eles foram identificados nos tubos de raios catódicos (Figura 1), nos quais a passagem de descargas elétricas produzia uma luz verde fluorescente (Thomson, 1907).

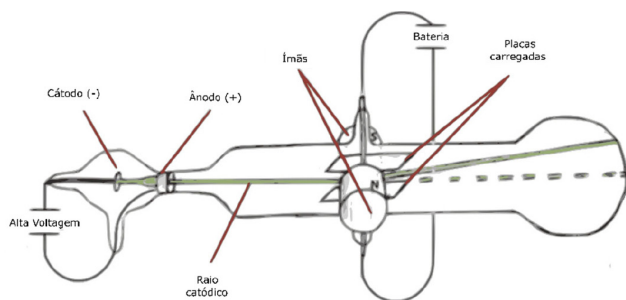


Figura 1: Representação do Tubo de Raios Catódicos

Thomson (1907) evidenciou que esses raios sempre apresentavam a mesma relação entre carga/massa, independentemente do tipo de eletrodo ou de gás utilizados. Com isso, ele compreendeu que o átomo possuía em sua constituição corpúsculos de carga negativa. Assim, demonstrou experimentalmente a existência de partículas menores que o átomo, contradizendo a sua indivisibilidade postulada pela teoria de Dalton.

Como esses corpúsculos são eletricamente negativos e os átomos são neutros em seu estado fundamental, eles deveriam estar equilibrados com uma quantidade equivalente de carga positiva. Assim, considerando o caso especial em que os corpúsculos estão confinados a um plano que passa pelo centro da esfera, o átomo seria uma esfera com eletricidade positiva distribuída de maneira uniforme, com os corpúsculos distribuídos em anéis concêntricos de modo que a atração pela eletricidade positiva fosse equilibrada pela repulsão dos outros corpúsculos (Thomson, 1907). A quantidade de anéis e a quantidade de elétrons em cada um deles foi calculada: no caso de átomos com até 100 partículas, seriam até sete anéis (Tabela 1).

O anel mais externo em todos os átomos, neste trabalho, é denominado a.1. À medida que mais anéis são necessários para garantir a estabilidade, eles são acrescentados internamente a esse anel. Portanto, átomos com número total de elétrons (CT) variando de 1 a 5 terão um único anel (a.1), átomos com CT variando de 6 a 16 terão dois anéis (a.1 e a.2), de 17 a 31 terão três anéis (a.1, a.2 e a.3), de 32 a 48 terão quatro anéis, de 49 a 69 terão cinco anéis, de 70 a 93 terão seis anéis, de 94 a 100 terão sete anéis.

Exemplificando, um átomo com CT igual a 12 terá dois anéis, sendo que 9 elétrons estarão no anel externo (a.1) e 3 no anel interno (a.2); um átomo com CT igual a 23 terá três anéis, sendo que 13 elétrons estarão no anel externo (a.1), 8 no segundo anel (a.2) e 2 no anel interno (a.3); um átomo

com CT igual a 38 terá quatro anéis, sendo que 16 elétrons estarão no anel externo (a.1), 12 no segundo anel (a.2), 8 no terceiro anel (a.3) e dois no anel interno (a.4), conforme representado na Figura 2.

Thomson (1907) apresenta um modelo puramente matemático em seu livro, desprovido de qualquer recurso imagético; porém, muitos autores de livros, ao realizarem a transposição didática, utilizaram figuras. No entanto, um recurso que poderia funcionar como um facilitador pode se tornar mais um problema, a depender da forma como é apresentado.

Diante do exposto, o objetivo desta pesquisa foi analisar se o modelo atômico de Thomson, apresentado nos livros de Química do PNLD 2018, Ciências da Natureza e suas tecnologias do PNLD 2021 e do Ensino Superior (Brown *et al.*, 2016; Atkins *et al.*, 2018) é efetivamente coerente com o originalmente proposto pelo cientista.

Metodologia

Foram analisados os livros de Química do PNLD de 2018, de Ciências da Natureza e suas tecnologias do PNLD 2021, além de dois livros comumente utilizados no ensino superior de Química: *Química - A Ciência Central* (Brown *et al.*, 2016) e *Princípios de Química - Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente* (Atkins *et al.*, 2018).

A avaliação dos livros foi feita de forma qualitativa, dividida em três etapas conforme a abordagem da análise de conteúdo proposta por Bardin (1977): pré-análise, exploração do material e interpretação/inferências. A pré-análise foi iniciada com a definição de um código (C) (Quadro 1) para cada coleção.

Na versão digital dos livros, utilizamos a ferramenta de busca “(Ctrl + F)” para encontrar a palavra-chave “Thomson”. Em seguida, iniciamos a exploração do material através de uma leitura flutuante para selecionar os trechos pertinentes para a análise, identificando assim as unidades de registro. Posteriormente, realizamos uma leitura mais detalhada para formular hipóteses e desenvolver identificadores que auxiliassem na interpretação do material.

Assim, as unidades de registros foram agrupadas de acordo com as categorias identificadas para realizarmos a terceira etapa, que consistiu em uma leitura exaustiva das unidades de registro. O objetivo dessa fase foi posicioná-las nas categorias construídas, envolvendo interpretação e inferências à luz do referencial teórico. O propósito era responder à seguinte questão: o modelo atômico de Thomson, apresentado nos livros de Química do PNLD 2018, Ciências da Natureza e suas tecnologias do PNLD 2021, e nos livros do Ensino Superior (Brown *et al.*, 2016; Atkins *et al.*, 2018) é efetivamente coerente com o originalmente proposto pelo cientista?

Resultados e discussão

A busca pela palavra-chave “Thomson” permitiu identificar os livros pertinentes à nossa questão de pesquisa.

Tabela 1: Relação entre corpúsculos e anéis para o átomo de Thomson

CT	1	2	3	4	5																						
a.1	1	2	3	4	5																						
CT	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16																
a.1	5	6	7	8	8	8	9	10	10	10	11																
a.2	1	1	1	1	2	3	3	3	4	5	5																
CT	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31												
a.1	11	11	11	12	12	12	13	13	13	13	13	13	14	15	15												
a.2	5	6	7	7	8	8	8	8	9	10	10	10	10	10	11												
a.3	1	1	1	1	1	2	2	3	3	3	4	4	5	5	5												
CT	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48										
a.1	15	15	15	16	16	16	16	16	16	16	17	17	17	17	17	17	17										
a.2	11	11	11	11	12	12	12	13	13	13	13	13	13	14	14	15	15										
a.3	5	6	7	7	7	8	8	8	8	9	9	10	10	10	10	10	11										
a.4	1	1	1	1	1	1	2	2	3	3	3	3	4	4	5	5	5										
CT	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69						
a.1	17	18	18	18	18	18	19	19	19	19	20	20	20	20	20	20	20	20	20	21	21						
a.2	15	15	15	15	16	16	16	16	16	16	16	16	16	17	17	17	17	17	17	17	17	17					
a.3	11	11	11	11	11	12	12	12	12	13	13	13	13	13	13	13	14	14	15	15	15						
a.4	5	5	6	7	7	7	7	8	8	8	8	8	9	9	10	10	10	10	10	10	11						
a.5	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3	4	4	5	5	5	5						
CT	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93			
a.1	21	21	21	21	21	21	21	21	22	22	22	22	22	22	22	22	23	23	23	23	23	23	23	24			
a.2	17	18	18	18	18	18	19	19	19	19	19	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	21	21	21			
a.3	15	15	15	15	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17			
a.4	11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	13	13	13	13	13	13	13	14	14	15	15	15	15	15			
a.5	5	5	6	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	9	9	10	10	10	10	10	10	11	11				
a.6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	5	5	5	5	5			
CT	94	95	96	97	98	99	100																				
a.1	24	24	24	24	24	24	24																				
a.2	21	21	21	21	21	21	21																				
a.3	17	18	18	18	18	18	19																				
a.4	15	15	15	15	16	16	16																				
a.5	11	11	11	11	11	12	12																				
a.6	5	5	6	7	7	7	7																				
a.7	1	1	1	1	1	1	1																				

Fonte: adaptado de Thomson, 1907. p.109-110. CT: número total de elétrons no átomo, a.x (x=1-7): número do anel

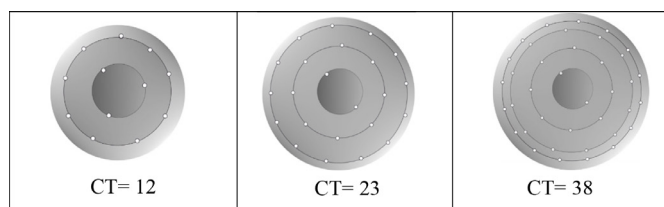


Figura 2: Representações do modelo de Thomson para átomos com 12, 23 e 38 elétrons. Fonte: autores (cores fantasia e o tamanho das partículas e da esfera fora de escala)

O resultado obtido pode ser verificado no Quadro 2 e nos permite visualizar que todas as coleções abordam o conteúdo ao menos uma vez. É interessante observar que o modelo atômico de Thomson é predominantemente apresentado no primeiro volume, mas em coleções como MP21, SP18, MEV21 e QC18, ele é abordado em dois volumes

Quadro 1: Livros analisados e seus respectivos códigos

	CÓDIGO (C)	TÍTULO	AUTOR (ES)
PNLD 2018	QC18	Química Cidadã – V. 1-3	W. Santos e G. Mól (org)
	V18	Química Viva – V. 1-3	V. L. D. de Novais e M. T. Antunes
	MM18	Química – V. 1-3	E. F. Mortimer e A. H. Machado
	SP18	Química – Ser Protagonista – V. 1-3	J. C. F. Lisboa <i>et al.</i>
	MR18	Química – V. 1-3	M. Reis
	C18	Química – V. 1-3	C. A. M. Ciscato <i>et al.</i>
PNLD 2021	CN21	Ciências da Natureza – V. 1-6	S. Lopes e S. Rosso
	C21	Conexões – V. 1-6	M. Thompson <i>et al.</i>
	D21	Diálogo – V. 1-6	K. C. dos Santos
	SP21	Ser Protagonista – V. 1-6	A. Fukui <i>et al.</i>
	MEV21	Matéria Energia e Vida – V. 1-6	E. Mortimer <i>et al.</i>
	MP21	Moderna Plus – V. 1-6	J. M. Amabis <i>et al.</i>
Ensino Superior	M21	Multiversos – V. 1-3	L. P. de Godoy, R. M. D. Agnolo e W. C. de Melo
	PQ18	Princípios de Química – Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente	P. Atkins, L. Jones e L. Laverman
	QCC16	Química - A Ciência Central	T. L. Brown <i>et al.</i>

apresentam ou não uma explicação do modelo mencionado. Assim, as coleções foram separadas entre aquelas que simplesmente mencionam o modelo e aquelas que tentam realizar uma transposição do conceito científico para o livro didático. Consequentemente, a categoria foi subdividida em duas subcategorias: **Explica** e **Não explica**.

A subcategoria **Explica** engloba todas as coleções que oferecem alguma explicação sobre o modelo de Thomson, sem considerar se essa explicação está correta ou não, aspecto que será analisado na próxima categoria. Do mesmo modo, a subcategoria **Não explica** refere-se às coleções que não oferecem explicação sobre o modelo de Thomson.

Assim, observou-se que, dentre as 15 coleções analisadas, apenas CN21 não fornece uma explicação. Nesse caso, embora Thomson seja mencionado, não há uma descrição da concepção do átomo pelo cientista. A coleção se limita a relatar a contribuição para fenômenos elétricos, a natureza

Quadro 2: Volumes que abordam o modelo atômico de Thomson

LIVROS	ABORDA	NÃO ABORDA
MR18	Volume 1	Volumes 2 e 3
SP18	Volumes 1 e 2	Volumes 3
V18	Volume 1	Volumes 2 e 3
QC18	Volumes 1 e 3	Volume 2
C18	Volume 1	Volumes 2 e 3
MM18	Volume 1	Volumes 2 e 3
CN21	Volumes 1, 2 e 5	Volumes 3, 4 e 6
C21	Volume 1	Volumes 2, 3, 4, 5 e 6
D21	Volume 1	Volumes 2, 3, 4, 5 e 6
MEV21	Volumes 3 e 6	Volumes 1 e 2, 4 e 5
MP21	Volumes 1 e 6	Volumes 2, 3, 4 e 5
M21	Volume 1	Volumes 2, 3, 4, 5 e 6
SP21	Volume 1	Volumes 2, 3, 4, 5 e 6
PQ18	Volume Único	Não se aplica
QCC16	Volume Único	Não se aplica

dos raios catódicos e a identificação e caracterização dos elétrons. Mesmo no tópico denominado “constituição atômica” (Figura 3), não é descrito ou exibido o modelo. Portanto, essa coleção foi removida das demais análises.

Constituição atômica

Os átomos são constituídos de partículas subatômicas, como prótons, nêutrons e elétrons. Os prótons foram identificados nos estudos do físico neozelandês Ernest Rutherford (1871-1937), publicados em 1919. Os nêutrons, embora previstos em diversas pesquisas e trabalhos experimentais desenvolvidos por tantos outros cientistas da época, foram identificados pelo físico britânico James Chadwick (1891-1972), em 1932. Os elétrons foram identificados e caracterizados graças aos trabalhos do físico inglês Joseph John Thomson (1856-1940) de 1904 e do físico estadunidense Robert Millikan (1868-1953) de 1909.

Figura 3: Descrição do átomo para CN21. Fonte: CN21

Cientes de que todas as demais 14 coleções foram enquadradas em **Explica**, o próximo passo foi analisar se a explicação é coerente com o modelo proposto por Thomson. Para isso, foi construída uma nova categoria, denominada **Transposição**. Essa categoria foi dividida em **Massa** e **Posição**, visando analisar individualmente cada um desses fatores.

No que diz respeito à **Massa** do átomo, as coleções MM18, MEV21, MP21, SP21, SP18, C18 e D21 afirmam que é maciça, para V18 e C21 a massa é sólida e para PQ18 é gelatinosa. Thomson não descreveu o átomo como sólido, maciço ou gelatinoso, ele apenas especificou que a esfera seria constituída de eletricidade positiva, como descrevem MR18 (Figura 4), QC18, QCC16 e M21.

Em relação à **Posição** dos elétrons, as coleções MR18, MM18, MEV21, MP21, PQ18, SP21, QCC16 e SP18

O átomo é uma esfera de carga elétrica positiva, não maciça, incrustada de elétrons (negativos), de modo que sua carga elétrica total é nula.

Figura 4: O átomo de Thomson em MR18/. Fonte: MR18

representam os corpúsculos de forma aleatória, sem mencionar como eles se organizam para gerar estabilidade ao átomo. As coleções QC18, M21, C18 e D21 (Figura 5) apresentam a informação correta, informando ao leitor que os elétrons estão dispostos em anéis concêntricos no átomo, conforme o caso especial apontado por Thomson, embora não explicitando ser esse um caso especial devido à sua suscetibilidade a tratamento matemático, enquanto V18 e C21 omitem essa informação.

Sabendo que explicações verbais podem ser complementadas por recursos imagéticos, foi estabelecida uma nova categoria denominada **Recurso Visual**. Esta categoria trata da presença ou ausência de imagens que representam o modelo atômico de Thomson. Portanto, a categoria foi subdividida em duas subcategorias: **Presença** ou **Ausência** de imagem.

A subcategoria **Presença** de imagem abrange as coleções nas quais são utilizadas imagens como forma de complementar a parte textual da explicação. Entre as 13 coleções que explicam o modelo de Thomson, as imagens estavam presentes em oito (MR18, SP18, V18, QC18, D21, MEV 21, QCC16 e SP21), sendo que apenas a QC18 (Figura 6a) apresenta uma figura adequada à descrição feita por Thomson.

Na Figura 6a é possível observar um átomo com sete elétrons, sendo seis dispostos de forma organizada em um anel concêntrico e o sétimo no centro da esfera. Essa representação está alinhada com o calculado por Thomson. As demais coleções (MR18, SP18, V18, D21, MEV21, QCC16 e SP21) apresentam em suas imagens corpúsculos dispostos de forma desorganizada e aleatória pelo átomo, como é possível observar na Figura 6b. Portanto, esta imagem não condiz com nenhuma das possibilidades apresentada pelo

cientista, logo esse modelo representado no livro é instável de acordo com os cálculos de Thomson (1907).

A representação visual no livro D21 (Figura 6b) chama a atenção, pois, embora a descrição em relação à posição dos elétrons estivesse correta (Figura 5), a representação gráfica não se coadunou com a textual.

Ainda em relação ao **Recurso Visual**, foram analisadas as legendas a fim de verificar se havia indicação ao leitor de que a representação estava fora de escala e que as cores eram fictícias. Essa subcategoria, denominada **Cores e Escala**, estava inadequada nas coleções QC18, QCC16 e MEV21. Por outro lado, as coleções MR18, SP18, V18, SP21 e D21 alertam o leitor sobre essas questões.

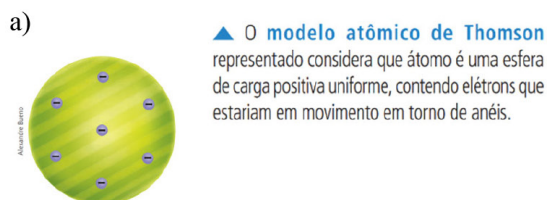
Reconhecemos esse alerta como significativo, pois, além de Thomson (1907) não ter utilizado nenhuma imagem que representasse seu modelo, os átomos não possuem cores, uma vez que o modelo é menor do que o comprimento de luz visível. Portanto, é fundamental que os autores estejam atentos à explicação para evitar a propagação de concepções alternativas.

Um resumo das informações referentes às categorias **Transposição** e **Recurso Visual** pode ser visualizado no Quadro 3. Nele estão destacadas em vermelho as informações apresentadas de forma errada pelos livros e em verde as informações adequadas. Como é possível observar, QC18 e M21 foram os livros que melhor atenderam aos critérios estabelecidos nesta pesquisa.

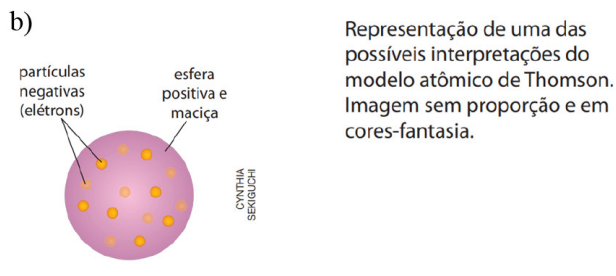
É importante destacar que as explicações fornecidas pelos dois livros de Ensino Superior analisados (QCC16 e PQ18) são tão equivocadas quanto a maioria dos livros do Ensino Médio presentes nesta pesquisa, como pode ser observado nas discussões e no Quadro 3. É possível ressaltar que esse não é um problema novo, pois Lima *et al.* (2017) e Mendes *et al.* (2023) já tinham observado situação semelhante. Uma possível explicação, segundo Lima *et al.* (2017), é que os autores dos livros do PNLD apenas simplificam o formalismo matemático do que estudaram em sua graduação, o que, segundo os autores, configura uma espécie de colonialismo

Em 1903, para abranger suas observações, Thomson propôs um novo modelo de átomo, que consistia em uma esfera maciça e com carga positiva, na qual pequenas partículas negativas, os elétrons, estavam distribuídas em circunferências concêntricas.

Figura 5: Disposição dos elétrons em D21 segundo o modelo de Thomson. Fonte: D21 p.51



Fonte: QC18, p.160



Fonte: D21, p. 51

Figura 6: Imagem da coleção QC18

Livros	Transposição		Recurso Visual		
	Massa	Posição	Presença	Posição	Cores e Escala
MR18	correta	aleatório	X	aleatório	adequada
SP18	maciça	aleatório	X	aleatório	adequada
V18	sólida	omite	X	aleatório	adequada
QC18	correta	anéis	X	anéis	não explica
C18	maciça	anéis	-	-	-
MM18	maciça	aleatório	-	-	-
C21	sólida	omite	-	-	-
D21	maciça	anéis	X	aleatório	adequada
MEV21	maciça	aleatório	X	aleatório	não explica
MP21	maciça	aleatório	-	-	-
M21	correta	anéis	-	-	-
SP21	maciça	aleatório	X	aleatório	adequada
PQ18	gelatinosa	aleatório	-	-	-
QCC16	correta	aleatório	-	aleatório	não explica

didático culminando na subordinação do Ensino Básico.

Chamamos atenção para esse fato através da pesquisa realizada por Silva e Chagas (2017), que, ao investigarem a transposição didática do conteúdo de Química Quântica nos livros do Ensino Médio, definiram como “saber sábio” o presente no QCC16. De acordo com os autores, “essa obra mesmo tendo passado pela transposição didática apresenta elos que remetem ao saber original proposto pelos cientistas” (Silva e Chagas, 2017, p. 287). Conforme pudemos observar nas discussões até o presente momento, essa é uma visão distorcida da realidade. Livros destinados ao Ensino Superior podem se distanciar do saber sábio tanto quanto os do Ensino Básico.

Os livros também foram analisados quanto ao emprego de analogias, pois esse é um recurso comumente utilizado no ensino de modelos atômicos. Como todos os recursos, existem vantagens e desvantagens que podem ser ressaltadas, dependendo do uso. Conforme afirmam Teixeira e Santos (2023), analogias enriquecidas que sejam coerentes ao contexto do estudante e que tenham suas limitações explicitadas podem auxiliar o processo de aprendizagem.

Diante do exposto, os livros foram analisados quanto à presença de **analogias**. Como resultado, foi identificado que elas estão presentes nos seguintes livros: MR18, SP18, QC18, MM18, MEV21, SP21, QCC16, PQ18, abarcando assim 8 das 14 coleções que explicam o modelo de Thomson.

Por meio da identificação das analogias foi construída uma subcategoria intitulada **Tipo**. O objetivo de análise nessa subcategoria foi localizar qual tipo de analogia os livros estavam utilizando, ou seja, qual entidade os autores entendem ser cabível comparar com o modelo do cientista. Foram identificados três tipos: “Pudim de passas/ameixas”, “Panetone” e “Melancia”.

A analogia do “Pudim de passas/ameixas” foi encontrada em sete (PQ18, QCC16, SP21, SP18, MR18, MEV21 e QC18) das oito coleções que optaram por esse recurso de transposição. Embora seja recorrente, ela não é proveniente de alguma fala ou texto do cientista, mas sim de um jornalista da época em que a teoria de foi publicada (Hon e Goldstein, 2013). Além disso, não é comum o pudim de passas no Brasil, o que dificulta a sua assimilação, de acordo com Teixeira e Santos (2023).

A analogia “Panetone” foi localizada na coleção MM18. Os autores, provavelmente optaram por esse pão natalino para criar maior proximidade com a cultura nacional, já que é um alimento comum no Brasil. Seguindo a mesma ideia de aproximação cultural, a coleção MEV21 e QCC16, além do pudim de passas/ameixas, utilizaram a “Melancia”.

Desse modo, dos três tipos utilizados, o “Pudim de passas/ameixas” é o mais comum, mas é também o mais distante dos discentes por não ser comum no contexto brasileiro. Portanto, em termos de familiaridade, o panetone e a melancia são melhores representações, porém familiaridade não é suficiente, é preciso que haja similaridade entre os domínios.

Em relação à similaridade, podemos perceber um potencial nesses análogos, como por exemplo, as entidades imersas nesses alimentos (frutas cristalizadas no panetone e as sementes na melancia) e os elétrons imersos no átomo, conforme apontam Teixeira e Santos (2023) em relação às passas no pudim. Entretanto, como já afirmado, as limitações também precisam ser consideradas, como o fato das frutas cristalizadas, sementes e passas estarem distribuídas de forma aleatória na entidade, enquanto no modelo de Thomson do átomo os elétrons estão em posições matematicamente calculadas.

Desse modo, em termos de familiaridade, similaridades e limitações, aspectos relevantes para a escolha de uma analogia, as utilizadas pelos livros apresentam adequações e inadequações. O maior entrave percebido é que as coleções apresentam apenas as similaridades, não explicitando as limitações, deixando a cargo do professor percebê-las e ressaltá-las durante o processo de ensino. Corre-se o risco de o estudante entender o análogo como o próprio alvo, sendo esses equivalentes.

Portanto, embora possa ser um recurso útil no ensino de ciências, o uso de analogias apresenta um desafio, pois não pode ser utilizado de maneira livre. É algo que requer estudo (Oliveira e Mozzer, 2023). O uso desordenado de analogias pode trazer problemas no ensino, como falta de aceitação pelos alunos, generalizações seguidas e conceitos errôneos (Ramos e Mozzer, 2018). Esses problemas podem ser considerados o que Bachelard (1996) denomina de “obstáculos epistemológicos”. O uso indiscriminado de analogias pode ser um dos fatores responsáveis por concepções equivocadas no ensino de ciências.

A partir da identificação dos tipos de analogia foi construída uma nova subcategoria denominada **Representações**. Nessa, o objetivo era identificar se a representação era **Textual** ou **Textual-imagética**. Assim, quando **Textual**, a analogia estava apenas na forma escrita (PQ18, QCC16, SP21, SP18 e MR18), enquanto nas **Textual-imagética** (QC18, MM18 e MEV21) os autores utilizaram imagens que representam a analogia, além da explicação textual.

Nas coleções que fizeram uso do “Pudim de passas” (PQ18, QCC16, SP21, SP18 e MR18), “Panetone” (MM18) e “Melancia” (MEV21, QCC16) (Figura 7), os autores

descreviam a analogia enquanto exibiam uma figura da entidade. As figuras foram utilizadas para explicar como cada parte da imagem se relaciona com o modelo de Thomson, ou seja, as similaridades.

Ao observar esse tipo de analogia, bem como sua descrição, percebemos que apenas as similaridades são apresentadas. Portanto, a falta das limitações, como já afirmado, pode induzir o estudante a acreditar que o análogo é o próprio alvo, fortalecendo equívocos acerca do modelo atômico proposto por Thomson, como já enfatizado, pois o modelo do cientista é matemático.

A categoria **analogia** foi subcategorizada em **Autoria**. Nessa, objetivávamos identificar quais coleções atribuíam a autoria a Thomson. Dessa forma, as unidades de registros foram divididas em **Autor**, **Não autor** e **Omissa** (Quadro 4).

Em **Autor** estão as coleções MEV21 e MM18, que afirmam ter sido o próprio Thomson o proponente da comparação: “Thomson propôs, como imagem para seu modelo, um pudim de passas, sobremesa típica do Natal inglês, à época» (Mortimer e Machado, 2016, p. 146).

Em **Não autor** temos a coleção SP18, na qual os autores afirmam explicitamente que a analogia do “Modelo pudim de passas” não foi criada por Thomson. “Este modelo ficou conhecido por modelo pudim de passas (nome que não foi dado por Thomson)” (Lisboa *et. al*, 2016, p. 81), esclarecendo ao leitor que, embora o modelo seja conhecido dessa forma, não foi Thomson quem propôs essa analogia.

Em **Omissa**, que se refere às coleções que não mencionam se a analogia foi ou não proposta por Thomson, encontram-se as coleções QC18, PQ18, QCC16, MR18 e SP21. Por exemplo, na coleção PQ18 não há uma referência



Figura 3.8 – Na analogia ao modelo de Thomson, a massa vermelha da melancia corresponderia à esfera com carga positiva uniformemente distribuída, enquanto as sementes da melancia seriam os elétrons.

Figura 7: Imagem da coleção MEV21. Fonte: MEV21 p. 45

Quadro 4: Resultados da análise das analogias presentes nos livros didáticos

LIVROS	ANALOGIA		
	Tipo	Representação	Autoria
MR18	Pudim de passas/ameixa	Textual	Omissa
SP18	Pudim de passas/ameixa	Textual	Não autoria
QC18	Pudim de passas/ameixa	Textual/ imagética	Omissa
MM18	Panetone	Textual/ imagética	Autor
MEV21	Pudim de passas/ameixa	Textual/ imagética	Autor
SP21	Pudim de passas/ameixa	Textual	Omissa
PQ18	Pudim de passas/ameixa	Textual	Omissa
QCC16	Pudim de passas/melancia	Textual	Omissa

explícita sobre a autoria da analogia, o que pode deixar o leitor em dúvida sobre a origem:

Thomson sugeriu um modelo atômico que ficou conhecido como o “modelo do pudim de passas”, segundo o qual um átomo é como uma esfera de material gelatinoso com carga positiva sobre a qual os elétrons estão suspensos, como passas de uva em um pudim (Atkins *et al.*, 2018, p. 3).

Assim, em relação à **Autoria**, apenas a coleção SP18 se posicionou de forma adequada, pois conforme explicitado no referencial teórico, não foi Thomson o autor dessa famosa analogia. Outro ponto que precisamos destacar novamente é a falha dos livros de ensino superior (PQ18 e QCC16). Afinal, espera-se que esses sejam construídos com mais cuidado, especialmente por serem utilizados na formação de futuros professores de Química, os quais acabam confiando na transposição didática desse material e utilizando esses conhecimentos em suas aulas e na elaboração de livros. Como já foi explicitado nesse texto, há inclusive pesquisadores, como Silva e Chagas (2017), que consideram o QCC16 como um saber sábio, uma vez que o livro é utilizado no curso de Licenciatura Plena em Química do Instituto Federal de Mato Grosso do Sul.

Considerações finais

Comparando o modelo original do átomo de Thomson com os apresentados nos livros didáticos analisados, de forma geral, observamos equívocos ou omissões. Esses ocorrem tanto em relação à massa do átomo, à disposição dos elétrons, à explicitação das limitações da analogia e pela omissão de que o modelo de Thomson (com elétrons alocados em anéis concêntricos) decorre de um caso especial, a suposição de que todos os elétrons estão confinados em um plano que passa pelo centro do átomo. Dessa forma, acreditamos que esta pesquisa tem potencial para auxiliar os autores nas próximas edições dos livros, professores em formação ou em exercício, bem como outros pesquisadores.

Gostaríamos de chamar atenção, novamente, para os

livros do Ensino Superior. Nesta pesquisa, os dois analisados apresentaram o modelo de Thomson de forma inadequada, incorrendo em erros. Esse problema já havia sido percebido por outros pesquisadores em outras temáticas. Assim, é importante que professores do Ensino Superior e pesquisadores atentem para as fontes utilizadas, não tomando livros didáticos como o próprio saber sábio. É também relevante que os autores se apropriem das pesquisas na área de ensino de química, que busquem fontes primárias, bem como artigos que se debrucem em fazer transposições, a fim de diminuir a probabilidade de propagarem erros já reportados na literatura.

Desse modo, finalizamos esse texto afirmando que foi possível localizar entre as coleções analisadas pontos positivos e negativos, e que é essencial que os autores invistam em uma melhor transposição didática. Além disso, ressaltamos ser necessário que mais pesquisadores invistam em analisar as diversas transposições didáticas que vêm sendo propagadas ao longo da história, possibilitando que essas análises cheguem aos cursos de formação de professores, tanto inicial quanto continuada. Ademais, salientamos que é preciso investimento em políticas públicas que garantam o afastamento remunerado de docentes da educação básica para cursos de capacitação, para programas de pós-graduação e outras atividades que os aproximem das pesquisas em ensino, pois é garantindo o acesso à informação de qualidade que poderemos melhorar os processos de ensino e aprendizagem.

Lucas Menhô Dias (lucasmelho4@gmail.com) é licenciado em Química pela Universidade de Brasília (UnB), mestre em Química pelo Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade de Brasília (PPGQ-UnB). Atualmente é professor de Educação Básica e preparatórios para vestibulares do Distrito Federal. **Valéria Pereira Soares** (soares-valeria@hotmail.com) é licenciada em Ciências Naturais pela Universidade de Brasília (UnB), mestre em Ensino de Ciências pelo Programa de Pós Graduação em Ensino de Ciências (PPGEC-UnB), doutoranda em Educação em Ciências pelo programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências (PPGEduC-UnB). Atualmente é professora na Secretaria de Educação do Distrito Federal (SEEDF), DF-BR. **Evelyn Jeniffer de Lima Toledo** (jeniffer.toledo@gmail.com) é licenciada em Química pela Universidade Federal de Lavras (UFLA), mestre em Química pela Universidade de São Paulo (USP) e doutora em Química pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Atualmente é professora do Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências (PPGEduC) na Universidade de Brasília (UnB), DF-BR.

Referências

- ALVES FILHO, J. P. Regras da transposição didática aplicadas ao laboratório didático. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 17, n. 2, p. 44-58, 2000.
- AMABIS, J. M.; MARTHO, G. R.; FERRARO, N. G.; PENTEADO, P. C. M.; TORRES, C. M. A.; SOARES, J.; DO CANTO, E. L. e LEITE, L. C. C. *Moderna Plus: ciências da natureza e suas tecnologias*, vols. 1, 2, 3, 4, 5 e 6. São Paulo: Moderna, 2020.
- ASTOLFI, J. P. e DEVELAY, M. *A didática das ciências*. São Paulo: Papirus, 1995.
- ATKINS, P.; JONES, L. e LAVERMAN, L. *Princípios de*

química: questionando a vida moderna e o meio ambiente. 7ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2018.

BACHELARD, G. *A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento*. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BARDIN, L. *Análise de conteúdo*. Lisboa: Edições 70, 1977.

BROWN, T. L.; LeMAY Jr, H. E.; BURSTEN, B. E.; MURPHY, C. J.; WOODWARD, P. M. e STOLTZFUS, M. W. *Química: a ciência central*. 13ª ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

CHEVALLARD, Y. e JOHSUA, M. A. Un exemple d'analyse de la transposition didactique: la notion de distance. *Recherches en Didactique des Mathématiques Grenoble*, v. 3, n. 2, 1982.

- CISCATO, C. A. M.; PEREIRA, L. F. e CHEMELLO, E. *Química*. vols. 1, 2 e 3. São Paulo: Moderna, 2016.
- CURTIS, R. V. e REIGELUTH, C. M. The use of analogies in written text. *Instructional Science*, v. 13, p. 99-117, 1984.
- DE GODOY, L. P.; AGNOLO, R. M. D. e DE MELO, W. C. *Multiversos: ciências da natureza: matéria, energia e a vida*. vols. 1, 2, 3, 4, 5 e 6. São Paulo: Editora FTD, 2020.
- DOS SANTOS, K. C. *Diálogo: ciências da natureza e suas tecnologias*. vols. 1, 2, 3, 4, 5 e 6. São Paulo: Moderna, 2020.
- DOS SANTOS, L. S. e MELONI, R. A. A experiência de Thomson: análise da abordagem de um livro didático em uma perspectiva histórica. *Chemical Education in Point of View*, v. 7, p. 1-14, 2023.
- DUIT, R. On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, v. 75, n. 6, p. 649-672, 1991.
- FUKUI, A.; AGUILAR, J. B.; MOLINA, M. e OLIVEIRA, V. S. D. *Ser protagonista: ciência da natureza e suas tecnologias: composição e estrutura dos corpos*. vols. 1, 2, 3, 4, 5 e 6. São Paulo: Edições SM, 2020.
- HON, G. e GOLDSTEIN, B. J. J. Thomson's plum-pudding atomic model: The making of a scientific myth. *Annalen der Physik*, v. 525, n. 8-9, p. 129-133, 2013.
- LIMA, N. W.; OSTERMANN, F. e CAVALCANTI, C. J. H. Física Quântica no ensino médio: uma análise bakhtiniana de enunciados em livros didáticos de Física aprovados no PNLD 2015. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 34, n. 2, p. 435-459, 2017.
- LISBOA, J. C. F.; BRUNI, A. T.; NERY, A. L. P.; LIEGEL, R. M. e AOKI, V. L. M. *Ser protagonista: química*. vols. 1, 2 e 3. 3ª ed. São Paulo: Edições SM, 2016.
- LOPES, C. V. M. e MARTINS, R. A. J. J. Thomson e o uso de analogias para explicar os modelos atômicos: o 'pudim de passas' nos livros texto. In: *VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciência. Anais...* Florianópolis, 2009.
- LOPES, S. e ROSSO, S. *Ciências da natureza*. vols. 1, 2, 3, 4, 5 e 6. São Paulo: Moderna, 2020.
- MELO, M. R. e LIMA NETO, E. G. Dificuldades de Ensino e Aprendizagem de Modelos Atômicos em Química. *Química Nova na Escola*, v. 35, p. 112-122, 2013.
- MENDES, A.; MÜLLER, M. G.; DE CANDIA, D. G. M.; LOPES, J. B. e ABIB, G. R. A filosofia da ciência em livros didáticos: revisão bibliográfica de artigos científicos publicados em periódicos de ensino de ciências biológicas, física e química entre os anos de 2001 e 2020. *Revista de Educação, Ciência e Matemática*, v. 13, n. 2, p. 1-14, 2023.
- MORTIMER, E.; HORTA, A.; MATEUS, A.; MUNFORD, D.; FRANCO, L.; MATOS, S.; PANZERA, A.; GARCIA, E. e PIMENTA, M. *Matéria, energia e vida: uma abordagem interdisciplinar*. vols. 1, 2, 3, 4, 5 e 6. São Paulo: Scipione, 2020.
- MORTIMER, E. F. e MACHADO, A. H. *Química: ensino médio*. vols. 1, 2 e 3. 3ª ed. São Paulo: Scipione, 2016.
- OLIVEIRA, T. M. A. e MOZZER, N. B. Os conhecimentos de futuros professores de Química sobre o uso de analogias no ensino: influências de um processo formativo. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, v. 22, n. 1, p. 26-50, 2023.
- OLIVEIRA, D. S. e SIQUEIRA, M. A física de partículas em livros didáticos aprovados no PNLD 2018 e 2021: uma análise a partir da transposição didática. *Experiências em Ensino de Ciências*, v. 18, n. 4, p. 412-424, 2023.
- RAMOS, T. C. e MOZZER, N. B. Análise do uso da analogia com o "pudim de passas" guiado pelo TWA no ensino do modelo atômico de Thomson: considerações e recomendações. *Química Nova na Escola*, v. 40, n. 2, p. 106-115, 2018.
- REIS, M. *Química: ensino médio*. vols. 1, 2 e 3. 2ª ed. São Paulo: Ática, 2016.
- SANTOS, W. e MÓL, G. *Química cidadã*. vols. 1, 2 e 3. 3ª ed. São Paulo: Editora AJS, 2016.
- SILVA, G. R. e CHAGAS, E. Transposição didática: uma análise do distanciamento dos saberes de química quântica nos livros didáticos do ensino médio. *Holos*, v. 7, p. 284-293, 2017.
- TEIXEIRA, Y. B. S. e SANTOS, S. C. S. Análise de analogias para o ensino de modelos atômicos presentes nos livros didáticos do PNLD 2020. *Revista de Educação em Ciências e Matemática*, v. 19, n. 43, p. 05-21, 2023.
- THOMSON, J. J. *The corpuscular theory of matter*. New York: Charles Scribner's Sons, 1907.
- THOMPSON, M.; RIOS, E. P.; SPINELLI, W.; REIS, H.; SANT'ANNA, B.; NOVAIS, V. L. D. D. e ANTUNES, M. T. *Conexões: ciências da natureza e suas tecnologias*. vols. 1, 2, 3, 4, 5 e 6. São Paulo: Moderna, 2020.

Abstract: Thomson's atomic model in Chemistry textbooks: challenges and perspectives. Chemistry is an abstract science and teachers have the role of transposing its models and theories. This transposition can be done using different resources, including textbooks. Recognizing the importance of such resources and the difficulty of appropriating atomic models, this research investigated whether the presentation of the Thomson model in Chemistry books from PNLD 2018, Natural Sciences and its technologies PNLD 2021 and in books used in higher education is effective in a way consistent with what was originally proposed by the scientist. The research was carried out qualitatively using Bardin's content analysis as a technique. As a result, inconsistencies were observed between the model proposed by Thomson and the one presented in the books, the main ones being mass of the atom, position of electrons and use of analogies. This research is expected to contribute to the dissemination of the model as proposed by the scientist.

Keywords: didactic transposition, analogies, electrons