



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
**DEPARTAMENTO DE QUÍMICA**  
**CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA**

**FABRÍCIO RAMOS DA SILVA**

**O PRINCÍPIO DE EXCLUSÃO DE PAULI E A TABELA PERIÓDICA:  
uma análise na coleção dos livros didáticos PNLD 2018**

**Recife**  
**2021**

**FABRÍCIO RAMOS DA SILVA**

**O PRINCÍPIO DE EXCLUSÃO DE PAULI E A TABELA PERIÓDICA:  
uma análise na coleção dos livros didáticos PNLD 2018**

Monografia apresentada à coordenação do curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Licenciado em Química.

Orientador: Prof. Dr. Luciano de Azevedo Soares Neto

**Recife**

**2021**

Dados Internacionais de Catalogação na  
Publicação Universidade Federal Rural  
de Pernambuco Sistema Integrado de  
Bibliotecas

---

Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S586p Silva, Fabrício Ramos da Silva  
O PRINCÍPIO DE EXCLUSÃO DE PAULI E A TABELA PERIÓDICA: uma análise da coleção dos livros didáticos PNLD 2018. / Fabrício Ramos da Silva Silva. - 2021.  
58 f. : il.
- Orientador: Luciano de Azevedo Soares Neto. Inclui referências.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Licenciatura em Química, Recife, 2021.
1. Princípio de Exclusão de Pauli. 2. Distribuição Eletrônica. 3. Tabela Periódica. 4. Livro Didático. I. , Luciano de Azevedo Soares Neto, orient. II. Título

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
**DEPARTAMENTO DE QUÍMICA**  
**CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA**

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**FABRÍCIO RAMOS DA SILVA**

**O PRINCÍPIO DE EXCLUSÃO DE PAULI E A TABELA PERIÓDICA:  
uma análise na coleção dos livros didáticos PNLD 2018**

Aprovado em: 20 de dezembro de 2021.

**Banca Examinadora**

---

Luciano de Azevedo Soares Neto – Orientador  
DQ/Universidade Federal Rural de Pernambuco

---

Elinaldo da Silva Alcoforado – Avaliador  
DQ/Universidade Federal Rural de Pernambuco

---

Joacy Vicente Ferreira – Avaliador  
Instituto Federal de Pernambuco – IFPE - Campus Afogados da Ingazeira

## AGRADECIMENTOS

Agradecer não é uma tarefa fácil. Você fica se perguntado como pode expressar toda gratidão sentida dentro de si de forma que outra pessoa entenda o quão agradecido você se sente. Quando você consegue demonstrar com ações ficar um pouco mais fácil, mas com palavras, às vezes falta sinônimos para manifestar tanta emoção. Então farei à minha maneira.

Agradeço primeiramente a Deus, pela minha vida e por ter me dado tanta paciência e sabedoria para superar os obstáculos do curso.

A minha família, especialmente a minha irmã Fabiola Neves e a minha tia Ana Alice, por me apoiarem na vida pessoal e me dado sustentação nas horas difíceis.

Ao restaurante universitário da UFRPE, por ter me salvado diversas vezes de uma noite sem uma janta digna.

A minha amiga Mayara Miranda e sua família, por desde o começo acreditar em mim e acompanhar minha saga na Universidade com muita alegria e close.

A minha amiga Carla Oliveira e sua família, por desde sempre me incentivar a ser melhor do que eu jamais imaginaria ser.

A equipe do laboratório de pesquisa e desenvolvimento da Tintas Iquine LTDA (2017), em especial a José Carneiro, Luzi Bezerra, Adrielly Frazão, Gilberto Guaraná e Flávia Oliveira por me ajudar, me animar e me apoiar durante a trajetória do curso.

A Pablo Bomfim, Milene Costa e Mariana Gonçalves, por formarem a equipe 804 e agregado e nessa reta final do curso me darem o gás para terminar.

A todos os meus amigos que não citei aqui por falta de espaço e que contribuíram para minha formação acadêmica e pessoal.

E por fim, não menos importante, aos meus professores universitários, os quais eu tanto importunei. Especialmente meu orientador Luciano de Azevedo, por ter confiado a mim esse trabalho e fornecido dados essenciais para a elaboração desse projeto.

*“A prova de Pauli a respeito desse fato mostra que ele tem raízes profundas na relatividade e causalidade”*

(Segrè, Emilio, 1987)

## RESUMO

O Princípio de Exclusão de Pauli diz que “não pode existir em um átomo dois elétrons com os mesmos números quânticos”. Embora pareça simples, esse princípio é um dos mais fundamentais da física quântica, sendo peça chave para o entendimento de fenômenos como o paramagnetismo e o ferromagnetismo e também para a compreensão da distribuição eletrônica dos elementos. Sabendo disso, a presença desse assunto nos livros didáticos é de bastante relevância, visto que a configuração eletrônica dos elementos explica as propriedades periódicas, conseqüentemente, a estrutura da tabela periódica e todo o comportamento dos elementos químicos. Ademais, uma explicação moderna para a construção da tabela periódica pode contribuir para a resolução de problemáticas referentes às abordagens descontextualizadas oferecidas por parte de numerosos livros didáticos. Levando isso em consideração o trabalho teve como objetivo analisar como os livros didáticos na coleção do PNLD 2018 de química para ensino médio abordam o Princípio de Exclusão de Pauli. Para tanto, foram selecionados os seis livros da coleção do PNLD 2018, mais um livro de uma coleção anterior, a fim de saber como eles abordam o Princípio de Exclusão numa perspectiva de estudo de caso. Apenas dois dos seis livros apresentaram o Princípio de Exclusão na sua estrutura não estabelecendo uma relação direta entre o assunto e a tabela periódica. Logo, é necessário o desenvolvimento de propostas didáticas envolvendo este princípio e a elaboração de trabalhos contemplando o Princípio de Pauli no ensino de química.

**Palavras-chave:** Princípio de Exclusão de Pauli, Distribuição Eletrônica, Tabela Periódica, Livro Didático.

## ABSTRACT

The Pauli Exclusion Principle says that "there cannot exist in an atom two electrons with the same quantum numbers". Although it seems simple, this principle is one of the most fundamental in quantum physics, being a key part for the understanding of phenomena such as paramagnetism and ferromagnetism and also for the understanding of the electronic distribution of the elements. Knowing this, the presence of this subject in textbooks is quite relevant, since the electronic configuration of the elements explains the periodic properties and consequently the structure of the periodic table. Furthermore, a modern explanation for the construction of the periodic table can contribute to solving the problems related to the decontextualized approaches offered by numerous textbooks. Taking this into account, the work aimed to analyze how the textbooks in the PNLD 2018 collection of chemistry for high school address the Pauli Exclusion Principle. For that, the six books of the PNLD 2018 collection were selected, plus one book from a previous collection, in order to know how these literatures approach the subject of the Exclusion Principle from a case study perspective. Only two of the six books presented the Exclusion Principle in their structure, not establishing a direct relationship between the subject and the periodic table. Therefore, it is necessary to develop didactic proposals involving this principle and the elaboration of works contemplating the Pauli Principle in the teaching of chemistry.

**Keywords:** Pauli Exclusion Principle, Electronic Distribution, Periodic Table, Textbook.

## LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 - Wolfgang Pauli quando jovem estudante.....	23
Figura 2 - Max Born e Wolfgang Pauli.....	24
Figura 3 - Spins dos elétrons.....	26
Figura 4 - Simbologia para indicar a configuração eletrônica.....	29
Figura 5 - A ocupação dos estados eletrônicos deve observar o Princípio de Exclusão e a regra de Hund.....	31
Figura 6 - Energia de Ionização dos Elementos em Função do Número Atômico ....	32
Figura 7 - Distribuição eletrônica dos átomos neutros e íons de alguns elementos proposto no LD1.....	46
Figura 8 - Distribuição eletrônica dos elementos neutros mostrado no LD5 .....	46
Figura 9 - Distribuição eletrônica dos elementos neutros mostrado no LD6 .....	47
Figura 10 - Quadro explicativo com os subníveis no LD3 .....	48
Figura 11 - distribuição eletrônica do cálcio .....	50
Figura 12 - Exercícios propostos pelo LD7.....	52

## LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 - Números quânticos para o estado $n = 2$ .....	29
Tabela 2 - Livros didáticos avaliados na pesquisa .....	43
Tabela 3 - Livros didáticos contendo o assunto do Princípio de Pauli.....	45

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PP	Princípio de Pauli
TP	Tabela Periódica
PNLD	Programa Nacional do Livro Didático
LD	Livro Didático
TP	Tabela Periódica
TD	Transposição Didática

## LISTA DE SÍMBOLOS

$n$	Número quântico principal
$\ell$	Número quântico secundário
$m$	Número quântico magnético
$m_s$	Número quântico de spin

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1 O MODELO DE BOHR-SOMMERFELD .....	17
2.2 WOLFGANG PAULI .....	21
2.3 O PRINCÍPIO DE EXCLUSÃO.....	25
2.4 O PRINCÍPIO DE EXCLUSÃO E A DISTRIBUIÇÃO ELETRÔNICA DOS ELEMENTOS.....	28
2.5 OS LIVROS DIDÁTICOS E A TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA.....	33
2.6 A CLASSIFICAÇÃO PERIÓDICA NO ENSINO MÉDIO .....	38
3 METODOLOGIA.....	42
3.1 A ESCOLHA DOS LIVROS .....	43
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	54
REFERÊNCIAS.....	56

## 1 INTRODUÇÃO

O Princípio de Exclusão de Pauli é um importante fundamento da teoria quântica e apesar de seu enunciado ser apresentado na literatura de forma aparentemente simples, tal como *“não pode haver no mesmo átomo dois elétrons com o os quatro números quânticos iguais”*, esse princípio tem implicações grandiosas. O Princípio de Exclusão é a chave para o entendimento de diversos fenômenos, tais como o ferromagnetismo, o paramagnetismo, entre outros, e é fundamental no entendimento das ligações químicas.

A mais considerável implicação do Princípio de Pauli para a química é a distribuição eletrônica dos elementos, isso porque associado à regra de Hund o Princípio de Exclusão resulta na distribuição dos elétrons em sua configuração mais estável. Com as configurações eletrônicas pode-se entender as propriedades periódicas existentes nos elementos, o que justifica a construção da tabela periódica. Logo, nas palavras de Nussenzveig (1998) *“Vemos assim que o princípio de exclusão desempenha um papel fundamental na explicação das propriedades químicas dos elementos, e o mesmo vale para a explicação de tabela periódica de Mendeleev.”* (Nussenzveig, 1998, p. 395).

Sabendo disso, a inserção desse conteúdo nos livros didáticos se faz de extremo interesse para a compreensão da construção da tabela periódica e para a superação de abordagens de ensino que levam os estudantes a decorar as informações existentes nos livros. Diversos livros didáticos, especialmente do ensino médio, trazem uma abordagem da tabela periódica que privilegia aspectos teóricos de forma complexa e descontextualizada, como escreve Trassi, et. al. (2001). Ou ainda não relacionam a história da construção do conhecimento ao conteúdo, estabelecendo a estruturação da tabela periódica como fruto da genialidade de poucos cientistas.

Motivado pelos argumentos anteriores e também por uma pesquisa realizada em periódicos sobre artigos que tratassem diretamente do Princípio de Exclusão na área de química, o que revelou uma escassez de trabalhos nessa linha, decidimos realizar o presente trabalho, que tem como problema de pesquisa: Como os livros didáticos do ensino médio abordam o Princípio de Exclusão de Pauli?

Então, o objetivo geral do trabalho é analisar como os livros didáticos na coleção do PNLD 2018 de química para ensino médio abordam o Princípio de

Exclusão de Pauli, tendo como objetivos específicos: apresentar a importância do Princípio de Pauli para a distribuição eletrônica dos elementos; apontar as contribuições do Princípio de Pauli para a construção da tabela periódica; e comparar como o assunto é abordado no livro didático de uma versão anterior como o atual.

No capítulo 2, fundamentação teórica, são apresentadas as referências teóricas que dão suporte ao trabalho, a saber: o contexto e as implicações que levaram ao modelo de Bohr-Sommerfeld, a vida e pouco da história de Wolfgang Pauli, o Princípio de Exclusão, as contribuições do Princípio de Exclusão para a distribuição eletrônica dos elementos, a relação da transposição didática e os livros didáticos e por fim a classificação periódica dentro do ensino médio.

No capítulo 3, metodologia, são indicados os livros didáticos selecionados da coleção do Programa Nacional do Livro Didático aprovados em 2018 e da coleção anterior, a metodologia e o método escolhido para a realização da pesquisa.

No capítulo 4, resultados e discussão, são apresentados como os autores introduzem o conteúdo do Princípio de Exclusão dentro dos livros didáticos e realizam a correlação deste princípio para o entendimento da distribuição eletrônica, conseqüentemente, da tabela periódica; seguindo pontos estabelecidos no capítulo anterior. Por fim, no capítulo 5 são realizadas as considerações finais pertinentes ao trabalho.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 O MODELO DE BOHR-SOMMERFELD

*“Talvez, eu tenha feito uma pequena descoberta sobre a estrutura dos átomos. Não conte isso para ninguém.”* (Vieira, 2015, p.34). Em carta enviada pelo físico teórico Niels Bohr (1885-1962), ele relata sua descoberta que apesar de lhe parecer pequena, marcava o início do conhecimento do interior do átomo pela física quântica. Naquele período Bohr que já havia trabalhado com o descobridor do elétron, Joseph Thomson (1856-1940), resolveu aceitar o convite de seu antigo professor Ernest Rutherford (1871-1937) e direcionou seus estudos para o modelo atômico com núcleo. De acordo com Vieira (2015), o grande problema para o qual Bohr orientou seus estudos foi a incoerência no modelo de Rutherford, visto que pelos princípios do eletromagnetismo os elétrons por apresentarem cargas elétricas negativas perderiam energia ao orbitar o núcleo vindo a se chocar com o mesmo, inviabilizando a existência do átomo. Para isso em Fevereiro de 1913 ele começou os seus estudos tomando conhecimento a respeito das raias espectrais, que conforme Jewett & Serway (2013) explica, é o fenômeno:

[...] observado quando um gás de baixa pressão é sujeito a uma descarga elétrica (a descarga elétrica ocorre quando uma diferença de potencial é estabelecida no gás, criando um campo elétrico maior que sua resistência dielétrica). A observação e a análise dessas linhas espectrais são a base da espectroscopia de emissão. Quando a luz de uma descarga num gás é analisada por meio de um espectrômetro, observa-se que ela consiste em algumas linhas de cor brilhante sobre um fundo geralmente escuro. Esse espectro de linhas discretas contrasta de modo evidente com as cores contínuas de um arco-íris vistas quando um sólido brilhante é observado através do mesmo instrumento. ( Jewett & Serway, 2013, p. 230 adaptado.)

Segundo Vieira (2015) explica, diversos cientistas se debruçaram para entender o fenômeno das raias espectrais, mas Bohr de forma perspicaz conseguiu essa resposta. No início da sua jornada obteve o conhecimento como seu colega Georg Von Hevesy (1885-1966) a respeito dos isótopos, que são variações de um mesmo elemento químico contendo o mesmo número de prótons e variando a quantidade de nêutrons. Bohr se deu conta que ao expelir parte do seu núcleo os elementos se transformam e mudam a posição na tabela periódica, logo a radioatividade que ele estudou outrora era um fenômeno nuclear. Aceitar essas suas conclu-

sões significava autenticar o modelo proposto por Rutherford, porém como Vieira (2015) escreve seu antigo professor não se entusiasmou tanto com feito o que acabou por deixar seu antigo aluno desapontado.

Nas palavras de Vieira (2015) Bohr apresentava uma “*agudeza para relacionar fenômenos aparentemente desconexos*” (Vieira, 2015), o que foi extremamente necessário para o segundo subsídio do seu modelo. Em contato com Charles Galton Darwin (1887-1962), neto do famoso Charles Darwin (1809-1882), Bohr o ajudou a entender como as partículas alfa perdiam energia quando se chocava contra os elétrons, sendo a função do núcleo nessas colisões desprezível. As contas de Charles não batiam com os dados experimentais, visto que estava levando em consideração que os elétrons eram entidades livres dentro do átomo. Por outro lado Bohr apoiado nas ideias do físico Max Planck (1858-1947) considerou os elétrons como entidades vibratórias que absorviam e expeliam energia, idealizando assim que os elétrons irradiariam energia em forma de “pacotinhos”. A partir daí o modelo atômico quântico começou a ser desenhado.

A terceira e de acordo com Vieira (2015), a mais importante contribuição para a formulação de seu modelo ocorreu em seis de Março de 1913 quando Bohr teve contato com a fórmula de Balmer, homenagem ao professor suíço Johann Balmer (1825-1898). A fórmula descrevia e previa com precisão as raias espectrais do átomo de hidrogênio, mas até então não se sabia o que a fórmula significava ou como poderia ser empregada. Bohr com sua perspicácia para unir fenômenos aparentemente desconexos, considerou a fórmula de Balmer correta, associado ao fato de que não era possível explicar o átomo apenas pela física clássica, conseguiu propor a composição básica para o átomo de hidrogênio. Vieira (2015) explica que em essência:

[...] o elétron, ao girar em torno do núcleo, só pode fazer isso caso se mantenha em órbitas pré-determinadas. Se o elétron receber luz – ou seja, um quantum de energia –, ele salta para uma órbita mais energética, passa fração de segundo lá e, ao voltar à sua órbita original, expelle a energia na forma de um quantum. É esse processo, repetido continuamente, que dá origem às raias espectrais. O espaçamento dessas linhas (a descontinuidade) é explicado, então, pelo fato de a luz expelida pelos átomos ser quantizada, ter valores discretos. (Vieira, 2015).

O átomo volta a ser considerado novamente estável assim como na antiguidade, uma vez que no artigo publicado por Bohr em 1913 o átomo em seu estado fundamental apresenta uma órbita estável para o elétron que o impede de se chocar contra o núcleo, sendo sua energia mínima, já no estado excitado, ou seja, de mais alta energia, são instáveis, para isso o elétron expeli a energia em forma de luz a fim de se estabilizar. Essas ideias foram conforme relata Vieira (2015) bem recebidas pelos cientistas na época e no mesmo ano Bohr publicou mais dois artigos sendo um deles aplicando as ideias quânticas para átomos mais pesados que o hidrogênio e o outro para moléculas, o que ficou conhecido como a trilogia Bohr.

Com o advento do modelo atômico do átomo de hidrogênio descrito por Bohr, a partir das ideias da teoria quântica de Planck e do conceito de fóton de Einstein, ocorreu a superação dos problemas no modelo planetário de Rutherford e ajudou a explicar as séries de linhas espectrais. Porém desde o começo Bohr demonstrava interesse por átomos com mais elétrons, (Lopes, 1992). O problema se tornava muito complicado quando passava para um sistema de mais de dois corpos, pois era preciso calcular complicadas orbitas hipotéticas que surgiam, para isso se necessitava de uma generalização das regra de quantização. Arnold Sommerfeld (1868 – 1951), professor de física teorica em Muinique, realizou essa generalização. O físico tinha seus estudo voltados para a matemática aplicada, mas por influência de Felix Klein, foi convencido a aplicar seus conhecimentos na física teórica. (Lopes, 1992). Conforme Lopes (1992) explica, com a aplicação da matemática, Sommerfeld conseguiu desenvolver técnicas na engenharia como a propagação das ondas eletromagnéticas e lubrificação.

Segundo Kumar (2010)<sup>1</sup> explica, na tentativa de simplificar o seu modelo, Bohr afirmou que os eletrons movem-se em orbitas circulares em torno do núcleo. Para melhorar essa restrição, Sommerfeld sabendo que, matematicamente falando, os círculos são uma classe especial de elipse as orbitas circulares de elétrons eram parte de um subconjunto de todas as orbitas elípticas quantizadas positivas. Sommerfeld dessa forma utilizou esse conhecimento para modificar o modelo de Bohr. O número quântico  $n$  no modelo atômico proposto por Bohr determina o estado estacionário circular do elétron, sendo para cada um dos elétrons um valor

---

<sup>1</sup> Todas as citações realizadas do autor foram traduções nossas.

de  $n$ . Porém dois números são necessários para determinar uma elipse, assim Sommerfeld introduz o  $\ell$  (utiliza-se também o  $K$  para designá-lo) como o número quântico do “orbital”, para quantificar uma órbita elíptica. Kumar (2010) aborda que no modelo modificado por Sommerfeld o número quântico principal determina os valores que  $\ell$  pode assumir, logo se  $n = 1$ ,  $\ell = 1$ ; se  $n = 2$ ;  $\ell = 1$  e  $2$ ; quando  $n = 3$ ,  $\ell = 1, 2$  e  $3$ , assim cada nível de energia possui uma órbita circular e diferentes órbitas elípticas exêntricas  $n - 1$ . Esses estados estacionários extras permitem entender a divisão das linhas espectrais da série de Balmer. Ainda para explicar a divisão das linhas espectrais Sommerfeld utilizou a Teoria da relatividade de Einstein, fazendo uma analogia com a órbita de um cometa ao redor do sol. Ele teorizou que o elétron orbita ao redor do núcleo em uma órbita elíptica e quanto mais perto do núcleo estiver, sua velocidade aumenta. Só que ao contrário do cometa a velocidade do elétron é tão grande que pela relatividade sua massa relativista gera uma pequena mudança de energia. Por isso segundo Kumar (2010) no estado  $n = 2$ , as duas órbitas  $\ell = 1$  e  $\ell = 2$ , apresentam energias diferentes visto que uma é elíptica e a outra circular. Essa pequena diferença de energia de ambos os dois níveis geram duas linhas espectrais onde apenas uma foi prevista pelo modelo de Bohr.

Outra grande explicação que Sommerfeld forneceu com esse modelo foi a respeito do efeito Zeeman para o átomo de hidrogênio. Em 1897 o físico holandês Pieter Zeeman descobriu em um campo elétrico magnético que uma única linha espectral dividia-se em várias e quando o campo era desligado essa divisão desaparecia, esse efeito foi chamado de Zeeman, em homenagem ao seu descobridor. Já em 1913, como escreve Kumar (2010), o físico alemão Johannes Stark, observou que uma única linha espectral se divide em várias, quando os átomos são colocados em um campo elétrico. Diversos cientistas se perguntavam como aquele fenômeno ocorrera, entre eles Rutherford e Bohr, mas Sommerfeld apresentara uma solução engenhosa. Kumar (2010), relata que admitindo órbitas elípticas, a possibilidade de órbitas quantizadas que o elétron pode ocupar quando o átomo está em um determinado estado de energia aumenta. Assim o elétron poderia selecionar mais órbitas que apontavam em várias direções em relação ao campo elétrico. Sommerfeld introduziu o chamado quantum “magnético”, o número  $m$  para quantizar a orientação dessas órbitas. Concluindo que para um determinado número quântico  $n$ ,  $m$  assume um valor que varia de  $-n$  à  $n$ , logo se  $n = 2$ , os valores

assumidos por  $m$  serão  $-2, -1, 0, 1$  e  $2$ . Com esse feito agora se tinha três números quânticos o  $n$ , o  $l$  e o  $m$ . “*Eu não acredito que alguma vez tenha lido algo com mais alegria do que o seu belo trabalho*” (Kumar, 2010, p.116 tradução nossa). Foi o que escreveu Bohr a Sommerfeld em março de 1916.

Em 1906, Sommerfeld foi convidado pela Universidade de Munique para preencher a função de professor de física teórica. Lá criou um laboratório não tão grande, quando comparado ao de Bohr, em Copenhague, apresentando cerca de quatro salas, como escreve Kumar, (2010). Mas a simplicidade do local não era refletido na sua grandiosidade. O local se tornou um grande berçário para novos cientistas. Leite (1992) comenta que o centro atraiu brilhantes cientistas, como Peter Debye, que foi seu assistente e com ele intensificou seu interesse pela quântica, tanto que desenvolveu em seus estudos a *constante de estrutura fina*, que é um número puro que desempenha um papel importante na física. Nos mais de quarenta anos, ele teve uma serie de alunos geniais, que podem ser comparados aos físicos experimentais de Rutherford, um deles foi o jovem Wolfgang Pauli que nas palavras de Kumar, (2010):

A gente se pergunta o que mais nos admira: a compreensão psicológica para o desenvolvimento de ideias, a certeza da dedução matemática, a profunda percepção física, a capacidade de apresentação lúcida e sistemática, o conhecimento da literatura, o tratamento completo do objeto de pesquisa, ou a certeza de uma avaliação crítica. Einstein ficou certamente impressionado com o "trabalho maduro e grandiosamente concebido" que ele acabara de revisar. Para ele era difícil de acreditar que o artigo de 237 páginas, com 394 notas de rodapé, sobre a relatividade foi um trabalho de um físico de 21 anos que era um estudante de apenas dezenove anos, quando solicitado a escrevê-lo. Wolfgang Pauli, mais tarde apelidado de "A Ira de Deus", era amargo e considerado um gênio comparável apenas com Einstein. "Na verdade, do ponto de vista da pura ciência", disse Max Born, seu antigo chefe, "ele era possivelmente ainda melhor do que Einstein". (Kumar, 2010, tradução nossa).

## 2.2 WOLFGANG PAULI

Pauli nasceu em 25 de Abril de 1900, na cidade de Viena, uma localidade que sofria com as consequências e os efeitos do final do século. Seu pai, também chamado Wolfgang, era médico e mais na frente abandonou a medicina para se tornar cientista, abandonando também seu sobrenome de família que de Pascheles passou a se chamar Pauli. Seu filho cresceu sem saber da sua ancestralidade judia, que só fora descobrir durante a Universidade. A sua mãe Bertha, era uma conhecida

jornalista de Viena e sua casa era frequentada por médicos, cientistas e artistas da época, o que fez com que Wolfigang e sua irmã Herta, seis anos mais nova convivessem com esse ciclo de amizades e fossem bastante influenciados. Bertha era uma pacifista social e exerceu forte influência sobre Pauli e no desenrolar da Primeira Guerra Mundial, durante sua adolescência, passou a ser contra todo estabelecimento que a guerra remetesse. (Kumar, 2010 , p.154).

Nas palavras de Kumar (2010), Pauli era aluno talentoso, mas longe de ser um modelo a ser seguido, uma vez que achava a escola pouco desafiadora. Teve aulas particulares de física para compensar e quando compreendeu o assunto fazendo-o ficar entediado das aulas tediosas da escola, começou a ler artigos de Einstein, que foi um grande influenciador na sua carreira, claro além de seu padrinho Ernst Mach, físico e filósofo. Em 1918 com a decadência do império austríaco e a falta de físicos na universidade da cidade, Pauli decidiu ir para Munique estudar com o físico Arnold Sommerfeld. Sommerfeld era um professor excepcional e já tinha orientado muitos jovens talentosos, por isso não era de se impressionar facilmente, mas logo reconheceu Pauli como uma promessa excepcional, ainda mais quando em Janeiro de 1919, seu artigo sobre a relatividade geral foi publicado. Artigo esse escrito em Viena, quando ainda estudava na escola. Sommerfeld agora tinha um aluno do primeiro ano, com dezenove anos e especialista em relatividade.

Robusto, de olhos esbugalhados, como observado na figura 1, Pauli era considerado “o Buda da física”, pela sua perspicácia. Tornou-se conhecido e temido pelos seus amigos por suas críticas contundentes às novas ideias e especulações. Sempre estava perdido em seu inconsciente, era amplamente reconhecido por ser bastante intuitivo e ter grande domínio da física, incomparável aos estudantes da época, chagando até, de acordo com Kumar (2010), não ser superado nem pelo Einstein. Pauli era muito auto crítico, chagando a criticar duramente seu próprio trabalho. Isso aliado ao fato de ser muito apegado ao conhecimento físico, o impediu de certa forma de por em prática seus pensamentos criativos, tanto, que como afirma Kumar (2010), descobertas que ele mesmo poderia fazer apenas por sua intuição, foi realizada por colegas menos talentosos. Apesar de ser auto confiante, desinibido, chegando a ser considerado arrogantes, pelos colegas, nutria um grande respeito e tímides pelo seu professor, Sommerfeld. Chegando a ser espantoso para os que lhe chamavam de “Ira de Deus”, por seus severos julgamentos, quando

mesmo não sendo mais aluno comprimentava seu ex professor com um “como vai professor”. Distoando fortemente do homem que outrora disse para um colega “*Não me importo se você pensar devagar, mas me oponho quando você publica mais rápido do que pensa.*” (Kumar, 2010, p.156 , tradução nossa), ou quando em um auditório lotado numa palestra de Einstein ele exclamou “*Sabe, o que o Sr. Einstein disse não é tão estúpido*” (Kumar, 2010, p.156 , tradução nossa).

**Figura 1** - Wolfgang Pauli quando jovem estudante



Fonte: site do CERN, disponível em <<http://cds.cern.ch/record/42870/?ln=pt>>. Acessado em: 11 de Nov. 2021.

Sommerfeld tinha grande apreço e confiança em seu aluno Pauli. Certa vez Sommerfeld tinha aceitado a tarefa de escrever um importante artigo sobre relatividade para a *Encyklopädie der Mathematischen Wissenschaften*, depois de ser recusado por Einstein. O fato é que ele tinha pouco tempo para fazê-lo e passou para Pauli esse trabalho. O resultado, de acordo com Kumar (2010), não foi menos do que o esperado, não era apenas uma brilhante exposição sobre o assunto, mas também uma revisão incomparável da literatura existente. Esse trabalho permaneceu por décadas como definitivo e recebeu sinceros elogios de Einstein.

Em seu doutorado Pauli recebeu a missão de seu professor para aplicar as regras quânticas de Bohr associado às modificações feitas por Sommerfeld na molécula de hidrogênio ionizado. Kumar (2010) comenta que como esperado Pauli

produziu um livro de análise teórica impecável, porém seus resultados teóricos não eram comprovados experimentalmente, apontando assim uma limitação no modelo atômico Bohr-Sommerfeld, tanto para átomos de hidrogênio ionizado, quanto para átomos mais complexos. Em 1921, Pauli partiu para Göttingen, indo assumir o cargo de assistente do professor de física teórica Max Born, professor esse que o cobiçava muito, visto que queria construir um laboratório para rivalizar com o de Sommerfeld e descreveu o Pauli como sendo uma das maiores promessas da física nos últimos anos. Nas palavras de Born, em carta endereçada à Einstein: “*W. Pauli agora é meu assistente; ele é incrivelmente inteligente e muito capaz*”. (Kumar, 2010, tradução nossa). Logo Born descobriu que seu novo assistente tinha sua própria maneira de trabalhar. Pois por gostar da vida boêmica Pauli habituou-se a trabalhar até tarde da noite e não costumava acordar cedo. Nas vezes que Born não conseguia dar suas palestras das onze horas, a única maneira de garantir que Pauli poderia estar lá era solicitando que sua empregada o acordasse às 10:30. Como Kumar (2010) afirma Pauli nunca foi necessariamente um assistente e Born admitiu que aprendeu mais com “assistente” do que fora capaz de ensinar ao “grande prodígio”, ficando claro assim a grande estima que tinha por Pauli. O que pode ser percebido na figura 2 em um momento de descontração entre os físicos.

**Figura 2 - Max Born e Wolfgang Pauli**



Fonte: site do CERN, disponível em <<http://cds.cern.ch/record/42870/?ln=pt>>. Acessado em: 11 de Nov. 2021.

Em 1922 a convite de Bohr, Wolfgang foi para Copenhague ser seu assistente e lá estudou o efeito Zeeman anômalo. Pauli se debruçou nos estudos

para entender esse efeito, que de fato tinha sido parcialmente explicado por Sommerfeld, porém surgiram outras implicações. Conforme escreve Kumar (2010), a partir de experimentos descobriu-se que a linha alfa vermelha do espectro do hidrogênio era menor que o esperado e que linhas espectrais na verdade se dividiam em um quarteto ou mais, em vez de apenas duas ou três linhas. Esse problema deixou Pauli deveras abalado tanto que em carta à Sommerfeld ele desabafou: “*Até agora eu errei completamente*” (Kumar, 2010, tradução nossa). Em Setembro de 1923 Pauli volta para Hamburgo, onde no ano seguinte é promovido a *privatdozent*. Em uma curta viagem de trem a Copenhagem Pauli acaba concluindo que o modelo de Bohr apenas poderia funcionar se houvesse uma restrição na ocupação dos elétrons, caso contrário nada impediria que todos os elétrons em qualquer átomo ocupassem o mesmo estado estacionário, o mesmo nível de energia. Até que no final do ano de 1924 Pauli inspirado no trabalho de pós-graduação de um atual aluno de Rutherford, descobriu a esse regra de organização, “o Princípio de Exclusão”, fornecendo assim uma explicação para a distribuição dos elétrons no modelo de camada de Bohr, trabalho esse que lhe rendeu o Nobel de física em 1945.

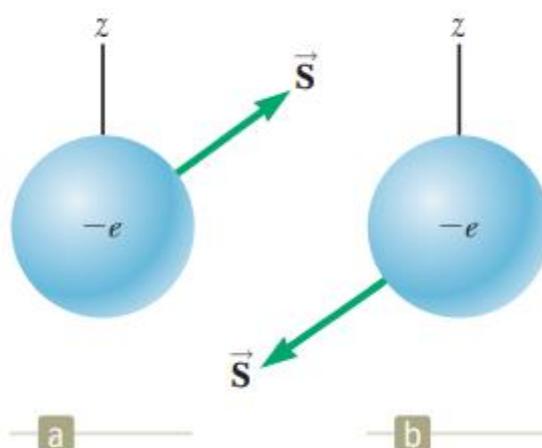
### 2.3 O PRINCÍPIO DE EXCLUSÃO

Em meados de 1995, Wolfgang Pauli (1900 - 1958) que realizava estudos sobre o efeito Zeeman anômalo e dos números quânticos conforme a classificação de Stoner formulou um dos mais importantes princípios da física quântica, hoje chamado de o Princípio de Exclusão ou de forma mais apropriada, de acordo com Segrè (1987), Princípio de Pauli (PP). O físico notou a partir de estudos realizados nos espectros do átomo de Hélio e de outros elementos, que só seriam possíveis se existisse um quarto número quântico e que dois elétrons não poderiam ter os quatro números quânticos iguais. De uma maneira mais geral esse princípio pode ser enunciado como: “*Não podem existir dois elétrons no mesmo estado quântico e, portanto, dois elétrons no mesmo átomo não podem ter o mesmo conjunto de números quânticos.*” (Jewett & Serway, 2013).

Com a confirmação da proposta do spin feita por Uhlenbeck e Goudsmith, o quarto número quântico foi associado ao spin. Dessa forma, dois elétrons com spin emparelhados, representados por  $\uparrow\downarrow$ , apresentam um momento angular igual zero,

pois um spin anula o outro. Logo se um elétron indicar um momento angular  $-1/2$  o outro necessariamente terá um momento angular  $+1/2$ , fazendo assim a resultante ser sempre nula dentro do orbital, como mostrado na figura 3.

**Figura 3 - Spins dos elétrons**



Fonte: Jewett & Serway (2013, p. 247).

O Princípio de Pauli foi aceito sem muitos entraves pelos físicos que trabalhavam com espectroscopia e teoria atômica. Bezerra (2003), explica que apesar da sua utilização Pauli foi incapaz de proporcionar uma justificativa mais precisa para o princípio, que sugeriu a resolução desse problema com um aprofundamento dos princípios fundamentais da teoria quântica, porém nas palavras de Mehra & Rechenberg (1982b, p. 683, apud Bezerra, 2003) mesmo após ter ocorrido o aprofundamento dos princípios fundamentais da teoria quântica, nenhuma justificativa melhor do princípio de exclusão ficou disponível. Na verdade, o caminho que Pauli percorreu para chegar ao quarto número quântico ainda não é bem claro conforme explica Kaplan (2013) em seu artigo afirmando não haver um critério para verificação do PP.

Em meados de 1925 R. L. Kronig foi um dos primeiros a sugerir que o quarto número quântico poderia ser interpretado como o momento angular intrínseco ao elétron, podendo assumir dois estados, sendo um paralelo ao um paralelo ao campo interno do átomo (gerado pelo núcleo), e outro antiparalelo (Bezerra, 2003).

Essa ideia foi recebida com ceticismo por parte de Pauli que acreditava, conforme Bezerra (2003), que a resposta para o problema no modelo mecânico mais detalhado do átomo, mas sim no abandono dele para dar lugar a um afetivamente quântico.

Já no final de 1925 os cientistas Uhlenbeck e S. Goudsmit associaram o  $m_s$  com a rotação característica do elétron, segundo colocado por Bezerra (2003), eles perceberam que se existem quatro números quânticos, deve haver respectivamente seus graus de liberdade, então também deve haver alguma espécie de movimento interno. Os pesquisadores estavam cientes dificuldades associadas como: obter a razão giromagnética do elétron, o fator-g correspondente ao elétron e a velocidade periférica superlumínica. Porém com esse novo conceito conseguiu-se explicar:

(a) por que o quarto número quântico de Pauli era sempre  $+\frac{1}{2}$  ou  $-\frac{1}{2}$ ; (b) todos os desdobramentos de Zeeman; (c) os dubletos nos espectros de raios-X; (d) a estrutura fina das linhas de Balmer do hidrogênio; (e) todos os acoplamentos entre os "vetores quânticos" do modelo vetorial do átomo. Em particular, Einstein notou que o acoplamento spin-órbita era uma consequência da teoria da relatividade. (Mehra & Rechenberg, 1982b, p. 703, apud Bezerra, 2003).

Ainda para Pauli o quarto número quântico não poderia ser entendido como um grau de liberdade rotacional e continuava a procura pela resposta através de uma descrição puramente quântica, o que só ocorreu conforme explica Bezerra (2003), com a introdução da equação de Dirac, em 1928. A partir daí o conceito de spin foi introduzido de maneira mais natural na mecânica quântica e sua origem pode ser explicada de maneira mais convincente.

Pauli, em 1940, esclareceu a relação entre spin e estatística, atribuindo ao seu princípio uma perspectiva mais ampla, De acordo com Atkins & Paula (2012), o princípio pode-se aplicar a todo par idêntico de Férmions, partículas com spin fracionário ( $1/2, 3/2, 5/2...$ ), logo se estende para os nêutrons e prótons, não sendo válido para bósons, partículas que apresentam spin inteiro, como fótons por exemplo.

O PP é peça fundamental na explicação da estrutura dos átomos. Conforme Nussenzveig (1998) se não fosse esse princípio nada impediria que vários átomos, por exemplo, de H, em vez de formar moléculas, juntassem todos os prótons de seus núcleos em uma única nuvem com muitos elétrons em torno dele, formando uma configuração mais estável devido ao aumento da atração Coulombiana.

Porém, a ligação entre dois hidrogênios ocorre e a molécula  $H_2$  é gerada, o que segundo Nussenzveig (1998) é a base para a ligação covalente. Como

Nussenzveig explica, o Princípio é a chave para a explicação do ferromagnetismo, o alinhamento dos spins e momentos magnéticos em materiais como ferro, que no caso é a origem dos ímãs permanentes.

Ainda o fenômeno do paramagnetismo, o comportamento dos elétrons em metais e eventos ocorridos em baixas temperaturas pode ser entendido e explicados a parti do Princípio formulado por Pauli, o que demonstra que suas aplicações vão além de suas aplicações atômicas.

## 2.4 O PRINCÍPIO DE EXCLUSÃO E A DISTRIBUIÇÃO ELETRÔNICA DOS ELEMENTOS

Apesar do princípio de Pauli apresentar diversas aplicações, fugindo até das atomísticas, a primeira, e conforme Lopes (1992), a mais importante delas, se dá na explicação da periodicidade das propriedades químicas e espectroscópicas dos elementos, o que por consequência tem importante papel na organização da tabela periódica.

Podemos entender a estruturas de átomos complexo como um seguimento de níveis preenchidos de energia crescente. Conforme Jewett & Serway (2013) explica, quando ocupada uma subcamada, o próximo elétron passa para a mais baixa subcamada de energia vazia. Esse comportamento pode ser explicado, pois se não estivesse no nível mais baixo o átomo irradiaria energia para alcançar a configuração mais estável. Ainda de acordo com Lopes (1994), a ordem de ocupação dos elétrons nas subcamadas depende da energia de ligações de um elétron a cada estado, sendo ela a mínima possível dentro do átomo.

É importante frizar que o orbital é um estado atômico descrito pelos número quânticos  $n$ ,  $\ell$  e  $m_\ell$  e que ainda de acordo com o princípio de Pauli, só podem existir apenas dois elétrons em cada um deles. Assim o número de elétrons que podem ocupar uma subcamada também é limitado.

A camada  $n = 1$ , definida por  $n = 1$ ,  $\ell = 0$ ,  $m_\ell = 0$ , comporta dois elétrons, isso porque o  $m_\ell$  dessa camada é zero o que significa que apenas um orbital é permitido. Já camada  $n = 2$  apresenta duas subcamadas  $\ell = 0$  e  $\ell = 1$ , a primeira assim como no exemplo anterior, comporta apenas dois elétrons, enquanto a segunda pode comportar até seis elétrons, uma vez que seus  $m_\ell$  correspondentes são -1,0 e 1, como mostrado na tabela 1.

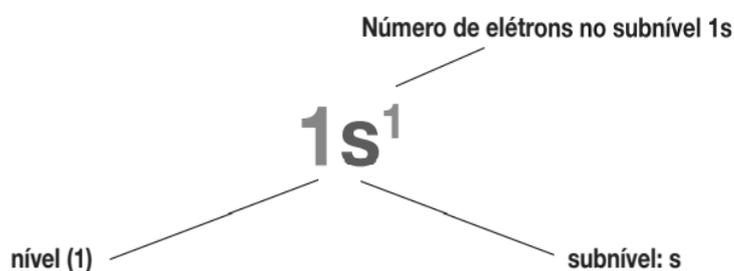
**Tabela 1** - Números quânticos para o estado  $n = 2$ 

$n$	$\ell$	$m_\ell$	$m_s$	Subcamada	Camada	Número de estados na subcamada
2	0	0	$\frac{1}{2}$	2s	L	2
2	0	0	$-\frac{1}{2}$			
2	1	1	$\frac{1}{2}$	2p	L	6
2	1	1	$-\frac{1}{2}$			
2	1	0	$\frac{1}{2}$			
2	1	0	$-\frac{1}{2}$			
2	1	-1	$\frac{1}{2}$			
2	1	-1	$-\frac{1}{2}$			

A tabela apresenta os números quânticos para o estado  $n = 2$ , podendo conter até oito elétrons.

Fonte: Jewett & Serway (2013, p. 249).

Jewett & Serway (2013), explica que o Princípio de Pauli pode ilustrado quando analisamos combinações eletrônicas de átomos mais leves. Por exemplo, o átomo de hidrogênio no seu estado fundamental apresenta os seguintes números quânticos:  $n = 1$ ,  $\ell = 0$ ,  $m_\ell = 0$  e  $m_s$  podendo variar entre  $+1/2$  e  $-1/2$ . Essa configuração eletrônica pode ser expressa como  $1s^1$ , explicado na figura 2.

**Figura 4** - Simbologia para indicar a configuração eletrônica

Fonte: Santos & Mól (2013, p. 177).

O hélio, no seu estado fundamental, apresenta configuração eletrônica  $1s^2$ , o que implica dizer que sua camada K está preenchida, o que de acordo com

Atkins & Jones (2006), a camada esta com o numero de elétrons máximo permitido pelo PP. Para o lítio ( $Z = 3$ ) sua configuração no estado fundamental é  $1s^22p^1$ , isso que dizer que o seu terceiro elétron não pode ocupar a camada K, já preenchida pelos outros dois elétrons, logo os números quânticos associados ao terceiro elétron podem ser descritos de acordo com a tabela 1 para a subcamada  $2p$ .

Um caso curioso da distribuição eletrônica é a do carbono,  $Z = 6$ , que de acordo com Jewett & Serway (2013), apresenta configuração mais estável com diferentes orbitais com spins desemparelhados. Isso quer dizer que os dois elétrons  $2p$  desse átomo tem spins não pareados ( $\uparrow \uparrow$ ). Uma explicação para esse acontecimento se dá pela conformação de menor energia, conforme Atkins & Jones (2006), explicam, *“Por razões baseadas na mecânica quântica, consequencia da repulsão entre dois elétrons com spins paralelos que tendem a se repelir, esse arranjo tem energia ligeiramente menor do que a dos arranjos com elétrons emparelhados”* (Atkins & Jones, 2006, p. 142). Porém essa situação só é possível quando os elétrons ocupam orbitais diferentes.

Esse procedimento é chamado por Atkins & Jones (2006), de *Princípio da construção*, no qual o autor utiliza para prever a configuração eletrônica de um átomo no seu estado fundamental. Para isso ele faz uso de duas regras:

- 1 Inserir os elétrons sequenciado nos orbitais, seguindo a ordem das subcamadas, sem ultrapassar dois elétrons por orbital.

- 2 Caso mais de um orbital esteja disponível na subcamada, deve-se colocar os elétrons paralelos nos diferentes orbitais da subcamada até completa-los e após isso emparelhar o restante dos elétrons.

A primeira considera do Princípio de Pauli para a distribuição, já segunda regra pode ser definida pela *regra de Hund*, que afirma: *“quando um átomo tem orbitais de mesma energia, a ordem na qual são ocupados por elétrons é tal que um número máximo de elétrons tem spins não pareados.”* (Jewett & Serway, 2013, p.250). Esse caso não só ocorre com o carbono como também outros átomos como exposto na figura 3. O *Princípio da construção* definida por Atkins & Jones (2006), é a chave para a distribuição dos elementos periodicos no seu estado fundamental.

**Figura 5** - A ocupação dos estados eletrônicos deve observar o Princípio de Exclusão e a regra de Hund.

Átomo	1s	2s	2p			Configuração eletrônica
Li						$1s^2 2s^1$
Be						$1s^2 2s^2$
B						$1s^2 2s^2 2p^1$
C						$1s^2 2s^2 2p^2$
N						$1s^2 2s^2 2p^3$
O						$1s^2 2s^2 2p^4$
F						$1s^2 2s^2 2p^5$
Ne						$1s^2 2s^2 2p^6$

Fonte: Jewett & Serway (2013, p. 251).

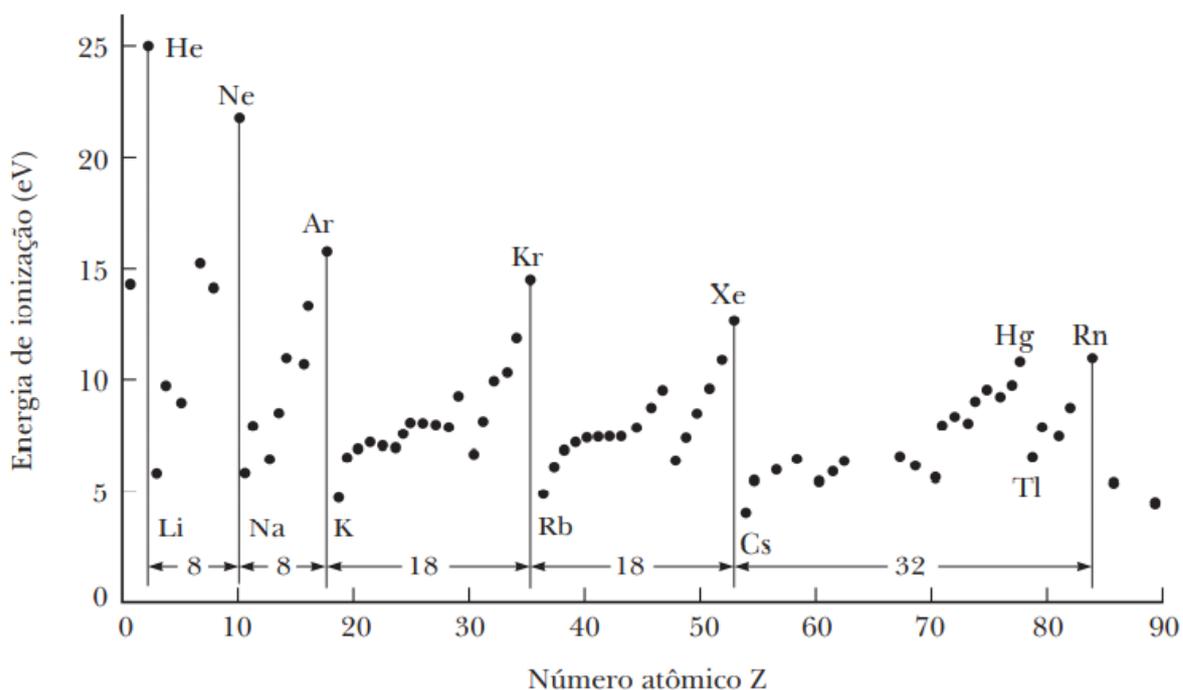
Lopes (1992), comenta que do mesmo modo que o lítio, outros átomos têm a camada K completa, assim seus elétrons ocupam sucesivamente a camada L. O berílio, boro, carbono, nitrogênio, oxigênio, fluor e neônio têm um elétron a mais na camada L do que o elemento que o antecede. Ele ainda explica que para o néon, que possui sua camada L cheia, suas propriedades químicas e espectroscópicas são semelhantes às do hélio.

Nesse mesmo sentido Jewett & Serway (2013), fala das similaridades das propriedades químicas encontradas nos elementos na mesma coluna na tabela periódica. Os gases nobres He, Ne, Ar, Kr, Xe e Rn, que detêm, respectivamente, as seguintes configurações eletrônicas na subcamada externa:  $1s^2$ ,  $2p^6$ ,  $3p^6$ ,  $4p^6$ ,  $5p^6$  e  $6p^6$ , apresentam as suas últimas camadas preenchidas seguindo o Princípio de Pauli, assumindo assim altas energias de ionização quando comparada a outros elementos.

Já os halogênios, com configurações eletrônicas  $2p^5$ ,  $3p^5$ ,  $4p^5$ ,  $5p^5$  e  $6p^5$ , são quimicamente muito ativos, tendo em vista que sua subcamada mais externa necessita apenas de um elétron para formar uma camada fechada. Assim tende a forma ligações iônicas com os metais alcalinos, grupo que apresenta configuração  $2s^1$ ,  $3s^1$ ,  $4s^1$ ,  $5s^1$ ,  $6s^1$  e  $7s^1$ , elementos com boa condutividade e muita facilidade de formar cátions, pois a energia para a remoção dos elétrons da sua subcamada mais externa, energia de ionização, é relativamente baixa.

Como Lopes (1992) acena, pode ser notado a periodicidade da energia de ionização, que pode ser verificado na figura 4. Ocorre um padrão de na variação do número atômico 2, 8, 8, 18, 18, 32, para diversos picos que conforme Jewett & Serway (2013) explica o princípio de Pauli define essa periodicidade e ajuda a compreender o por quê os elementos reproduzem suas propriedades nos grupos da tabela periódica.

**Figura 6** - Energia de Ionização dos Elementos em Função do Número Atômico



Fonte: Jewett & Serway (2013, p. 252).

Ainda nas palavras de Nussenzveig (1998, p. 395) “Vemos assim que o princípio de exclusão desempenha um papel fundamental na explicação das propriedades químicas dos elementos, e o mesmo vale para a explicação de tabela periódica”.

*dica de Mendeleev.*” O que vai de acordo com o que Bezerra (2003), defende quando afirma que:

A distribuição eletrônica obtida da maneira moderna, empregando-se os quatro números quânticos e o princípio de exclusão, igualmente apresenta uma periodicidade. Ora, é precisamente essa periodicidade estrutural que explica a periodicidade das propriedades químicas dos elementos (por exemplo: raio atômico, potencial de ionização, afinidade eletrônica, raio iônico etc.), e, portanto justifica a estrutura da tabela periódica, que visava capturar justamente essa periodicidade nas propriedades químicas (Bezerra, 2003).

A apresentação desses argumentos demonstram igual importância dos trabalhos científicos para a construção da tabela periódica, fato que é pouco mostrado ou nem abordado nos livros didáticos de ensino médio, concebendo o a construção da distribuição eletrônica, conseqüentemente, da tabela periódica como fruto da genialidade de alguns cientistas, não levando em consideração o caminho que foi percorrido para chegar ao resultado final nem ideias chaves para a interpretação dos acontecimentos.

## 2.5 OS LIVROS DIDÁTICOS E A TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA

Nos últimos tempos é crescente a quantidade de estudos a respeito de livros didáticos (LD), isso se dá devido a sua relevância para o processo de ensino e aprendizagem. Choppin (2004) comenta que *“as pesquisas históricas referentes aos livros didáticos e, posteriormente, às edições escolares, tiveram desde os anos 1960 e, sobretudo, nos últimos vinte anos, um considerável impulso.”* Segundo Lajolo e Zilberman (1999, p. 121), conforme citado por Maia, et al. (2011), o LD:

[...] pode não ser tão sedutor quanto às publicações destinadas à infância (livros de histórias em quadrinhos), mas sua influência é inevitável, sendo encontrado em todas as etapas da escolarização de um indivíduo: é cartilha quando alfabetização; seleta, quando da aprendizagem da tradição literária; manual quando do conhecimento das ciências ou da profissionalização adulta, na universidade. (Lajolo e Zilberman, 1999 p. 121, apud Maia, et al. 2011).

Reforçando essa ideia Carneiro et. al. (2005, apud Freitas & Quadros, 2021) sustentam que a utilização do LD como objeto central na didática, dar a ele diferentes funções, como por exemplo, fonte de organização, desenvolvimento, avaliação do trabalho pedagógico do professor e ainda importante recurso de interação entre o aluno e a disciplina. Ainda de acordo com Freitag e cols. (1989, Maia, et al.,

2011) a escolha para o LD é uma tarefa muito importante no sentido de que além de auxiliar nos conteúdos programáticos, por vezes ele é o principal quicá o único material didático utilizado pelos educadores. Reforçando ainda a sua importância no contexto político, social, histórico e na transmissão da ciência.

Quando voltamos à atenção para o ensino de ciências, Freitas & Quadros (2021), afirmam que diversos estudos mostram que grande parte dos livros didáticos se apoiam nos aspectos pragmáticos dos assuntos a ser repassados para os estudantes, o que revela uma descontextualização do saber apresentados nos LD, fazendo com que os alunos separem a vida cotidiana do saber científico e do saber a ser aprendido. Frison et. al. (2009) ressalta que a maioria dos LD passam uma ideia de ciência descontextualizada da sociedade, idealizando o método científico como uma união de preceitos não moldáveis para encontrar a verdade. O que dialoga diretamente como a fala salientada por Carvalho & Gomes (2017), quando dizem que os LD por vezes corroboram as concepções alternativas dos estudantes ao introduzirem concepções equivocadas, acontecimentos deturpados e uma ciência que não leva em consideração as análises históricas nem se atentando para os conhecimentos prévios dos alunos, concebendo assim a ciência como “verdade científica”. Essas concepções postas nos livros caracterizam:

[...] erroneamente o conhecimento científico como um produto acabado, elaborado por mentes privilegiadas, desprovidas de interesses político-econômicos e ideológicos, ou seja, que apresenta o conhecimento sempre como verdade absoluta, desvinculado do contexto histórico e sociocultural. Aliás, usualmente os livros escolares utilizam quase exclusivamente o presente atemporal (presente do indicativo) para veicular os conteúdos. Desse modo, apresenta-os como verdades que, uma vez estabelecidas, serão sempre verdades [...]. (MEGID NETO; FRACALANZA, 2003, p.151, apud Carvalho; Gomes, 2017).

Além desses trabalhos, diversos autores pontam esse recorrente problemática nos LD, apesar de estarem presentes em programas e documentos oficiais as recomendações para um ensino/educação mais plural e dialogante com a sociedade. Um exemplo disso são as Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias (PCN+) (2002) que em seu texto propõe diversos níveis de contextualização, como quando afirma que ensino de química para o ensino médio: “[...] deve possibilitar ao aluno a compreensão tanto dos processos químicos em si, quanto da construção de um conhecimento científico em estreita relação com as aplicações tecnológicas”.

*cas e suas implicações ambientais, sociais, políticas e econômicas*” (Brasil, 2002). Ou quando salienta que a química deve está estruturada em três pilares: *“transformações químicas, materiais e suas propriedades e modelos explicativos*” (Brasil, 2002), e que se o ensino da disciplina está concordante com esse tripé o aluno poderá ter uma boa estrutura para o conhecimento químico, ainda mais se estiver fundada em:

Contextualização, que dê significado aos conteúdos e que facilite o estabelecimento de ligações com outros campos de conhecimento;  
Respeito ao desenvolvimento cognitivo e afetivo, que garanta ao estudante tratamento atento a sua formação e seus interesses;  
Desenvolvimento de competências e habilidades em consonância com os temas e conteúdos do ensino. (Brasil, 2002).

Outro importante programa do governo federal que reforça a utilização dos LD é o Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) responsável pela distribuição de livros didáticos e de recomendações para o uso. Teve início na década de 30, com outra denominação, e ao longo de 80 anos foi aperfeiçoado, tem como foco o ensino fundamental e busca a destruição gratuita dos livros com a participação dos professores para a seleção desses. De acordo com Fundo Nacional para o Desenvolvimento da Educação (FNDE, 2017) o programa teve início a partir do decreto-lei nº 93, de 21 de dezembro de 1937, com o nome de Instituto Nacional do Livro (INL), e a partir de 1945 os livros didáticos é consolidada a produção, importação e utilização dos LD, escolhidos pelos professores. Em 1966 um acordo entre o Ministério da Educação (MEC) e a Agência Norte-Americana para o Desenvolvimento Internacional (USAID) garantiu a distribuição gratuita de 51 milhões de livros. Em 1971 o INL passa a administrar e executar o Programa do Livro Didático para o Ensino Fundamental (PLIDEF), depois o encerramento do acordo com a USAID. Apenas em 1985 com o decreto nº 91.542, de 19/8/85, o PLIDEF passa a ser o PNLD, trazendo mudanças como:

Indicação do livro didático pelos professores;  
Reutilização do livro, implicando a abolição do livro descartável e o aperfeiçoamento das especificações técnicas para sua produção, visando maior durabilidade e possibilitando a implantação de bancos de livros didáticos;  
Extensão da oferta aos alunos de 1ª e 2ª série das escolas públicas e comunitárias;  
Fim da participação financeira dos estados, passando o controle do processo decisório para a FAE e garantindo o critério de escolha do livro pelos professores. (FNDE, 2017).

Retomando aos trabalhos a respeito da temática dos LD, diferentes tipos de estudos se debruçaram para entender os aspectos contidos nos conteúdos abordados e no desenvolvimento de LD. Vale destacar trabalhos como o de Choppin (2004), que realiza um estado da arte e apontam exemplos das principais problemáticas e temas abordados nas pesquisas históricas de livros, e de Beltrán Núñez, et. al. (2003), que se debruça numa discussão e análise para seleção de livros didáticos no ensino de ciências. Enfatizando na disciplina química, trabalhos como o de Freitas & Quadros (2021), Tochetto (2019) e o de Leite & Porto (2015), se preocupam em investigar, analisar e comparar a construção de conteúdos dentro dos livros didáticos de química e como essas abordagens impactam no ensino e aprendizagem dos alunos.

Ante ao exposto, a importância da construção dos LD é fundamental para o emprego dele em sala de aula. A principal técnica utilizada para a pré-construção dos LD é a transposição didática que se trata de metodologia responsável por pela modificação do saber científico em saber a ser ensinado nas escolas, buscando sempre deixar o conhecimento menos fragmentado possível. Chevallard (2013) define a transposição didática como: “[...] *transição do conhecimento considerado como uma ferramenta a ser posto em prática, para o conhecimento como algo a ser ensinado e aprendido [...]*”. (Chevallard, 2013, p.9) caracteriza a existência de tipos de saberes; o saber sábio, o saber a ensinar e o saber a ser ensinado. As três esferas do saber podem ser entendidas como:

[...] o ‘savoir savant’ (saber do sábio), que no caso é o saber elaborado pelos cientistas; o ‘savoir a enseigner’ (saber a ensinar), que no caso é a parte específica aos professores e que está diretamente relacionada à didática e à prática de condução de sala de aula; e por último o ‘savoir enseigné’ (saber ensinado), aquele que foi absorvido pelo aluno mediante as adaptações e as transposições feitas pelos cientistas e pelos professores. (ALMEIDA, 2011, p.10, apud Carvalho & Gomes, 2017).

Em síntese, a transposição didática procura entender as transformações ocorridas do saber sábio até se tornar o saber ensinado. E essa é a uma das questões centrais da transposição didática, de acordo com Silva, et. al. (2019), quando busca a compreensão de certas demandas que vão além das escolas e perpassam a sociedade, buscando verificar as influências do saber científico em outras fontes. Assim como o próprio Chevallard (2013), afirma que o ensino deve “*contrato com a sociedade*” e não na “*violação deste contrato*”.

Para Chevallard (1991, apud Errobidart & Gobara, 2011) o processo de transposição didática do saber sábio para o saber a ensinar é chamado de transposição didática Externa (TDE), ou “*strictu sensu*” (Silva, et al., 2019) o que se configura como primeira etapa do processo de transposição. Essa etapa ocorre fora da escola e pode compreendida como responsabilidade da “*noosfera*”, que conforme Silva, et. al. (2019), explica, seria uma grande organização invisível composta por professores, pesquisadores, membros do governo e pessoas responsáveis que definiram o que deve ser ensinado nas escolas, sendo essa instituição também responsável pelos textos e parâmetros norteadores dos conhecimentos que à serem levados as instituições de ensino. Como segunda etapa do processo temos transposição didática interna (TDI), também chamado de “*lato sensu*” (Silva, et al., 2019), que é responsável pela transposição do saber a ensinar em saber ensinado. A figura 5 apresenta um esquema do processo.

**Figura 5** – Processo resumido de Transposição Didática



Fonte: Silva, et. al. (2019, p. 201).

Ao longo desse processo ocorrem diversas modificações no esqueleto do saber, como por exemplo, resumos de conteúdos, simplificações, acréscimos, criação de modelos, alterações. Esses processos são importantes para a introdução dos conteúdos em sala de aula, por outro lado podem gerar problemas no ensino e aprendizagem uma vez que não havendo cautela distorce o saber original, podendo ser agravado quando o professor evita o questionamento do conhecimento (Chevallard, 2013, p. 13). Conforme Chevallard (1991, apud Errobidart; Gobara, 2011) para a preparação ou explicação de um saber, a noofesta realiza a fragmentação do conhecimento, selecionado e definindo os saberes que serão utilizados na construção dos documentos didáticos, processo chamado de *desincretização*. Posteriormente o

conhecimento científico é desassociado do problema de pesquisa que o gerou e desvinculado de qualquer motivação ou contexto pessoal, para que assim possa ser generalizado e possibilite a sua inserção e recontextualização no âmbito escolar. Esses processos são nomeados *descontextualização* e *despersonalização*, respectivamente e estão inseridos na *textualização* do saber, método pelo qual os saberes a ser ensinados passam previamente a fim de obterem uma estrutura didática.

No processo de *recontextualização* do saber outros dois elementos são levados em consideração pela noosfera, a *programabilidade* e *publicidade*. Errobidart & Gobara (2011), explicam que a *programabilidade* é a construção de uma estrutura lógica didática sequencialmente progressiva que busca auxiliar o processo de ensino. A publicidade se propõe em apresentar os propósitos finais da transposição, o saber a ser ensinado propriamente dito.

Frente a isso a diversos conteúdos passam a não fazer parte ou não são dados os devidos cuidados dentro da matriz educacional das escolas, seja pela sua dificuldade de aplicação do conteúdo ou pela sua linguagem não habitual para os estudantes do ensino médio é o caso da mecânica quântica, assunto deveras negligenciado devido a sua complexidade na linguagem. Segundo Castro, (2015):

É preciso desmistificar o ensino de Mecânica Quântica, pois o ensino desta área da ciência é uma necessidade que permite alavancar o conhecimento dos alunos de forma que estes possam acompanhar os avanços tecnológicos atuais que são frutos do sucesso desta teoria. (Castro, 2015).

## 2.6 A CLASSIFICAÇÃO PERIÓDICA NO ENSINO MÉDIO

A química quando comparada a outras ciências é considerada jovem, levando em consideração que sua estrutura e organização escolar só foram introduzidas no final do século 19. Conforme Leite & Lima (2015) explicam no Brasil a disciplina começou a ser ministrada a partir de 1931 com a reforma educacional do primeiro governo de Getúlio Vargas. Porém só foi plenamente difundida depois da reestruturação do ensino básico brasileiro, instituída pela Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDBEN) de 1996.

Ao longo dos anos o papel e o ensino da química vêm se modificando devido às novas concepções do saber e isso pode ser constatado pelos documentos

oficiais que sempre buscam transpor as antigas formas de abordagem. Segundo Brasil (2006): “*Há, assim, necessidade de superar o atual ensino praticado, proporcionando o acesso a conhecimentos químicos que permitam a “construção de uma visão de mundo mais articulada e menos fragmentada [...]”*”. (Brasil, MEC, 2006, p. 107). Ainda reafirmam que os ensinamentos químicos:

[...] deve possibilitar ao aluno a compreensão tanto dos processos químicos em si, quanto da construção de um conhecimento científico em estreita relação com as aplicações tecnológicas e suas implicações ambientais, sociais, políticas e econômicas. (Brasil, 2002, p. 87)

Apesar disso existe um entrave para a superação dos antigos métodos de ensino que ainda hoje, segundo comenta Leite & Lima (2015), se baseiam na transmissão dos assuntos pelos professores de maneira plenamente desassociada da realidade dos alunos. Essa dissociação gera a dificuldade de compreensão acerca de conteúdos que fazem parte do ciclo básicos dos alunos, é o caso da tabela periódica (TP). Para Godoi, Oliveira, & Codognoto (2010) o estudo da Tabela Periódica se constitui em desafio ao passo que os estudantes apresentam dificuldade em entender as propriedades periódicas e aperiódicas, a distribuição dos elementos dispostos na tabela e como tudo isso se relaciona com a formação das substâncias. Isso gera um descontentamento nos alunos que aderem ao caminho de decorar as informações mais importantes. Trassi, et. al. (2001) comenta, que o ensino da TP no ensino médio em diversas escolas privilegia aspectos teóricos de modo bem complexo o que torna para o estudando algo abstrato, sem conteúdo significativo. Em concordância com os autores César, Reis & Aliane (2015) comentam que a abordagem da tabela periódica é introduzida no ensino médio de modo descontextualizado da história, fazendo com que a classificação dos elementos químicos não se relacione com o contexto histórico inerente ao assunto. Assim, os estudantes não conseguem estabelecer uma relação entre a evolução dos modelos atômicos e a lei periódica, como também as diversas propostas da organização dos elementos na tabela.

Diante disso os esforços dos professores se constituem como essencial para introduzir propostas didáticas que busquem a superação dessa problemática. Diversos autores e estudiosos escreveram e desenvolveram métodos que pudessem melhorar o ensino da TP nas escolas, tais como Trassi, et. al. (2001) que demonstrou o ensino da TP por meio de uma tabela interativa disponibilizada em um site, o

de Eichler & Pino (2000), que apresentaram a utilização de softwares para o ensino de estruturas atômicas e propriedades dos elementos químicos e o trabalho de Wallington et. al. (2013) que propôs um ensino numa perspectiva CTSA no qual o aprendizado ocorreu utilizando as propriedades químicas vistas na tabela periódica associado aos requisitos para combustíveis. Porém um abismo habita na formação inicial dos discentes de química que são os problemas enfrentados na educação superior. Um exemplo disso é quando Greca et. al. (2001) coloca que as abordagens dos cursos superiores não criam condições para que os alunos consigam compreender os fenômenos gerados pela mecânica quântica, embora esse estudo tenha sido desenvolvido em turmas de engenharia, suas concepções são válidas para o ensino químico, sabendo que o conteúdo abordado também faz parte da grade curricular desses estudantes. Outra barreira de acordo com César, Reis & Aliane (2015), é quando os estudantes se deparam com livros didáticos de química do ensino superior, que provem o conteúdo da tabela periódica como produto pronto, sendo esses mesmos livros a apresentarem a organização da TP como fruto da intuição no cientista Dmitri Mendeleev, não levando em consideração os levantamentos prévios utilizados por ele. César, Reis & Aliane (2015) ainda comentam que:

A falta de práticas escolares voltadas à realidade dos alunos leva a um desinteresse geral pelos conteúdos abordados na sala de aula, pois estes, em sua grande maioria, não se identificam com o que é ensinado. Dessa forma, é importante pensar no ensino de química como parte da educação geral que contribua com a preparação para a vida. (César, Reis & Aliane 2015, p.181).

Nessa perspectiva a utilização de abordagens diferenciadas geradora de sentido para os estudantes pode se constituir numa importante ferramenta para o entendimento do assunto. Uma alternativa pode ser aplicação do ensino da TP por meio da introdução à mecânica quântica, mais especificamente pelo Princípio de Exclusão, visto que esse princípio apresenta-se como peça chave para a distribuição dos elétrons, logo para a estrutura da tabela periódica. Conforme Bezerra (2003) explica, com o emprego dos quatro números quânticos mais o Princípio de Exclusão e a noção de “defeito quântico” (fenômeno ligado à excentricidade das órbitas elípticas no modelo de Sommerfeld), é possível dar conta da distribuição eletrônica dos elementos químicos e da estrutura da tabela periódica. O autor ainda esclarece que os trabalhos pioneiros de Dmitri Mendeleev (1869; 1889) e Lothar Meyer no final do século XIX contribuíram para a compreensão da existência de uma periodicidade

dos átomos a medida que se tornavam mais complexos, porém existia a questão de saber em relação a que os elementos eram periódicos. H. G. J. Moseley (1913; 1914) mostrou que essa periodicidade estava relacionada ao número atômico, o que por outro lado já tinha sido percebido por Bohr nas suas primeiras tentativas para determinar a distribuição dos átomos que ali também existia um certo padrão periódico. Assim Bezerra (2003) destaca que a distribuição eletrônica moderna, obtida a partir do emprego dos números quânticos e do princípio da exclusão apresentam igualmente uma periodicidade, que nas palavras dele:

Ora, é precisamente essa periodicidade estrutural que explica a periodicidade das propriedades químicas dos elementos (por exemplo: raio atômico, potencial de ionização, afinidade eletrônica, raio iônico etc.), e portanto justifica a estrutura da tabela periódica, que visava capturar justamente essa periodicidade nas propriedades químicas. (Bezerra, 2003, p. 504).

### 3 METODOLOGIA

Diante do apresentado a respeito do Princípio de Exclusão de Pauli, decidimos investigar como os livros didáticos brasileiros do ensino médio abordam este assunto, sabendo da sua importância para o entendimento da distribuição eletrônica que explica a periodicidade dos elementos e conseqüentemente justifica a estrutura da tabela periódica. Aliado a isso, o fato de que a classificação periódica dos elementos se configura como um assunto tão importante e básico para os alunos do ensino médio, visto que ele dá subsídio para a compressão das ligações químicas, do comportamento das substâncias, entre outros.

Para isso foi realizada uma pesquisa a respeito do Princípio de Exclusão e suas implicações para a construção da tabela periódica, observando também aspectos pessoais da vida do cientista que o descobriu. Munido dessas informações buscou-se uma metodologia científica que contemplasse os objetivos da pesquisa. Assim optou-se no presente trabalho a utilização de uma metodologia múltipla que envolve características de uma abordagem quantitativa e qualitativa. Gerhardt & Silveira (2009) descrevem a pesquisa qualitativa como sendo a aquela que não se preocupa com a representação numérica, mas sim com um aprofundamento no entendimento de um grupo social, coleção, organização, etc. Já Fonseca (2002, apud Gerhardt & Silveira, 2009) define uma pesquisa quantitativa como aquela que recorre à linguagem matemática e análise dos dados e suas variáveis, afirmando também que *“[...] utilização conjunta da pesquisa qualitativa e quantitativa permite recolher mais informações do que se poderia conseguir isoladamente.”* (Fonseca 2002, p. 20, apud Gerhardt & Silveira, 2009, p. 33).

Assumindo essas duas abordagens, escolheu-se o estudo de caso como método pesquisa para a realização das análises, uma vez que segundo Prodanov & Freitas (2013) é um tipo de pesquisa tanto quantitativa, quanto qualitativa que como uma investigação, tem como objeto de estudo um programa, uma instituição ou uma unidade social sendo tratada de forma aprofundada. Pode-se definir ainda o estudo de caso como sendo: *“[...] estratégia de pesquisa que busca examinar um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto [...]”*. (Prodanov & Freitas, 2013). Sendo assim o estudo de caso engloba todos os objetivos pretendidos pela pesquisa, desde as coletas até as análises.

### 3.1 A ESCOLHA DOS LIVROS

Com o objetivo de verificar como o Princípio de Pauli é abordado nos livros didáticos do ensino médio brasileiro, foram selecionadas todas as obras aprovadas pelo PNLD 2018 para a disciplina de química, destinadas ao Ensino Médio. Também foi analisado outro livro didático de química, nível Ensino Médio, de uma coleção anterior. Os Livros investigados estão dispostos na tabela 2.

**Tabela 2** - Livros didáticos avaliados na pesquisa

CÓD. DE INDENTIFICAÇÃO	NOME DO LIVRO	REFERÊNCIAS
LD1	Ser Protagonista	LISBOA, J. C. F.; BEZERRA, L. M.; BRUNI, A. T.; NERY, A. L. P.; BIANCO, P. A. G.; LIEGEL, R. M.; ÁVILA, S. G.; YDI, S. J.; LOCATELLI, S. W. e AOKI, V. L. M. Ser protagonista: química, vol. 1. 3ª ed. São Paulo: Edições SM, 2016.
LD2	Química	MORTIMER, E. F. e MACHADO, A. H. Química: ensino médio, vol. 1. 3ª ed. São Paulo: Scipione, 2016.
LD3	Química	FONSECA, Martha Reis Marques da, Química: Ensino Médio, vol. 1, 2ª ed. São Paulo: Ed Ática, 2016.
LD4	Química Cidadã	SANTOS, W. L. P.; MÓL, G. S.; DIB, S. M. F.; MATSUNAGA, R. T.; SANTOS, S. M. O.; CASTRO, E. N. F.; SILVA, G. S. e FARIAS, S. B. Química cidadã, vol. 3. 3ª ed. São Paulo: Ed. AJS, 2016.
LD5	Vivá Química	NOVAIS, Vera Lúcia Duarte de, Viva Química: vol. 1, Ensino Médio, Curitiba: Ed. Positivo, 2016.
LD6	Química	CISCATO, C. A. M.; PEREIRA, L. F.; CHEMELLO, E. e PROTI, P. B. Química: ensino médio, vol. 1. São Paulo: Moderna, 2016.
LD7	Interatividade Química	FONSECA, Martha Reis Marques da, Interatividade química: cidadania, vol. Único, São Paulo: Ed. FTD, 2003, Coleção Delta.

Fonte: Próprio autor (2021)

A coleção aprovadas do PNLD 2018 foi selecionada por se configurar a mais recente e ainda em uso nas escolas, visto que os livros selecionados pelas instituições de ensino são trabalhados durante três anos. Ainda foi realizada uma pesquisa no portal do Ministério Público da Educação (MEC), no qual pode ser constatada a utilização das obras em grande parte das escolas do estado de Pernambuco. O último livro foi selecionado levando em consideração a disponibilidade do conteúdo.

do do Princípio de Exclusão de Pauli em sua estrutura, a fim de realizar uma análise comparativa.

A análise partiu da busca no sumário das obras nos três volumes disponíveis de cada uma, buscando pelo assunto do PP. Não sendo localizado, investigou-se nos livros, partindo do assunto de modelos atômicos, algum escrito que fizesse citação ao conteúdo desejado. Os focos da análise realizada nos LD foram:

- Verificar se a obra apresenta o assunto do Princípio de Pauli e caso esteja presente;
- Como foi introduzido o conteúdo para o aluno na obra;
- Se o princípio foi atribuído ao cientista Pauli;
- Se existe algum contexto histórico inserido;
- Se descreve ou dá a ideia do PP como responsável para o entendimento da distribuição eletrônica, por consequência, das propriedades periódicas e organização da tabela periódica;
- E comparar o conteúdo abordado numa obra anterior as do PNLD 2018.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao realizar um estudo preliminar em todos os livros didáticos constatou-se que apenas duas das obras aprovadas pelo PNLD 2018 continham em seu corpo o assunto do Princípio de Pauli, assim as obras que foram alvo da avaliação estão descritas na tabela 3.

**Tabela 3** - Livros didáticos contendo o assunto do Princípio de Pauli

CÓD. DE INDENTIFICAÇÃO	NOME DO LIVRO	REFERÊNCIAS
LD2	Química	MORTIMER, E. F. e MACHADO, A. H. Química: ensino médio, vol. 1. 3ª ed. São Paulo: Scipione, 2016.
LD4	Química Cidadã	SANTOS, W. L. P.; MÓL, G. S.; DIB, S. M. F.; MATSUNAGA, R. T.; SANTOS, S. M. O.; CASTRO, E. N. F.; SILVA, G. S. e FARIAS, S. B. Química cidadã, vol. 3. 3ª ed. São Paulo: Ed. AJS, 2016.
LD7	Interatividade Química	FONSECA, Martha Reis Marques da, Interatividade química: cidadania, vol. Único, São Paulo: Ed. FTD, 2003, Coleção Delta.

Fonte: Próprio autor (2021)

Todavia vale a pena comentar como os outros livros didáticos apresentam o conteúdo de distribuição eletrônica, visto que todos os LD analisados e grande parte das sequencias didáticas empregadas, utilizam o PP como uma ferramenta quântica para explicar funcionamento da distribuição eletrônica ampliando o entendimento para as propriedades periódicas.

Os livros LD1, LD5 e o LD6 propõe uma sequencia explicativa abordando primeiramente o que são os elementos químicos, sua história e desenvolvimento. Logo após iniciam as explicações sobre os modelos atômicos de John Dalton, Thomson, Rutherford e Bohr, suas implicações, consequências, histórias e considerações. Na narrativa do modelo atômico de Rutherford-Bohr os livros avaliam as consequências desse modelo para a explicação dos espectros de luz e no entendimento das camadas da eletrosfera, então introduzem a distribuição eletrônica dos átomos neutros. Nesse sentido os autores abordam de maneira similar as camadas eletrônicas K, L, M, N, O, P e Q como fruto do trabalho do cientista Bohr, mas não se adentram na discussão a respeito das subcamadas, nem nos problemas contidos no modelo Rutherford-Bohr. As figuras 7, 8 e 9 mostram como os autores dos livros LD1, LD5 e LD6 propõe a explicação para a distribuição eletrônica. Os

atores dão continuidade ao assunto explicando a construção tabela periódica como fruto do trabalho de alguns cientistas, tais como Johann Wolfgang Döbereiner (1780-1849), Alexandre-Émile Béguyer de Chancourtois (1820-1886), John Alexander Reina Newlands (1837-1898) e Dmitri Ivanovic Mendeleev (1834-1907), prosseguindo o conteúdo explicando sobre as propriedades periódicas.

**Figura 7** - Distribuição eletrônica dos átomos neutros e íons de alguns elementos proposto no LD1

	K	L	M	N
${}_1\text{H}$	1			
${}_2\text{He}$	2			
${}_3\text{Li}$	2	1		
${}_6\text{C}$	2	4		
${}_{11}\text{Na}$	2	8	1	
${}_{11}\text{Na}^+$	2	8		
${}_{12}\text{Mg}$	2	8	2	
${}_{12}\text{Mg}^{2+}$	2	8		
${}_{15}\text{P}$	2	8	5	
${}_{17}\text{Cl}$	2	8	7	
${}_{17}\text{Cl}^-$	2	8	8	

Fonte: (Lisboa, et al., 2016, p. 91).

**Figura 8** - Distribuição eletrônica dos elementos neutros mostrado no LD5

Distribuição eletrônica dos elementos					
Elemento	Camadas ou níveis de energia				
	K (n = 1)	L (n = 2)	M (n = 3)	N (n = 4)	O (n = 5)
${}_2\text{He}$	2				
${}_4\text{Be}$	2	2			
${}_{11}\text{Na}$	2	8	1		
${}_{32}\text{Ge}$	2	8	18	4	

Fonte: (Novais, 2016, p. 97).

**Figura 9** - Distribuição eletrônica dos elementos neutros mostrado no LD6

Distribuições eletrônicas de elementos químicos selecionados				
Elemento	Níveis de energia (número máximo de elétrons)			
	K (2)	L (8)	M (18)	N (32)
${}_1\text{H}$	1			
${}_{11}\text{Na}$	2	8	1	
${}_{16}\text{S}$	2	8	6	
${}_{19}\text{K}$	2	8	8	1

Fonte: (Ciscato, Pereira, Chemello, & Proti, 2016, p. 95).

Notamos que essa forma de abordagem não favorece um bom entendimento do aluno acerca do conteúdo, visto que os autores introduzem a distribuição eletrônica de forma desconexa com as subcamadas e os números quânticos. Além disso, os livros estabelecem uma regra para a distribuição dos elétrons quando é considerada a camada de valência: “[...] Se você tiver uma camada com que permita 18 e 32 elétrons e que seja a última de sua distribuição: o número de elétron ( $n$ ) a ser colocado for tal que  $18 > n > 8$ , basta subtrair 8, passando resto para outra camada. [...]” (Novais, 2016, adap. p. 97). Comentando também que esse tipo de distribuição não é válida para grande maioria dos elementos encontrados na tabela periódica. Essas proposições são inseridas no texto para o aluno, sem uma reflexão do seu significado, alertando ainda ao aluno que se trata apenas de conceitos químicos básicos. Poderia ser nesse sentido introduzida a natureza dos números quânticos e a utilização do PP para deixar a dicursão menos descontextualizada, na medida que uma abordagem entregue aos estudantes sem uma criticidade e puramente descritiva gera uma memorização do assunto, assim como afirmam Eichler & Pino (2000). Por fim ainda as sequências determinadas nos livros não estabelecem uma relação entre a distribuição eletrônica e as propriedades periódicas, deixando uma lacuna para o discente; dificultando assim a correção que deve ser feita entre a lei periódica e a evolução dos modelos atômicos. Algo que também poderia ser transposto com a inclusão do Princípio de Exclusão de Pauli.

O LD3 esquematiza o ensino do átomo de forma análoga ao LD1, com o diferencial de introduzir o assunto a partir dos fenômenos da eletricidade e da radioatividade. Além de apresentar vários quadros contendo informações adicionais, curiosidades e a história do cientista que gerou o conhecimento, o que para Targino

& Baldinato (2016) é “[...] um dos motivos pelos quais se defende a inserção da história da ciência no ensino é justamente para contextualizar os conhecimentos científicos, de modo que o estudante aprenda ciência e sobre a sua natureza.” (Targino, et al., 2016). Além disso, a autora ainda faz uma menção as teorias quânticas quanto aponta as falhas do modelo de Bohr e adota as alterações realizadas pelo Sommerfeld para explicar os subníveis de energia, introduzido o segundo número quântico. Mais adiante é introduzida a distribuição eletrônica com subníveis e o diagrama de Linus Pauling como pode ser verificado na figura 10. O livro da continuidade abordando a construção da tabela periódica e propriedades periódicas.

**Figura 10** - Quadro explicativo com os subníveis no LD3

Nível de energia $n$	Número máximo de elétrons no nível	Subnível(is) de energia $\ell$	Representado pela letra	Número máximo de elétrons no subnível
$n = 1$	2 elétrons	$\ell = 0$	s	$s = 2$
$n = 2$	8 elétrons	$\ell = 0, \ell = 1$	s, p	$s = 2, p = 6$
$n = 3$	18 elétrons	$\ell = 0, \ell = 1, \ell = 2$	s, p, d	$s = 2, p = 6, d = 10$
$n = 4$	32 elétrons	$\ell = 0, \ell = 1, \ell = 2, \ell = 3$	s, p, d, f	$s = 2, p = 6, d = 10, f = 14$

Fonte: (Fonseca, 2016, p. 172)

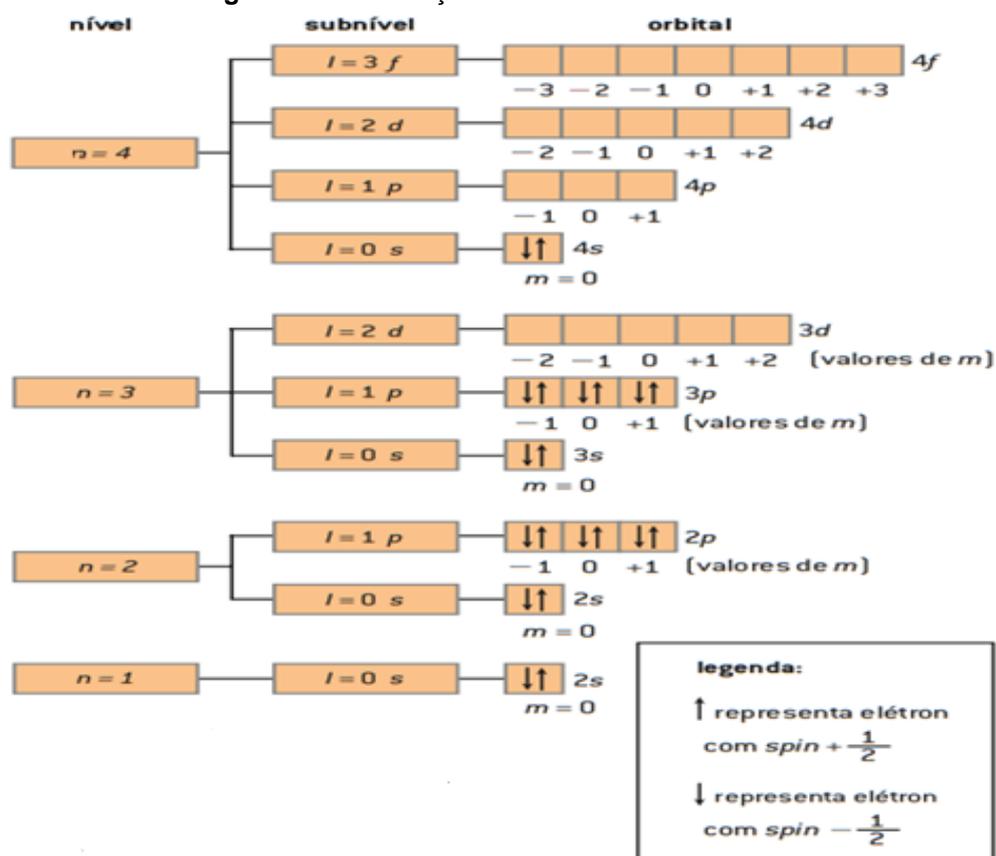
Retomando a discussão aos livros que apresentam o Princípio de Exclusão em sua estrutura, quando verificado o LD2, os autores realizam um aprofundado discurso a respeito dos modelos atômicos, relacionando os fenômenos associados e suas consequências com a ciência química. Discutindo também a história por trás de cada conteúdo envolvido. Logo após o livro introduz a descoberta dos elementos químicos e a construção da tabela periódica por meio dos tradicionais cientistas. Dando continuidade, é realizada uma relação entre as propriedades periódicas e o modelo proposto por Bohr, explicando como esse modelo serve para elucidar as propriedades periódicas. Até que os autores realizam uma introdução aos eventos que culminaram no surgimento da mecânica quântica no tópico “O MODELO ATUAL – COMPORTAMENTO DUAL DO ELÉTRON, INCERTEZA E ORBITAL” (Mortimer & Machado, 2016, p. 175), explicando de maneira breve os principais conceitos desenvolvidos pelos pesquisadores a respeito do universo subatômico, tais como dualidade do elétron, função de onda, densidade de

probabilidade, orbital, o paradoxo de EPR e os números quânticos. Finalmente na seção “NÚMEROS QUÂNTICOS, DISTRIBUIÇÃO ELETRÔNICA E A ORGANIZAÇÃO DA TABELA PERIÓDICA MODERNA” (Mortimer & Machado , 2016, p. 178), os autores explicam que a caracterização de um átomo ou elétron, diferente do modelo de Bohr, não pode ser realizada apenas por um número quântico, introduzindo assim o Princípio de Exclusão de Pauli da seguinte forma:

Cada elétron possui um conjunto distinto de quatro números quânticos, o que significa que dois elétrons num mesmo átomo nunca terão os mesmos valores para esses números. Eles devem diferir em pelo menos um dos números quânticos. Essa é uma forma simples de enunciar o Princípio de Exclusão de Pauli, que explica a distribuição dos elétrons na estrutura atômica. (Mortimer & Machado, 2016, p.178).

Dessa maneira os autores apontam aos leitores a importância do PP para a distribuição eletrônica, permitindo assim abranger o conhecimento a respeito das concepções mais modernas acerca do assunto. O livro ainda retoma a esse princípio no trecho “[...] *Uma das consequências do Princípio de Exclusão de Pauli é a de que cada orbital comporta, no máximo, dois elétrons, um com spin + 1/2 e outro com spin – 1/2. O subnível s, portanto, comporta no máximo dois elétrons. [...]*” (Mortimer & Machado, 2016, p.179), o qual explica a capacidade máxima de acomodação eletrônica em cada subnível, deixando clara a importância do PP como peça chave para a disposição dos elétrons nos subníveis, o que pode ser notado na figura 11, a qual mostra a distribuição eletrônica do cálcio apresentando o modelo dos spins. O livro da continuidade ao conteúdo desenvolvendo como essa distribuição configura a estruturação dos elementos da tabela periódica, abordando novamente o assunto de outra maneira. Muito embora os autores tenham abordado o PP e suas inferências, não foi citada a construção do conceito, nem alguma informação a mais sobre o cientista, se limitando a apresentar o conceito pronto.

Figura 11 - distribuição eletrônica do cálcio



Fonte: (Mortimer & Machado, 2016, p. 181)

Passando o LD4, o livro conta com um capítulo destinado a química quântica, chamado “Modelo Quântico”. Nele são abordados assuntos a respeito dos estudos da mecânica quântica, tais como a comparação dos fundamentos clássicos e quânticos do mundo físico, os modelos quânticos para os átomos, a configuração eletrônica e construção da tabela periódica, as ligações químicas numa perspectiva quântica, a nanotecnologia e as implicações químicas no meio ambiente. No tópico “A função de onda e os orbitais atômicos” (Santos, et al., 2016, p. 251) os autores explicam o caráter onda-partícula e o Princípio da Incerteza, descrevendo também o surgimento do conceito de densidade de probabilidade e de orbital, decorrente da equação de Erwin Schrödinger [1887-1961]. Os autores não explicam a natureza nem as consequências dos números quânticos, se concentrando em expor as representações dos orbitais atômicos (s, p, d e f) e a partir daí introduzindo o PP, apontando o físico responsável pelo conhecimento, mas sem inserir um contexto

histórico, para elucidar a quantidade de elétrons que cada orbital pode comportar, feito da seguinte forma:

O físico austríaco Wolfgang Pauli [1900-1958] propôs um princípio, incorporado pela Mecânica Quântica, segundo o qual, para um mesmo átomo, os elétrons deveriam possuir um conjunto de quatro números quânticos diferentes. De acordo com esse princípio, conhecido como Princípio de Exclusão, em cada orbital só pode haver, no máximo, dois elétrons. A diferença entre esses dois elétrons está no valor de uma propriedade denominada spin: cada elétron deve possuir um spin diferente, o que é dado por diferentes números quânticos de spin:  $+1/2$  e  $-1/2$ . Ao spin estão relacionados momento angular e momento magnético. Por isso, quando um elétron é exposto a um campo magnético, pode ter seu movimento alterado. (Santos, et al., 2016, p. 253).

Dessa maneira os autores atribuem o paramagnetismo existentes em algumas substâncias em decorrência do PP, enfatizando como sendo “[...] *um dos princípios fundamentais da Mecânica Quântica.*[...]” (Santos, et al., 2016). Então dão continuidade apresentando a distribuição eletrônica por meio do diagrama de Linus Pauling, posteriormente citando a configuração da tabela periódica e as ligações químicas numa concepção quântica. O livro não estabelece uma relação direta entre o PP e a distribuição dos elétrons, visto que na explicação dada pelos autores não é possível notar uma ponte entre os conteúdos, nem muito menos projeta a importância desse princípio para a construção da TP e de suas propriedades.

O princípio básico para fazer a configuração eletrônica de um elemento químico consiste em dispor os elétrons de seus átomos, de forma que o conjunto tenha o menor estado de energia possível. Esse estado de menor energia é chamado estado fundamental. Como vimos, a determinação de energia de cada elétron é dada pela função da equação de onda. Como não temos recursos matemáticos para determinar essa energia, podemos usar um esquema muito prático, e que está fundamentado na resolução matemática da equação que descreve o comportamento dos elétrons no átomo. Esse esquema ficou conhecido como diagrama de Linus Pauling. (Santos, et al., 2016, p.253).

Partindo para o LD7; assim como LD3, o livro esquematiza o ensino atômico partindo dos fenômenos da eletricidade e da radioatividade para então introduzirem os modelos atômicos de Thomsom, Rutherford, Bohr e Sommerfeld, apresentando a história e o contexto envolvido, visto que ambos foram escritos pela mesma autora. Porém no LD7 a autora apresenta uma seção introduzindo ao aluno as teorias quânticas, tais como a radiação do corpo negro, o modelo quântico para o átomo, o Princípio da Incerteza e o conceito de spin. O LD7 também explica o conceito de orbital atômico, obtidos a partir do princípio de Haisenberg para então introduzir as concepções a respeito do spin, porém sem elucidar os responsáveis

pela elaboração dessa concepção. Logo após, o livro introduz o Princípio de Pauli diferente dos anteriores, sendo colocado em um tópico próprio e fazendo uma abordagem levando em consideração a função de onda de cada elétron, apresentando-se como antissimétrica caso os elétrons possuam os mesmos números quânticos. A autora assim coloca o PP:

O físico alemão Wolfgang Pauli (1901-1958), que também foi aluno de Arnold Sommerfeld e assistente de Niels Bohr, encontrou a chave para a interpretação da estrutura atômica quando propôs a existência de uma nova propriedade da matéria, conhecida atualmente como Princípio de Exclusão de Pauli: “Dois elétrons pertencentes ao mesmo átomo não podem ter os quatro números quânticos iguais, ou seja, não podem ter as mesmas características mecânicas e magnéticas”. Segundo esse princípio, os elétrons diferem entre si necessariamente por pelo menos um dos quatro números quânticos ( $n$ ,  $l$ ,  $m$  e  $s$ ). [...] [...] Por exemplo, a função de onda se anula se os números quânticos assumidos para um dado elétron são os mesmos de um outro elétron do átomo. Isso indica que o elétron tem probabilidade zero de existir naquele estado energético. Assim, para que as funções de onda sejam verdadeiras, devem ser construídas para cada elétron do átomo com pelo menos um dos quatro números quânticos diferentes (o que fortalece a hipótese contida no Princípio de Exclusão de Pauli). (Fonseca, 2003, p. 132)

Dessa maneira a autora trás alguns elementos da vida pessoal do físico, o que permite maior compreensão de como pode ter ocorrido o caminho até descoberta do princípio e fornece um elemento de interpretação matemática para o conteúdo. O livro também vai um pouco além dos anteriores e propõe exercícios relacionados ao PP visto na figura 12, estimulando o aprofundamento acerca do conteúdo.

**Figura 12 - Exercícios propostos pelo LD7**

367. (FESP-PE) Qual das afirmativas abaixo é a verdadeira?
- O Princípio da Incerteza de Heisenberg contribuiu para validar as idéias de Bohr em relação às órbitas estacionárias.
  - O Princípio de De Broglie atribui aos elétrons propriedades ondulatórias, mas restringe essas propriedades ao fato de os elétrons não estarem em movimento.
  - Conforme o Princípio da Exclusão de Pauli, dois elétrons de um mesmo átomo devem diferir entre si, pelo menos, por um de seus quatro números quânticos.
  - A mecânica ondulatória aplicada à estrutura interna do átomo prevê que cada nível de energia é composto fundamentalmente por um subnível.
  - O número quântico magnético está relacionado com o movimento dos elétrons em um nível e não é utilizado para determinar a orientação de um orbital no espaço, em relação aos outros orbitais.
371. Em relação ao conceito de spin, responda:
- O que são elétrons com spins paralelos e com spins antiparalelos?
  - Por que dois elétrons com spins opostos podem ocupar um mesmo orbital?
  - Qual o enunciado do Princípio da Exclusão de Pauli?

Dando continuidade o LD7 apresenta a distribuição eletrônica por meio do diagrama de energia, apontando o modelo de Linus Pauling para realizar a disposição dos elétrons. Mais a frente é explicada também a distribuição eletrônica em orbitais, onde a autora se utiliza do PP e da regra de Hund para realizar a colocação dos spins. Nesse ponto a autora escreve:

A distribuição em orbitais dos elétrons de um átomo é feita de acordo com as seguintes regras: Em cada orbital, representado por um quadradinho, podem ser encontrados no máximo 2 elétrons, desde que tenham spins opostos. Os elétrons, nesse caso, são representados por meias setas que apontam para cima ou para baixo. Quando o orbital está completo, dizemos que os 2 elétrons estão emparelhados. Quando o orbital está incompleto, dizemos que o elétron está desemparelhado. Também pode ocorrer que um orbital previsto teoricamente para determinado átomo no estado fundamental não tenha elétrons (esteja vazio). (Fonseca, 2003, p. 140).

Sendo assim a autora estabelece uma relação entre o PP e a distribuição dos elétrons mostrando como esse princípio se aplica de forma prática a contribuir para interpretação da tabela periódica. Porém seguindo no assunto o livro não realiza uma citação direta da contribuição para as propriedades periódicas expondo esse assunto sem referenciar nenhum cientista.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Desta forma nota-se que o assunto do Princípio de Exclusão de Pauli é um conteúdo pouco abordado nos livros didáticos, visto que apenas 33% das obras do PNLD 2018 contêm a temática na sua estrutura. É possível também verificar que existe uma tendência dos livros didáticos realizarem uma transposição didática de modo a resumir o assunto ou retirar-lo, na medida em que o LD7 e o LD3 são livros da mesma autora, contudo o mais recente deles não apresenta o conteúdo. Também se pode observar que apesar da nítida contribuição do Princípio de Pauli para o ensino da distribuição eletrônica dos elementos e conseqüentemente da estrutura da tabela periódica, o ensino do último ponto, ocorre de forma desconexa, meramente operacional e expositiva nos livros didáticos.

Quando se iniciou este trabalho de pesquisa constatou-se que embora o Princípio de Exclusão de Pauli seja um dos principais fundamentos da mecânica quântica e se constitua como peça fundamental para a compreensão da organização da tabela periódica, inúmeros livros didáticos não apresentam este conteúdo em sua estrutura. E quando abordam, faz-se isso de forma resumida e desconexa para a compreensão de suas implicações. Decorrente desses fatos surgiu o problema de pesquisa deste estudo: como os livros didáticos para ensino médio abordam o Princípio de Exclusão de Pauli?

Diante disso a pesquisa teve como objetivo geral analisar como os livros didáticos na coleção do PNLD 2018 de química para ensino médio abordam o Princípio de Exclusão de Pauli. O objetivo geral foi atendido visto que o trabalho conseguiu mostrar efetivamente a maneira como os livros apresentam o assunto investigado, além de apontar dentro da coleção 2018 quais não contam com o princípio estudado.

Os objetivos específicos traçados inicialmente para a pesquisa foram: apresentar a importância do Princípio de Exclusão de Pauli para a distribuição eletrônica dos elementos e apontar as contribuições desse princípio para a construção da tabela periódica. Pode-se dizer que esses objetivos foram alcançados por meio do levantamento realizado na fundamentação teórica apresentada na composição do trabalho. Já o último objetivo específico era comparar como o Princípio de Pauli é abordado em um livro didático de uma versão anterior à do PNLD 2018, sendo atingido com a inclusão e análise do livro *Interatividade Química* de Fonseca (2003), a

fim de entender melhor a transposição didática sofrida pelo assunto ao longo das edições.

Apesar dos cuidados com as metodologias científicas e os esforços empregados para garantir a qualidade e a validade das avaliações realizadas na pesquisa, o presente estudo apresentou algumas limitações, tais como: a quantidade de livros didáticos de edições anteriores, serem insuficiente para um maior grau de generalização; além de que diante da metodologia proposta percebe-se que poderia ser realizada uma pesquisa mais ampla na bibliografia, a fim de analisar os aspectos históricos da construção do conhecimento. O reconhecimento dessas limitações não desvalorizam os resultados obtidos, mas possibilita a utilização desses como ponto de partida ou de acréscimo para futuros trabalhos.

Por fim, em relação à continuidade da pesquisa, mesmo que os resultados obtidos partam de um evento específico, alguns assuntos surgem como possibilidade de seguimento, especificamente: Investigar como o Princípio de Exclusão de Pauli foi introduzido nos primeiros livros didáticos com o propósito de comparar a transposição didática sofrida por esse conhecimento até os dias atuais; elaborar uma proposta didática que busque o ensino da tabela periódica por meio do Princípio de Exclusão de Pauli seria também um trabalho muito interessante.

## REFERÊNCIAS

**A Descontextualização das Experiências de Tiros Alternados em Livros Didáticos de Física** [Periódico] / A. Errobidart Nádia Cristina Guimarães e Gobara Shirley Takeco // I Congreso Internacional de Investigación en Enseñanza de las Ciencias eVIII Encontro nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. - 2011. - Vol. 1. - pp. 1-12. - trabalho Completo Em Congresso.

**A SELEÇÃO DOS LIVROS DIDÁTICOS: UM SABER NECESARIOAO PROFESOR. O CASO DO ENSINO DE CIÊNCIAS** [Periódico] / A. Beltrán Núñez Isauro [et al.] // Revista Iberoamericana de Educación. - Abril de 2003. - 1 : Vol. 33.

**A TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA DO CONTEÚDO TERMODINÂMICA QUÍMICA** [Periódico] / A. Silva Priscila do Nascimento [et al.] // Revista Insignare Scientia. - Set./Dez. de 2019. - 4 : Vol. 2. - pp. 189-217.

**A transposição didática do equivalente mecânico do calor nos livros didáticos de Física** [Artigo] / A. Carvalho Bianca Cintra de e Gomes Luciano Carvalhais // Acta Scientiae. - Canoas : [s.n.], Mar./Abr. de 2017. - 2 : Vol. 19. - pp. 373-393.

**Abordagem histórica da lei periódica nas coleções do PNLD 2012** [Periódico] / A. Targino Arcenira R. L. e Baldinato José O. // Química Nova na Escola. - São Paulo : [s.n.], 2016. - 4 : Vol. 38. - pp. 324-333.

**Abordagem Multimodal: um olhar para os Livros Didáticos de Química** [Periódico] / A. Freitas Júlia C. e Quadros Ana Luiza de // Química Nova na Escola. - São Paulo : Química Nova na Escola, Agosto de 2021. - 3 : Vol. 43. - pp. 315-328.

**ANÁLISE DA ABORDAGEM HISTÓRICA PARA A TABELA PERIÓDICA EM LIVROS DE QUÍMICA GERAL PARA O ENSINO SUPERIOR USADOS NO BRASIL NO SÉCULO XX** [Periódico] / A. Leite Helena S. A. e Porto Paulo A. // Química Nova na Escola. - São Paulo : Química Nova na Escola, Abril de 2015. - 4 : Vol. 38. - pp. 580-587.

**Can the Pauli Exclusion Principle Be Proved?** [Periódico] / A. Kaplan Ilya G.. - Cidade do México : Material Research Institute, National Autonomous University of Mexico, 2013.

**COMPUTADORES EM EDUCAÇÃO QUÍMICA: ESTRUTURA ATÔMICA E TABELA PERIÓDICA** [Periódico] / A. Eichler Marcelo e Pino José Claudio Del // QUÍMICA NOVA. - Dezembro de 2000. - pp. 835-840.

**Curso de Física básica: Ótica, Relatividade e Física Quântica** [Livro] / A. Nussenzveig Herch Moysés. - São Paulo : EDGARD BLÜCHER LTDA. , 1998. - 1ª : Vol. IV : pp. 393-395.

**Do átomo pré-socrático às partículas elementares: a estrutura quântica da matéria** [Livro] / A. Lopes José Lopes. - Rio de Janeiro : UFRJ, 1992. - pp. 547-550.

**Dos raios X aos Quarks: Físicos modernos e suas Descobertas** [Livro] / A. Segrè Emilio / ed. Maranhão Antonio Carlos Ayres. - Brasília : Universidade de Brasília, 1987. - pp. 145-148.

**Física para cientistas e engenheiros: Volume 4 – Luz, óptica e física moderna** [Livro] / A. Jewett John W. e Serway Raymond A.. - São Paulo : Cengage Learning Edições Ltda, 2013. - 8ª : Vol. IV : pp. 238-251.

**Físico-Química** [Livro] / A. Atkins Peter e Paula Julio de / trad. Silva Edilson Clemente da, Cardoso Márcio José Estillac de Melo e Barcia Oswaldo Esteves. - Rio de Janeiro : Grupo Editorial Nacional (GEN) Livros Técnicos Científicos LTDA, 2012. - Vol. I : pp. 288-293.

**Fundamentos de Metodologia Científica** [Livro] / A. Lakatos Eva Maria e Marconi Marina de Andrade. - São Paulo : Atlas S.A, 2003. - 5ª.

**Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação** [Online] / A. FNDE // Site do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação Ministério da Educação. - 2017. - 15 de Outubro de 2021. - <http://www.fnde.gov.br/component/k2/item/518-hist%C3%B3rico>.

**História da Física: Artigos, ensaios e resenhas** [Livro] / A. Vieira Cássio Leite. - Rio de Janeiro : CBPF, 2015. - 1 : pp. 34-43.

**História dos livros e das edições didáticas: sobre o estado da arte** [Periódico] / A. Choppin Alain // Educação e Pesquisa. - São Paulo : [s.n.], 2004. - 3 : Vol. 30. - pp. 549-566.

**Interatividade química: cidadania** [Livro] / A. Fonseca Martha Reis Marques da. - São Paulo : FTD, 2003. - Vol. Único.

**LIVRO DIDÁTICO COMO INSTRUMENTO DE APOIO PARA CONSTRUÇÃO DE PROPOSTAS DE ENSINO DE CIÊNCIAS NATURAIS** [Periódico] / A. Frison Marli Dallagnol [et al.] // Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. - Florianópolis : [s.n.], 8 de Novembro de 2009. - 5.

**METODOLOGIA CIENTÍFICA** [Livro] / A. Lakatos Eva Maria e Marconi Marina de Andrade . - São Paulo : Atlas S.A, 2008. - 5ª.

**METODOLOGIA DO TRABALHO CIENTÍFICO: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico** [Livro] / A. Prodanov Cleber Cristiano e Freitas Ernani Cesar de . - Novo Hamburgo : Feevale, 2013. - 2ª.

**Métodos de Pesquisa** [Livro] / A. Gerhardi Tatiana Engel e Silveira Denise Tolfo. - Porto Alegre : Editora da UFRGS, 2009.

**Ministério da Educação** [Online] / A. MEC // Ministério da Educação. - 2018. - 15 de Outubro de 2021. - <http://portal.mec.gov.br/pnlem>.

**NUMEROS QUÂNTICOS: ABORDAGENS DESCONEXAS QUE FAVORECEM A MEMORIZAÇÃO** [Documento] / A. Castro Thiago Sampaio // Trabalho de Conclusão de Curso. - [s.l.] : Universidade de Brasília, 2015.

**O aprendizado da Química na concepção de professores e alunos do ensino médio: um estudo de caso** [Periódico] / A. Leite Luciana Rodrigues e Lima José Ossian Gadelha de // Rev. bras. Estud. pedagog.. - Brasília : [s.n.], Maio/Ago. de 2015. - 243 : Vol. 96. - pp. 380-398. - Online.

**O Livro Didático de Química nas Concepções de Professores do Ensino Médio da Região Sul da Bahia** [Periódico] / A. Maia Juliana de Oliveira [et al.]. - [s.l.] : Química Nova na Escola, 2011. - 2 : Vol. 33. - pp. 115-124.

**O PROBLEMA DA LINGUAGEM E O ENSINO DA MECÂNICA QUÂNTICA NO NÍVEL MÉDIO** [Periódico] / A. Paulo Iramaia Jorge Cabral de e Moreira Marco Antonio // Ciência & Educação. - 2011. - 2 : Vol. 17. - pp. 421-434.

**O Tema “Alumínio” nas Coleções do PNLD 2018: Uma Análise de Acordo com a Educação CTS** [Periódico] / A. Toquetto André R.. - São Paulo : Química Nova na Escola, Agosto de 2019. - 3 : Vol. 41. - pp. 233-241.

**ORIENTAÇÕES CURRICULARES PARA O ENSINO MÉDIO: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias** / A. Brasil. - Brasília : [s.n.], 2006.

**PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio** [Periódico] / A. Brasil // Ciências da natureza, Matemática e suas tecnologias. Ministério da Educação/Secretaria da Educação Média e Tecnológica. - Brasília : [s.n.], 2002. - pp. 87-110.

**Princípios da Química: Questionando a vida moderna e o meio ambiente** [Livro] / A. Atkins Peter e Jones Loretta / trad. Alencastro Ricardo Bicca de. - Porto Alegre : BOOKMAN COMPANHIA EDITORA, 2006. - 3ª : pp. 113-154.

**QUANTUM EINSTEIN, BOHR AND THE GREAT DEBATE ABOUT THE NATURE OF REALITY** [Livro] / A. Kumar Manjit. - New York : W. W. Norton & Company, 2010. - 1ª : pp. 153-170.

**Química** [Livro] / A. Usberco J. e Salvador E.. - São Paulo : Saraiva, 2006. - Vol. Único.

**Química Cidadã** [Livro] / A. Santos W. L.P. [et al.]. - São Paulo : AJS, 2016. - 3ª : Vol. 1.

**Química: ensino médio** [Livro] / A. Ciscato C. A.M. [et al.]. - São Paulo : Moderna, 2016. - Vol. 1.

**Química: Ensino Médio** [Livro] / A. Fonseca Martha Reis Marques da. - São Paulo : Ática, 2016. - 2ª : Vol. 1.

**QUÍMICA: ensino médio** [Livro] / A. Mortimer E. F. e Machado A. H.. - São Paulo : Scipione, 2016. - 3ª : Vol. 1.

**Schola quantorum: progresso, racionalidade e inconsistência na antiga teoria atômica Parte I: desenvolvimento histórico, 1913-1925** [Periódico] / A. Bezerra Valter Alnis. - São Paulo : SCIENTIAE STUDIA, 2003. - 4 : Vol. I. - pp. 463-517.

**Ser protagonista: química** [Livro] / A. Lisboa J. C. F. [et al.]. - São Paulo : SM, 2016. - 3ª : Vol. 1.

**SOBRE A TEORIA DA TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA: ALGUMAS CONSIDERAÇÕES INTRODUTÓRIAS** [Periódico] / A. Chevallard Yves // Revista de Educação, Ciências e Matemática. - 2013. - 2 : Vol. 3. - pp. 1-14.

**Tabela Periódica - Um Super Trunfo para Alunos do Ensino Fundamental e Médio** [Periódico] / A. Godoi Thiago Andre de Faria, Oliveira Hueder Paulo Moisés de e Codognoto Lúcia // QUÍMICA NOVA NA ESCOLA. - Fervereiro de 2010. - 1 : Vol. 32. - pp. 22-25.

**Tabela Periódica Interativa** [Periódico] / A. César Eloi T., Reis Rita de C. e Aliane Cláudia S. de M. // Química Nova na escola. - São Paulo : [s.n.], Agosto de 2015. - 3 : Vol. 37. - pp. 180-186.

**Tabela periódica interativa: “um estímulo à compreensão”** [Periódico] / A. Trassi Rosana Cristina Manharello [et al.] // Acta Scientiarum. - Maringá : [s.n.], 2001. - 6 : Vol. 23. - pp. 1335-1339.

**Uma Proposta para o Ensino de Mecânica Quântica** [Periódico] / A. Greca Ileana Maria, Moreira Marco Antonio e Herscovitz Victoria E. // Revista Brasileira de Ensino de Física. - 2001. - 4 : Vol. 23. - pp. 444-457.

**Vivá Química** [Livro] / A. Novais Vera Lúcia Duarte de. - Curitiba : Positivo, 2016. - Vol. 1.

WALLINGTON, T. J.; ANDERSON, J. E.; SIEGEL, D. J.; TAMOR, M. A.; MUELLER, S. A.; WINKLER, S. L. E NIELSEN, O. J. Sustainable mobility, future fuels, and the periodic table. **Journal of Chemical Education**, v. 90, n. 4, p. 440-445, 2013.