



PROFQUI

PROGRAMA DE MESTRADO
PROFISSIONAL EM QUÍMICA
EM REDE NACIONAL

Série – Ensino de Química

Volume 33

Fabricio Rodrigues Pereira

Wanderson Romão

**GUIA DIDÁTICO DE NÚMEROS QUÂNTICOS:
UMA PROPOSTA DE ENSINO DE QUÍMICA COM
ANIMAÇÕES EM MATERIAL POTENCIALMENTE
SIGNIFICATIVO UTILIZANDO A METODOLOGIA
UEPS**

ISBN: 978-85-8263-839-2

DOI: 10.36524/9788582638392



**INSTITUTO
FEDERAL**
Espírito Santo

Campus
Vila Velha



Edifes
ACADÊMICO

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO PROFISSIONAL EM
QUÍMICA**

Mestrado Profissional em Química

Fabricio Rodrigues Pereira

Wanderson Romão

**GUIA DIDÁTICO DE NÚMEROS QUÂNTICOS: UMA PROPOSTA
DE ENSINO DE QUÍMICA COM ANIMAÇÕES EM MATERIAL
POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVO UTILIZANDO A
METODOLOGIA UEPS**

**Série – Ensino de Química
Volume 33**

Grupo de pesquisa



**Edifes
ACADÊMICO**

Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Espírito Santo

**Vila Velha
2024**

Copyright @ 2024 by Instituto Federal do Espírito Santo Depósito legal na biblioteca Nacional conforme Decreto nº. 1.825 de 20 de dezembro de 1907. O conteúdo dos textos é de inteira responsabilidade dos respectivos autores.



Editora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo
R. Barão de Mauá, nº 30 – Jucutuquara 29040-689 – Vitória – ES
www.edifes.ifes.edu.br | editora@ifes.edu.br

Reitor: Jadir José Pela

Pró-Reitor de Administração e Orçamento: Lezi José Ferreira

Pró-Reitor de Desenvolvimento Institucional: Luciano de Oliveira Toledo

Pró-Reitora de Ensino: Adriana Piontkovsky Barcellos

Pró-Reitor de Extensão: Lodovico Ortlieb Faria

Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação: André Romero da Silva

Coordenador da Edifes: Adonai José Lacruz

Conselho Editorial

Aline Freitas da Silva de Carvalho * Aparecida de Fátima Madella de Oliveira * Eduardo Fausto Kuster Cid * Felipe Zamborlini Saiter * Filipe Ferreira Ghidetti. * Gabriel Domingos Carvalho * Jamille Locatelli * Marcio de Souza Bolzan * Mariella Berger Andrade * Ricardo Ramos Costa * Rosana Vilarim da Silva * Rossanna dos Santos Santana Rubim * Viviane Bessa Lopes Alvarenga.

Revisão de texto:	Projeto gráfico e diagramação:	Capa:	Imagem de Capa:
Comissão Científica	Fabricio Rodrigue Pereira	Comunicação Social Campus Vila Velha	Comunicação Social Campus Vila Velha

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Biblioteca do campus Vila Velha)

P436g Pereira, Fabricio Rodrigues

Guia didático de números quânticos: uma proposta de ensino de química com animações em material potencialmente significativo utilizando a metodologia UEPS. / Fabricio Rodrigues Pereira, Wanderson Romão. Vila Velha: Edifes Acadêmico, 2024.

95 f. : il. col., 30 cm.

Inclui bibliografia.

ISBN: 978-85-8263-839-2.

DOI: 10.36524.

Série: Ensino de química, v. 33.

Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional.

1. Material didático – Ensino de química. 2. Química quântica. I. Romão, Wanderson. II. Instituto Federal do Espírito Santo. III. Título.

CDD 23 – 541.28

Bibliotecário(a): Valéria Rodrigues de Oliveira CRB6/ES-477

DOI: 10.36524/9788582638392

Este livro foi avaliado e recomendado para publicação por pareceristas ad hoc.

Esta obra está licenciada com uma Licença Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 Brasil.



Material didático público para livre reprodução.
Material bibliográfico eletrônico.



Edifes
ACADÊMICO



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo

Pró-Reitoria de Extensão e Produção

Av. Rio Branco, nº 50, Santa Lúcia Vitória – Espírito Santo CEP 29056-255 -

Tel.+55 (27)3227-5564

[E-mail:editoraifes@ifes.edu.br](mailto:editoraifes@ifes.edu.br)

Mestrado Profissional em Química

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo - Campus Vila Velha

Avenida Ministro Salgado Filho, 1000, Soteco, Vila Velha, Espírito Santo – CEP: 29106-010

Comissão Científica

Wanderson Romão

Mauro Cesar Dias

Paulo Rogério Garcez de Moura

Coordenação Editorial

Giovani Zanetti

Revisão do Texto

Comissão Científica

Capa e Editoração Eletrônica

Comunicação Social- Campus Vila Velha

Produção e Divulgação

Mestrado Profissional em Química

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo

MINICURRÍCULO DOS AUTORES



FABRICIO RODRIGUES PEREIRA - Graduiu-se em Química (Bacharelado e Licenciatura) pela Faculdade Espírito Santense, em 2012, fez duas especializações, sendo a primeira em Engenharia de Produção e a segunda em Educação Especial e inclusiva. Estudou Mestrado em Química no Instituto Federal do Espírito Santo (IFES), campus Vila Velha, pelo programa de Mestrado profissional em Química (PROFQUI), com defesa de dissertação na área da Aprendizagem Significativa de Química Quântica, com ênfase em Números Quânticos, com sua pesquisa apresentado em congresso da Sociedade Brasileira de Química, o IX Encontro Capixaba de Química (ENCAQUI-SBQ) e, atualmente, é professor de Química da Rede Pública Estadual do Espírito Santo e na rede privada.



WANDERSON ROMÃO - Graduiu-se em Química (Bacharelado e Licenciatura) pela Universidade Federal do Espírito Santo em 2006. Obteve seu Mestrado em Físico-Química pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) em 2009 e concluiu seu Doutorado em Ciências, também, pela Universidade Estadual de Campinas em 2010. No mesmo ano, iniciou seu pós-doutoramento na Universidade Federal do Espírito Santo. Atualmente, é docente e assume o cargo de Diretor de Pesquisa do Instituto Federal do Espírito Santo. Além disso, é membro permanente do Programa de Pós-Graduação em Química da UFES desde 2011. O docente tem desenvolvido pesquisas principalmente nas linhas de Química Forense, Espectrometria de Massas, Petroleômica, e Agronegócio, com diversos projetos fomentados por órgãos como CNPQ, FAPES e CAPES. É revisor de mais de dez revistas científicas de alto fator de impacto, publicou mais de 250 artigos em revistas internacionais e nacionais, 6 livros, 8 capítulos de livros, 10 depósitos de patentes e registros, e 183 apresentação de trabalhos em congressos nacionais e internacionais. Recebeu a Menção Honrosa em Reconhecimento às Contribuições ao desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado do Espírito Santo, prêmio concedido pelo Governo do Estado do Espírito Santo, bem como, o Prêmio Destaque forense de melhor artigo em Ciências Forenses no biênio 2014-2015 concedido pela Sociedade Brasileira de Ciências Forenses, além disso, é pesquisador de Produtividade em Pesquisa do CNPq Nível 1D desde 2021 e membro da Academia Brasileira de Ciências.

SUMÁRIO

Apresentação.....	7
Introdução.....	8
Capítulo 1: Fundamentos Atômicos.....	10
1.1 Visão Geral dos Fundamentos Atômicos.....	10
1.2 Estrutura Atômica.....	12
1.3 Números Quânticos.....	15
Capítulo 2: Teoria Quântica.....	19
2.1 Princípios da Teoria Quântica.....	19
2.2 Mecânica Quântica	21
2.3 Equações de Schrödinger.....	23
Capítulo 3: Modelos Atômicos.....	27
3.1 Modelo de Bohr.....	27
3.2 Modelo de Sommerfeld.....	28
3.3 Modelo de Schrödinger.....	29
Capítulo 4: Orbitais e Configuração Eletrônica.....	33
4.1 Orbitais Atômicos	33
4.2 Diagrama de Linus Pauling.....	35
4.3 Configuração Eletrônica	37
Capítulo 5: Processos Metodológicos.....	41
5.1 A Aprendizagem Significativa e as Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS)	41
5.2 O acesso a página via código QR.....	43
5.3 A sequência didática UEPS.....	44
5.4 Os comandos da página “Quimi quanti”	48
Capítulo 6: Aplicação do produto.....	61
6.1 Espaços utilizados na aplicação do produto.....	61
6.2 Aplicação da metodologia.....	63
6.3 Considerações finais.....	73
Referências Bibliográficas.....	74
Apêndices.....	76
Apêndice A: Questionários	77
Apêndice B: Interface do programa de animações.....	94

APRESENTAÇÃO

Este livro tem como objetivo auxiliar professores de Química acerca do ensino da Química Quântica na educação básica, trazendo uma abordagem clara e concisa, fomentando uma reflexão sobre a abordagem do tema, desde as relações teóricas até a sugestão da prática de ensino.

As orientações aqui contidas são oriundas de uma pesquisa de dissertação de mestrado, que originou esse guia didático aplicável às aulas de Química, o qual passou por percurso metodológico contendo as etapas de planejamento, desenvolvimento e execução, pautados do método de ensino denominado como Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS).

As UEPS têm como proposta o ensino significativo, abordando conceitos da Química Quântica, em uma abordagem da estrutura eletrônica e os números quânticos, partindo de um material potencialmente significativo.

INTRODUÇÃO

Este livro propõe o uso de animações em material potencialmente significativo no ensino de números quânticos, inseridas na metodologia Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS). A mecânica quântica, focando o nível eletrônico, é abordada de forma contextualizada no âmbito da pesquisa, que examina criticamente a produção e utilização de tecnologias de informação e comunicação, bem como a evolução tecnológica, no contexto da formação, ensino e aprendizagem de estudantes da educação básica. O objetivo é promover a aprendizagem significativa de conceitos específicos, levando em consideração seus subsunçores. O trabalho envolveu a construção de um material potencialmente significativo abordando as temáticas de distribuição eletrônica, explorando o número quântico principal, o secundário, o magnético e o spin eletrônico, considerando, assim como o princípio de máxima multiplicidade e exclusão, sob uma abordagem da aprendizagem significativa.



Capítulo 1: Fundamentos Atômicos

1.1 Visão Geral dos Fundamentos Atômicos

A Química Quântica é uma disciplina fascinante que explora os princípios fundamentais do mundo microscópico da matéria. Nesta seção, vamos nos aprofundar na visão geral dos fundamentos atômicos, que são a base para o estudo da Química Quântica.

Como já é sabido, segundo Chang (2010), os átomos são as unidades básicas da matéria compostos por partículas subatômicas, como prótons, nêutrons e elétrons. A visão geral dos fundamentos atômicos é o que permite ao estudante entender como essas partículas interagem entre si e como a estrutura afeta as propriedades químicas dos elementos.

Uma das principais contribuições ainda apresentadas na formação básica, para a compreensão dos fundamentos atômicos, foi o modelo de átomo com camadas eletrônicas e níveis de energia definidos, proposto por Niels Bohr¹, em 1913. Esse modelo descreve o átomo como um núcleo central carregado positivamente, composto por prótons e nêutrons, ao redor do qual os elétrons orbitam em camadas ou níveis de

¹ Veja, mais adiante, a proposta de Erwin Schrödinger para o modelo atômico.


energia específicos. Esses níveis de energia são quantizados, o que significa que os elétrons só podem ocupar determinados estados energéticos (Brown; Lemay; Bursten, 2016).

Além disso, a visão geral dos fundamentos atômicos também abrange conceitos como a distribuição eletrônica e a tabela periódica dos elementos, que é subsequente aos conceitos estruturais do átomo.

A distribuição eletrônica, ainda segundo Brown, Lemay e Buster (2016), descreve como os elétrons estão organizados nas diferentes camadas ou orbitais ao redor do núcleo do átomo, todavia, pode ser associada as suas funcionalidades, como determinar as propriedades químicas dos elementos e sua capacidade de formar ligações químicas.

É crucial que os estudantes entendam como resolver situações-problema, utilizando a distribuição eletrônica e manuseando a tabela periódica corretamente, pois a tabela periódica dos elementos, de acordo com Chang (2010), é uma ferramenta fundamental na Química e organiza os elementos de acordo com suas propriedades químicas e configurações eletrônicas. Ela fornece uma visão geral dos fundamentos atômicos, permitindo que os cientistas identifiquem padrões e tendências nas propriedades dos elementos.





Para ilustrar a importância da visão geral dos fundamentos atômicos, podemos considerar o exemplo do hidrogênio e do hélio. O hidrogênio possui apenas um elétron em sua camada mais externa, enquanto o hélio possui dois elétrons. Essa diferença na distribuição eletrônica resulta em propriedades químicas distintas para esses dois elementos. O hidrogênio é altamente reativo e forma facilmente ligações com outros átomos, enquanto o hélio é um gás nobre estável e não reage facilmente com outros elementos (Chang, 2010). O que parece uma diferença irrisória, na verdade, apresenta uma gama de propriedades substancialmente distintas.

Portanto, a visão geral dos fundamentos atômicos permite o entendimento da estrutura básica dos átomos, como os elétrons estão distribuídos nas diferentes camadas ou orbitais e como esses fatores influenciam as propriedades dos elementos. Esses conceitos são essenciais para o estudo da Química Quântica e fornecem base sólida para explorar os fenômenos quânticos no mundo microscópico da matéria (Átkins, 2010).

1.2 Estrutura Atômica

A estrutura atômica é um dos principais pilares da Química Quântica e subsidia a compreensão a organização interna dos


átomos, permitindo explorar mais a fundo, a estrutura atômica e como ela influencia as propriedades químicas dos elementos (Castro, 2017).

Como mencionado anteriormente, os átomos são compostos por partículas subatômicas, como prótons, nêutrons e elétrons. O núcleo do átomo contém prótons, que possuem carga positiva, e nêutrons, que não possuem carga elétrica. Os elétrons orbitam ao redor do núcleo em camadas ou orbitais específicos, baseados na configuração eletrônica de cada elemento químico, que descreve como os elétrons estão distribuídos nessas diferentes camadas ou orbitais ao redor do núcleo, que está associada ao número quântico principal².

Além disso, é importante que esteja claro para os estudantes, que a estrutura atômica também está relacionada com as propriedades periódicas dos elementos, que estão organizados de acordo com suas propriedades químicas e configurações eletrônicas. Ela fornece uma visão geral da estrutura atômica dos elementos e permite identificar padrões e tendências nas propriedades físicas e químicas.

² A proposta de Bohr, para o átomo de hidrogênio, viabilizou apenas o número quântico principal, sendo que o azimutal e magnético, resultam dos cálculos de Schrödinger, assim como o spin eletrônico foi determinado depois, experimentalmente.





Um exemplo interessante da importância da estrutura atômica é o caso do carbono. O carbono possui uma distribuição eletrônica de 2-4, o que significa que possui dois elétrons na primeira camada (K) e quatro elétrons na segunda camada (L). Essa distribuição eletrônica permite que o carbono forme ligações covalentes com outros átomos, resultando em uma ampla variedade de compostos orgânicos. Entende-se que, a partir disso, é possível associar claramente a tetravalência do carbono, lá nos hidrocarbonetos ensinados, posteriormente, na Química Orgânica.

A estrutura atômica também está relacionada às propriedades magnéticas dos materiais e isso precisa estar claro para o estudante, pois alguns elementos possuem elétrons desemparelhados em suas camadas mais externas; outros, possuem todos os seus elétrons emparelhados, tornando-os diamagnéticos ou paramagnéticos, o que permite que interajam significativamente ou não com campos magnéticos.

Em suma, a aprendizagem dos conceitos relacionados à estrutura atômica, é fundamental para entender a organização interna dos átomos e como ela influencia nas propriedades químicas dos elementos. A distribuição eletrônica e a tabela periódica dos elementos são ferramentas essenciais para explorar a estrutura atômica e identificar padrões nas

propriedades físicas e química que, dentro da química quântica, fornece conceitos prévios suficientes para a compreensão da estrutura atômica, permitindo que o estudante aprenda, de maneira significativa, os detalhes do mundo microscópico da matéria.

1.3 Números Quânticos

Os Números Quânticos são parâmetros fundamentais na descrição da estrutura eletrônica dos átomos. Sendo assim, é importante que sejam explorados em sala, detalhadamente, e não podem ser ensinados apenas como meros códigos matemáticos associados às estruturas eletrônicas dos átomos sem muitos aprofundamentos.

Existem quatro números quânticos: principal (n), número secundário ou azimutal (l), magnético (m) e spin (s). Não é ideal abordar, em sala de aula, a evolução dos modelos atômicos até Bohr, dar sequência ensinando os quatro números quânticos sem ao menos explicar a real origem de cada um deles.

Quando se fala em número quântico principal (n), logo, o que vem à cabeça, é descrevê-lo como o nível de energia ou camada em que o elétron está localizado, no entanto, pouco se fala que, na verdade, ele determina a distância média do elétron



em relação ao núcleo do átomo. Quanto maior o valor de n , maior é a energia do elétron e mais distante ele está do núcleo (Brown; Lemay; Bursten, 2016). Percebe-se que vai muito além de associar o número quântico principal a alguma camada eletrônica onde o elétron está localizado.

O número quântico secundário (l), conhecido também como número quântico azimutal, está relacionado ao momento angular do elétron, que descreve o subnível ou orbital em que o elétron está localizado. Ele determina a forma tridimensional do orbital e pode ter valores de 0 a $n - 1$. Por exemplo, se $n = 2$, os possíveis valores para l são 0 e 1, correspondendo aos orbitais s e p , respectivamente, e assim por diante (Brown; Lemay; Bursten, 2016).

O número quântico magnético (m) descreve a orientação espacial específica do orbital. Ele pode ter valores que variam de $-l$ a $+l$, incluindo zero. Por exemplo, se $l = 1$, os possíveis valores para m são -1 , 0 e $+1$, representando as três orientações espaciais dos orbitais p (Brown; Lemay; Bursten, 2016).

O número quântico de spin (s) descreve o sentido de rotação intrínseco do elétron em torno de seu próprio eixo. Ele pode ter dois valores: $+1/2$ ou $-1/2$. Esses valores representam os dois sentidos possíveis de rotação do elétron (Chang, 2010).

Os números quânticos são essenciais para descrever informações relacionadas à configuração eletrônica dos átomos e determinar as propriedades dos elementos. Eles nos permitem prever como os elétrons estão distribuídos nas diferentes camadas, orbitais e orientações espaciais, o que influencia diretamente as interações químicas, por isso, se faz necessária uma abordagem coerente e completa, destacando a sua importância durante as aulas.

Um exemplo interessante da importância dos números quânticos é a configuração eletrônica do oxigênio. O oxigênio possui uma configuração eletrônica de $1s^2 2s^2 2p^4$, onde os números quânticos descrevem a distribuição dos elétrons nas camadas s e p . Essa configuração eletrônica explica por que o oxigênio é um elemento altamente reativo, capaz de formar ligações covalentes com outros átomos para alcançar uma configuração mais estável (Chang, 2010).

Todos esses detalhes mostram como os números quânticos são parâmetros fundamentais na descrição da estrutura eletrônica dos átomos a nível de elétron. Eles permitem entender como os elétrons estão distribuídos nas diferentes camadas, orbitais e orientações espaciais, o princípio de exclusão e as regras de inserção dos spins.



2

Capítulo 2: Teoria Quântica


2.1 Princípios da Teoria Quântica

A teoria quântica é uma das teorias mais revolucionárias e fundamentais da ciência moderna. Ela descreve o comportamento das partículas subatômicas e as interações entre elas de uma maneira completamente diferente da física clássica. Os princípios da teoria quântica são os fundamentos sobre os quais essa teoria foi construída.

Um dos princípios mais importantes da teoria quântica é o princípio da superposição. Esse princípio afirma que uma partícula pode existir em vários estados diferentes ao mesmo tempo, até que seja observada ou medida. Isso significa que uma partícula pode estar em um estado de sobreposição, onde ela possui várias propriedades simultaneamente (Levine, 2014).

Um exemplo famoso que ilustra esse princípio é o experimento mental do gato de Erwin R. J. A. Schrödinger. Esse experimento consiste em colocar um gato em uma caixa com um dispositivo que pode liberar veneno a qualquer momento. De acordo com a teoria quântica, antes de abrir a caixa para observar o gato, ele está em um estado de superposição, onde está simultaneamente vivo e morto (Levine, 2014; Shankar, 1994; Zetilli, 2009).





Outro princípio importante é o princípio da incerteza de Werner K. Heisenberg. Esse princípio estabelece que existe uma limitação fundamental na precisão com que podemos medir certas propriedades das partículas subatômicas, como posição e momento linear. Quanto mais precisamente medimos uma dessas propriedades, menos precisão teremos na medição da outra propriedade relacionada (Levine, 2014; Zetilli, 2009; Shankar, 1994).

Esse princípio tem implicações profundas na nossa compreensão do mundo quântico. Ele nos mostra que a natureza é intrinsecamente probabilística e que não podemos conhecer com certeza absoluta o estado de uma partícula em um determinado momento.

Além disso, a teoria quântica também introduz o conceito de entrelaçamento quântico.

Esse fenômeno ocorre quando duas partículas estão tão intimamente ligadas que o estado de uma partícula está instantaneamente relacionado ao estado da outra, independentemente da distância entre elas (Einstein; Podolsky; Rosen, 1935).

Isso desafia nossa intuição clássica sobre como as coisas devem funcionar e tem sido objeto de muitos experimentos e pesquisas relevantes para a sociedade³.

Esses são apenas alguns dos princípios fundamentais da teoria quântica. Eles fornecem a base para entendermos os fenômenos quânticos e como eles diferem dos fenômenos clássicos descritos pela Física tradicional.


2.2 Mecânica Quântica

A mecânica quântica é uma área que estuda o comportamento das partículas subatômicas e as interações entre elas. Ela é uma teoria fundamental que descreve o mundo quântico de forma matemática e tem alcançado muito sucesso em prever e explicar uma ampla gama de fenômenos observados experimentalmente (McQuarrie, 2008).

Uma das principais diferenças entre a mecânica quântica e a física clássica é a forma como as grandezas físicas são representadas. Na Física clássica, as grandezas são descritas

³ Prêmio Nobel de Química de 2023: Os pontos quânticos que iluminam monitores de computador e telas de televisão baseados na tecnologia QLED, agora também acrescentam nuances à luz de algumas lâmpadas LED em que bioquímicos e médicos as utilizam para mapear tecidos biológicos. Fonte: <<https://www.nobelprize.org>>





por variáveis contínuas, como posição e velocidade. Na mecânica quântica, no entanto, essas grandezas são representadas por operadores matemáticos que atuam sobre funções de onda.

A função de onda, de acordo com McQuarrie (2008), é uma descrição matemática do estado de uma partícula quântica. Ela contém informações sobre todas as propriedades possíveis da partícula, como posição, momento linear e energia. Através da equação de Schrödinger, que falaremos no tópico a seguir, é possível determinar como essa função de onda evolui no tempo e prever as probabilidades associadas às diferentes propriedades da partícula.

Outro conceito importante na mecânica quântica é o princípio da dualidade onda-partícula. Esse princípio, afirma que as partículas subatômicas podem exibir tanto comportamento de partícula quanto comportamento de onda, dependendo do experimento realizado. Por exemplo, um elétron pode se comportar como uma partícula quando é detectado em um ponto específico do espaço, mas também pode se comportar como uma onda quando passa por uma fenda estreita e forma um padrão de interferência (Levine, 2014; Zetilli, 2009; Shankar, 1994).

A mecânica quântica também introduz o conceito de estados ligados e descreve como as partículas podem estar confinadas em regiões específicas do espaço, como átomos e moléculas. Esses estados ligados têm energias quantizadas, o que significa que apenas certos valores discretos de energia são permitidos (Levine, 2014).

. Além disso, a mecânica quântica é essencial para entender fenômenos como o tunelamento quântico, onde uma partícula pode atravessar uma barreira de potencial mesmo que sua energia seja menor do que a energia da barreira. Esse fenômeno tem implicações importantes em áreas como estudos nucleares e a eletrônica de semicondutores (Shankar, 1994).

2.3 Equação de Schrödinger

A equação de Schrödinger é a equação fundamental da mecânica quântica. Ela descreve como as funções de onda das partículas evoluem no tempo e fornecem informações sobre as propriedades dessas partículas.

A versão mais conhecida é a equação de Schrödinger independente do tempo, que descreve uma função de onda em um sistema quântico estacionário. Essa é uma equação



diferencial parcial linear e sua solução fornece as energias permitidas e as funções de onda associadas a um determinado sistema. Já a equação de Schrödinger dependente do tempo, é usada para descrever a evolução temporal deste sistema estacionário (McQuarrie, 2008).

A equação de Schrödinger é fundamental para entendermos o comportamento das partículas a nível subatômico e prevermos suas propriedades. Ela nos permitem calcular probabilidades, energias e outras grandezas físicas relacionadas às partículas quânticas.

No entanto, resolver a equação de Schrödinger para sistemas complexos, pode ser extremamente difícil ou mesmo impossível analiticamente. Nesses casos, recorremos a métodos aproximados, como a teoria do campo médio ou métodos numéricos avançados.

A descrição do átomo de hidrogênio pela Mecânica Quântica pela solução da Equação de Schrödinger, é dada por:

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2\Psi(\vec{r}) + V(\vec{r})\Psi(\vec{r}) = E\Psi(\vec{r})$$

Nesse caso, o potencial $V(\vec{r})$ é dado pelo potencial coulombiano entre duas cargas elementares. As soluções dessa equação são autofunções, cada uma associada a um valor de

energia, e essas autofunções são caracterizadas por três⁴ índices: um para a solução da parte radial (n), um para a parte polar (l) e um para a parte azimutal (m). Ainda, para respeitar o Princípio de Exclusão de Pauli, os elétrons precisam ser caracterizados por um quarto índice, já que, de contrário, teríamos dois elétrons no mesmo estado. Esse quarto índice vem da orientação do spin do elétron (s) (McQuarrie, 2008).

Esses quatro índices, que são números naturais (ou semi-inteiros, no caso do s), nessa mesma ordem, receberam os nomes de número quântico principal, secundário, magnético e de spin. Além disso, McQuarrie (2008), traz várias formulações e generalizações diferentes das equações de Schrödinger que são usadas em diferentes contextos, como, por exemplo, a equação de Dirac é uma generalização relativística da equação de Schrödinger que descreve partículas com spin $1/2$.

É claro que não se deve abordar sobre a resolução da equação no ensino básico, todavia, é importante deixar claro que os números quânticos são provenientes dela e que se trata de algo mais aprimorado em relação a proposta de Bohr, que matematicamente viabilizou apenas o número quântico principal.

⁴ A ordem matemática em que os números quânticos são indicados na equação de Schrödinger ocorrem do m , depois para o l e, por último, para o n .



3

Capítulo 3: Modelos Atômicos

3.1 Modelo de Bohr

O modelo proposto por Niels Bohr, em 1913, foi um marco importante no desenvolvimento da teoria atômica, até hoje, tem sido utilizado como modelo atômico mais recentemente aceito nas literaturas de ensino básico. Ele introduziu a ideia de que os elétrons orbitam o núcleo do átomo em órbitas específicas e quantizadas, ou seja, apenas certos valores de energia são permitidos para os elétrons.

Uma das principais contribuições do modelo de Bohr foi a explicação da estabilidade dos átomos. De acordo com Atkins e Friedman (2010), os elétrons só podem ocupar determinadas órbitas ao redor do núcleo, chamadas de níveis de energia. Cada órbita tem uma energia específica associada a ela e os elétrons não podem existir em estados intermediários entre esses níveis.

Além disso, o modelo de Bohr também explicou as transições eletrônicas entre diferentes níveis de energia. Quando um elétron absorve ou emite energia suficiente, ele pode saltar para uma órbita mais externa (absorção) ou retornar para uma órbita mais interna (emissão). Essas transições resultam na emissão ou absorção de luz em frequências



específicas, o que é observado como linhas espectrais distintas (Brown; Lemay; Bursten, 2016).

Embora o modelo de Bohr tenha sido revolucionário na época e tenha fornecido uma base sólida para entender a estrutura atômica, ele tinha algumas limitações. Por exemplo, não conseguia explicar completamente o comportamento dos átomos com mais de um elétron. Ademais, não levava em consideração os princípios da mecânica quântica, que foram desenvolvidos posteriormente.

No entanto, o modelo de Bohr foi um passo importante na compreensão da estrutura atômica e abriu caminho para modelos mais avançados, como o modelo de Sommerfeld e o modelo de Schrödinger, que ainda não são levados em conta no ensino de atomística no ensino de Química da educação básica.

3.2 Modelo de Sommerfeld

O modelo proposto por Arnold Sommerfeld em 1916, foi uma extensão do modelo de Bohr que levou em consideração algumas das suas limitações. Enquanto o modelo de Bohr descrevia os elétrons orbitando o núcleo em órbitas circulares simples. O modelo de Sommerfeld introduziu a ideia de órbitas

elípticas e adicionou um novo número quântico chamado número azimutal (Atkins; Friedman, 2010).

O número azimutal descreve a forma da órbita do elétron ao redor do núcleo. Como já descrevemos, ele pode ter valores inteiros entre 0 e $n-1$, onde n é o número principal quântico associado à energia do elétron. Por exemplo, se $n=2$, os possíveis valores para o número azimutal são 0 e 1. Esses diferentes valores resultam em diferentes formas para as órbitas dos elétrons.

Além disso, o modelo de Sommerfeld também introduziu a ideia de subníveis dentro dos níveis principais de energia. Cada subnível é caracterizado pelo número azimutal e pode conter um número máximo de elétrons. Por exemplo, o subnível s (número azimutal = 0) pode conter até 2 elétrons, enquanto o subnível p (número azimutal = 1) pode conter até 6 elétrons.

3.3 Modelo de Schrödinger

O modelo de Schrödinger é uma formulação matemática da mecânica quântica que foi proposta em 1926. Diferentemente dos modelos anteriores, que descreviam os elétrons como



partículas orbitando o núcleo em órbitas definidas, o modelo de Schrödinger descreve os elétrons como ondas de probabilidade.

De acordo com o modelo de Schrödinger, a função de onda de um elétron contém informações sobre sua posição e energia. A equação de Schrödinger é uma equação diferencial que descreve a evolução temporal da função de onda. Ao resolver essa equação para um dado sistema, é possível obter as possíveis energias e distribuições espaciais dos elétrons (Atkins ;Friedman, 2010).

Uma das principais contribuições do modelo de Schrödinger foi a explicação da estrutura eletrônica dos átomos polieletrônicos, ou seja, átomos com mais de um elétron que, até então, era um problema para a proposta de Bohr. O modelo de Schrödinger permite determinar as órbitas permitidas para os elétrons em torno do núcleo e suas respectivas energias. Além disso, também fornece informações sobre a densidade eletrônica em diferentes regiões do espaço. Não se espera que isso seja compreendido antes da graduação, todavia, é necessário intensificar a ideia da existência de um modelo atômico à frente do modelo proposto por Bohr.

O modelo de Schrödinger também introduziu o conceito de orbitais atômicos. Os orbitais são regiões do espaço onde há alta

probabilidade de encontrar um elétron. Eles são descritos por funções matemáticas chamadas funções de onda ou orbitais atômicos. Cada orbital tem uma forma característica e é associado a um conjunto específico de números quânticos (McQuarrie, 2008).

Além disso, o modelo de Schrödinger também explica a divisão fina das linhas espectrais observadas experimentalmente. Essa divisão ocorre, porque os orbitais têm diferentes orientações no espaço e interagem uns com os outros (Atkins; Friedman, 2010).

O modelo de Schrödinger revolucionou nossa compreensão da estrutura atômica e é amplamente utilizado na Química Quântica para prever propriedades e comportamentos de átomos e moléculas. Ele fornece uma base sólida para a compreensão da Química moderna e tem aplicações em diversas áreas, como catálise, materiais e medicina. Essa área da química quântica é considerada tão relevante que subsidiou o prêmio Nobel de Química mais recente, com estudos relevantes acerca de pontos quânticos e suas aplicações.



4

Capítulo 4: Orbitais e Configuração Eletrônica

4.1 Orbitais Atômicos

Os orbitais atômicos são regiões do espaço, ao redor do núcleo de um átomo, onde há maior probabilidade de encontrar elétrons. Eles descrevem a distribuição espacial dos elétrons em um átomo e são representados por funções matemáticas chamadas de funções de onda.

Existem diferentes tipos de orbitais atômicos, cada um com uma forma característica. Os principais tipos são os orbitais s , p , d e f . Os orbitais s têm formato esférico e estão mais próximos do núcleo, enquanto os orbitais p , têm formato de halteres e estão localizados em direções específicas ao redor do núcleo. Os orbitais d têm formas mais complexas e estão presentes em átomos maiores, enquanto os orbitais f são ainda mais complexos e também estão presentes em átomos maiores (Castro, 2017).

Como também já vimos, a distribuição dos elétrons nos diferentes orbitais é determinada pelos números quânticos. O número quântico principal (n) indica o nível de energia do orbital, sendo que quanto maior o valor de n , maior a distância média entre o elétron e o núcleo.



O número quântico secundário (l) determina a forma do orbital, variando de 0 a $(n-1)$. Por exemplo, para um orbital s , l é igual a 0; para um orbital p , l é igual a 1; para um orbital d , l é igual a 2; e assim por diante. Além disso, existem os números quânticos magnéticos (m), que indicam as orientações possíveis para cada tipo de orbital. O valor de m varia de $-l$, que equivale a -3 a $+l$, que equivale a $+3$. Por exemplo, para um orbital p , m pode ser -1 , 0 ou $+1$, indicando as três direções possíveis ao redor do núcleo (Castro, 2017).

Por isso a compreensão dos orbitais atômicos é essencial para entender a estrutura eletrônica dos átomos e suas propriedades químicas.

Por exemplo, a forma e a orientação dos orbitais afetam a capacidade de um átomo formar ligações químicas com outros átomos. Os elétrons nos orbitais mais externos também são responsáveis pelas propriedades de ionização e eletronegatividade dos elementos.

Um exemplo prático da importância dos orbitais atômicos é o caso do carbono. O carbono tem seis elétrons distribuídos em seus orbitais: dois no orbital $1s$ e quatro no orbital $2s$ e $2p$. Essa configuração eletrônica permite que o carbono forme ligações covalentes com outros átomos de carbono e com outros

elementos, resultando em uma ampla variedade de compostos orgânicos. Isso justifica o que chamamos de segundo postulado do carbono, descritos por August Kekulé, que é ensinado na parte introdutória da Química Orgânica.

4.2 Diagrama de Linus Pauling

O diagrama de Linus Pauling é uma representação gráfica da distribuição eletrônica dos orbitais em um átomo. Ele é usado para mostrar a sequência de preenchimento dos orbitais de acordo com os números quânticos (Castro, 2017).

No diagrama de Linus Pauling, os orbitais são representados por caixas horizontais, agrupadas em níveis de energia. Segundo Chang (2010), cada caixa representa um orbital e é preenchida com setas que indicam a orientação do spin dos elétrons. As setas para cima representam o spin positivo (+1/2) e as setas para baixo representam o spin negativo (-1/2).

A sequência de preenchimento dos orbitais segue a ordem crescente de energia. Os orbitais *s* são preenchidos antes dos orbitais *p*, que por sua vez são preenchidos antes dos orbitais *d*



e *f*. Dentro de cada tipo de orbital, os elétrons são distribuídos, individualmente, antes de serem pareados.

Por exemplo, no caso do carbono, que possui seis elétrons, o diagrama de Linus Pauling mostra que os dois primeiros elétrons ocupam o orbital $1s$ (uma caixa com uma seta para cima e outra para baixo), enquanto os quatro elétrons restantes ocupam os três orbitais $2s$ e $2p$ (duas caixas com uma seta para cima em cada uma delas).

O diagrama de Linus Pauling é útil para visualizar a configuração eletrônica dos átomos e entender como os elétrons estão distribuídos nos diferentes níveis e subníveis energéticos. Ele também ajuda a determinar a valência eletrônica dos elementos e suas propriedades químicas.

Um exemplo prático da aplicação do diagrama de Linus Pauling é a determinação da configuração eletrônica do oxigênio. O oxigênio tem oito elétrons, que são distribuídos nos orbitais $1s$, $2s$ e $2p$. O diagrama de Linus Pauling mostra que os dois primeiros elétrons ocupam o orbital $1s$, os dois elétrons seguintes ocupam o orbital $2s$ e os quatro elétrons restantes ocupam os três orbitais $2p$ (Chang, 2010).

4.3 Configuração Eletrônica

A configuração eletrônica de um átomo descreve como os elétrons estão distribuídos em seus orbitais. Ela é representada por uma sequência de números quânticos que indicam o nível de energia, o tipo de orbital e o número de elétrons em cada orbital.

Ainda sobre a configuração eletrônica, que segue as regras dos números quânticos e a ordem crescente de energia dos orbitais, podemos falar sobre o preenchimento dos orbitais eletrônicos.

Os números quânticos principais (n) são preenchidos em ordem crescente, seguidos pelos números quânticos secundários (l), que determinam a forma dos orbitais. Dentro de cada tipo de orbital, os elétrons são distribuídos, individualmente, antes de serem pareados. Primeiro se preenche todos os orbitais com spins antiparalelos e, só após todos os spins estarem desemparelhados, são preenchidos os demais, completando assim os orbitais com os pares eletrônicos (Housecroft; Sharpe, 2016).

Por exemplo, a configuração eletrônica do carbono é $1s^2 2s^2 2p^2$, isso significa que o carbono tem dois elétrons no orbital $1s$, que fica completamente preenchido, dois elétrons no orbital



2s, da mesma maneira que o primeiro orbital, e dois elétrons nos orbitais 2p, que terá dois elétrons desemparelhados, apenas. Isso é o equivalente a regra de Friedrich Hund, que é ensinado na educação básica.

Por esses e outros motivos a configuração eletrônica é importante para determinar as propriedades químicas dos elementos, pois ela influencia a capacidade de um átomo formar ligações químicas, sua reatividade, suas propriedades físicas e químicas.

Vale lembrar que a configuração eletrônica também está relacionada à estabilidade dos átomos e à formação de íons.

Um exemplo prático da importância da configuração eletrônica é a explicação das propriedades periódicas dos elementos na tabela periódica. A configuração eletrônica dos elementos varia periodicamente ao longo das linhas horizontais (períodos) e nas colunas verticais (grupos). Essa variação na configuração eletrônica está diretamente relacionada às mudanças nas propriedades químicas e físicas dos elementos (Chang, 2010).

Em suma, os orbitais atômicos são regiões do espaço onde há maior probabilidade de encontrar elétrons em um átomo. Eles são descritos por funções de onda matemáticas e têm formas

características. A distribuição dos elétrons nos orbitais é determinada pelos números quânticos, que indicam o nível de energia, a forma e a orientação dos orbitais.

O diagrama de Linus Pauling é utilizado como “pé de apoio” no ensino de Química na educação básica por ser mencionado nas literaturas e equivale a uma representação da distribuição eletrônica dos orbitais em um átomo, mostrando a sequência de preenchimento dos orbitais de acordo com os números quânticos, mas o que o torna peculiar é que literaturas oriundas de outras nacionalidades não trazem essa técnica mnemônica, que não estimula a aprendizagem lógica, sendo apenas, como memorização.



5

Capítulo 5: Processos Metodológicos

5.1 A Aprendizagem Significativa e as Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS)

Para que ocorra a aprendizagem significativa, Ausubel (1982) traz duas condições estritamente necessárias, sendo a primeira delas o material potencialmente significativo e, por último, a disposição do estudante para aprender. Para isso, é necessário buscar alternativas que atraiam o interesse desses estudantes pelos conteúdos abordados durante às aulas.

Moreira (2011, p. 45) ainda reforça quando diz que a aprendizagem só ocorre quando há ensino e esta aprendizagem deve ser significativa, na qual o ensino é o meio e a aprendizagem significativa é o fim, portanto, materiais de ensino que busquem essa aprendizagem devem ser potencialmente significativos.

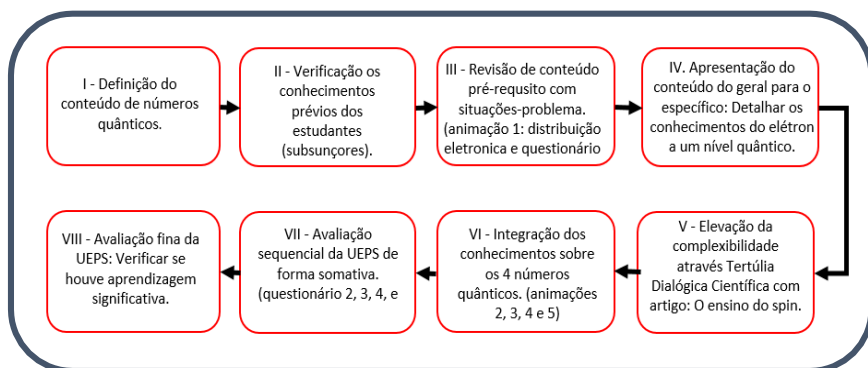
Além disso, não se pode desconsiderar os conhecimentos prévios ou subsunçores, que são pontes de ancoragem de novas informações na estrutura cognitiva do estudante. O Subsunçor é definido como conceito facilitador para um novo assunto, um conhecimento prévio que facilitará a inserção de uma nova informação (Moreira; Masini, 2006).



As Unidades de Ensino Potencialmente Significativas denominam-se como uma metodologia que contribui para a construção de uma aprendizagem significativa, em detrimento da aprendizagem mecânica, sendo elas unidades de ensino potencialmente facilitadoras da aprendizagem significativa de tópicos específicos de conhecimento declarativo e/ou procedimental (Moreira, 2011).

A proposta metodológica de UEPS foi pensada e desenvolvida como um material potencialmente significativo, com o objetivo de promover uma aprendizagem significativa do conteúdo de química quântica, seguindo as etapas conforme Figura 1 a seguir:

Figura 1: Etapas para a aplicação da UEPS.



Fonte: Autor (2023), de acordo com Merlim *et al.* (2019, p. 286).

A metodologia de ensino está proposta em oito etapas, que prevê a utilização de uma página da internet chamada

“Quimi quanti”, que foi construída especificamente para esta metodologia como depósito para as animações criadas como material potencialmente significativo (Ausubel, 1982), a qual contém um artigo científico (Belançon, 2018) para a leitura científica (Calzolari *et al.*, 2020), a proposta de sequência didática UEPS (Moreira, 2011) e a verificação da aprendizagem qualitativa e quantitativa. (Zaballa, 1998).

5.2 Acesso à página via código QR.

O acesso à página que contém o material potencialmente significativo, cujo acesso será detalhado mais adiante, é crucial, pois as etapas de aplicação da metodologia estão condicionadas ao uso de todo o material tecnológico disposto na página.

Para aplicação da proposta metodológica, é necessário acessar a página “Quimi quanti” para utilização do material potencialmente significativo apontando a câmera do código QR ou clicando sobre ele:



Feito o acesso à página, que é gratuito, a qual foi criada e vinculada estreitamente para a pesquisa de dissertação que

originou este guia didático, é possível iniciar as etapas de aplicação da metodologia.

5.3 Sequência didática UEPS

A sequência didática abaixo, que orienta os 8 passos da UEPS, também está disponível na página, com acesso gratuito.

Sequência Didática UEPS

Título: Ensino de Números Quânticos a partir da criação de animações como Material Potencialmente Significativo
Público Alvo: Turma da 1ª série do Ensino
Problematização: A mecânica quântica, que estuda sistemas de escala atômica ou subatômicas, como átomos, moléculas, prótons, elétrons, dentre outras partículas, traz consigo muitas dúvidas acerca da aplicação desse conhecimento tão específico, pois não é claramente relacionado ao cotidiano, quando abordado no Ensino Médio. Dessa forma, o conteúdo não é visto pelos alunos como atrativo, não despertando, assim, o interesse pela aprendizagem científica. Assim, nessa assertiva, viu-se que a contextualização de alguns conteúdos de química, como o ensino de Números Quânticos, é importante e precisa ter atrativos para despertar o interesse do aluno da educação básica, com foco na alfabetização científica e, por isso, a questão norteadora é como ensinar e contextualizar o conteúdo teórico dos números quânticos, principal, secundário ou azimutal, magnético e spin, a partir do uso de tecnologia para criação de animações como Material Potencialmente Significativo?
Conteúdos: Revisão sobre distribuição eletrônica, números quânticos principal, secundário ou azimutal, magnético e spin.
Tema gerador: Ciência e tecnologia
Metodologia de ensino: Unidades de Ensino Potencialmente Significativas segundo Moreira (2011) utilizando Material Potencialmente Significativo, segundo Ausubel (1982) apud Moreira (2011).
Avaliação: Avaliação somativa quantitativa e qualitativa.
Duração da SD: 6 aulas.

Objetivo geral: Promover a Aprendizagem Significativa do conteúdo Números Quânticos a partir da produção de animações como Material Potencialmente Significativo.

Objetivos específicos:

- Contextualizar sobre a importância da Mecânica Quântica a partir dos conhecimentos prévios dos alunos;
- Utilizar animações construídas em aplicativos gratuitos como Material Potencialmente Significativo para o ensino do número quântico principal, secundário ou azimutal, magnético e spin;
- Aplicar o conteúdo de números quânticos, de maneira contextualizada, a partir da metodologia de ensino UEPS;
- Avaliar o aprendizado quantitativa e qualitativamente de maneira somativa durante a SD;
- Realizar a avaliação da sequência didática UEPS.

ETAPA/AULAS	OBJETIVOS	CONTEUDOS	DINAMICA
<p>Etapa 1 e 2 1 aula: 50 min. Apresentar o tema; Verificar os conhecimentos prévios dos alunos em um momento inicial com participação dos alunos.</p>	<p>Apresentar o tema; Verificar os conhecimentos prévios dos alunos em um momento inicial com participação dos alunos.</p>	<p>Tabela periódica; Propriedades periódicas; Propriedades físico-químicas dos elementos químicos; Aplicações gerais dos elementos químicos no cotidiano social e industrial.</p>	<p>Iniciar com a apresentação do tema e, em seguida, iniciar um debate sobre os elementos químicos da tabela periódica que os alunos conhecem suas aplicações (25 minutos) e, em um segundo momento (25 minutos), dividir a turma em grupos de 5 alunos, para que possam elencar as informações provenientes de seus conteúdos prévios e apresentar os assuntos elencados na lista ao professor e aos demais grupos.</p>

<p>Etapa 3, 4 e 5: 1 aula: 50 min. Apresentar a situação problema; Apresentar o conteúdo de maneira geral; Partir para um nível mais complexo.</p>	<p>Apresentar a problematização do ensino de números quânticos e realizar a leitura de um artigo científico: O ensino do spin: uma abordagem integrada a tecnologia e trazer a discussão do tema geral para um nível de conteúdo mais complexo.</p>	<p>Apresentação da problemática no ensino de números quânticos; Leitura e interpretação/compreensão de texto de artigo científico.</p>	<p>Em um primeiro momento (5 minutos), trazer a problemática aos alunos e, na sequência (45 minutos), disponibilizar o texto do seguinte artigo: O ensino do spin: uma abordagem integrada a tecnologia e a sociedade. Disponibilizar o artigo para os alunos em um website criado, gratuitamente, na plataforma Google Sites</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>Etapa 6: 1 aula: 50 min. Retomar conteúdos mais importantes como revisão.</p>	<p>Revisar os conteúdos pré-requisitos para a aprendizagem significativa e números quânticos.</p>	<p>Distribuição eletrônica, camadas eletrônicas, diagrama de energia, níveis e subníveis de energia.</p>	<p>Orientar os alunos que acessem, na parte superior do website, a primeira animação no menu do 1º vídeo, que servirá como revisão do conteúdo pré-requisito e, logo após, responder ao formulário avaliativo do Google (também disponível no website, abaixo da animação) que contém o questionário sobre distribuição eletrônica, camadas, níveis e subníveis de energia, que servirá de diagnóstico dos conteúdos pré-requisitos.</p>
<p>Etapa 7: 2 aulas: 100 min. Avaliação da aprendizagem do conteúdo aplicado na UEPS.</p>	<p>Assistir as quatro animações criadas como material potencialmente significativo sobre números quânticos; Avaliar a aprendizagem.</p>	<p>Números quânticos principal, secundário ou azimutal, magnético e spin; Princípio de exclusão de Pauli; Regra de Hund.</p>	<p>Direcionar os alunos dentro do mesmo website, no menu superior, as abas do 2º, 3º, 4º e 5º vídeo, na sequência de números quânticos principal, azimutal, magnético e spin, seguidos de formulários para verificação da aprendizagem.</p>

Etapa 8: 1 aula: 50 min. Avaliação da UEPS – Verificação da possível aprendizagem significativa.	Realizar a avaliação da UEPS a fim de saber se foi exitosa.	Avaliação da metodologia de ensino UEPS que será realizada pelos alunos participantes.	Avaliar a metodologia de ensino UEPS, tais como as animações criadas como material potencialmente significativo, para saber se a UEPS foi exitosa quanto ao ensino de números quânticos.
Materiais necessários:	Sala de informática ou Chromebooks, acesso à internet, fones de ouvido.		

5.4 Os comandos da página “Quimi quanti”

A página possui uma visualização simples e de fácil navegação, limitando-se apenas aos conteúdos propostos, conforme destacado na Figura 2:

Figura 2: Página inicial do Quimi quanti.



Fonte: Autor (2023).

Na página inicial, no canto superior direito, destacado em vermelho, estão disponíveis os acessos aos vídeos de cada uma das animações, sendo elas: 1º vídeo: revisão de conteúdo sobre distribuição eletrônica e camadas eletrônicas; 2º vídeo: número quântico principal; 3º vídeo: número quântico secundário ou azimutal; 4º vídeo: número quântico magnético; 5º vídeo: número quântico spin. Ainda no menu superior direito, após os vídeos das animações, há um campo discriminado como resultados, que ficam disponíveis em planilhas de verificação da aprendizagem de forma quantitativa.

Ainda na página inicial, na parte inferior, há um artigo científico disponível para ser trabalhado em uma das etapas da proposta de UEPS, que contempla uma das etapas de avaliação qualitativa, conforme destacado na Figura 3 a seguir:

Figura 3: Acesso ao artigo para a leitura científica.



Fonte: Autor (2023).

De acordo com uma das etapas dispostas na proposta de sequência didática UEPS, o artigo é proposto para realização de uma leitura científica (Calzolari; Batisteti; Mello, 2020).

Um pouco abaixo do artigo disponível para a realização da leitura, há uma sequência didática (SD), conforme Figura 4, que discrimina todas as etapas da aplicação da metodologia, destacando os conteúdos abordados e a dinâmica de cada uma, para que o professor(a) consiga utilizar o material buscando a máxima aprendizagem.

Figura 4: Acesso à sequência didática UEPS.

The image shows a screenshot of a document viewer. At the top, there is a search bar with the text "Página 1 / 4" and a magnifying glass icon. Below the search bar, the document content is displayed. On the left side, there is a section titled "PARA O PROFESSOR" with a red arrow pointing to it. The document content includes the following text:

SD - ENSINO DE NÚMEROS QUÂNTICOS A PARTIR DA CRIAÇÃO DE ANIMAÇÕES COMO MATERIAL POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVO

Esta sequência didática UEPS (Unidade de Ensino Potencialmente Significativa) é uma proposta para criação e utilização das animações como material potencialmente significativo para a primeira série do EM, dentro do conteúdo de números quânticos. A UEPS é uma metodologia de ensino proposta pelo pesquisador Marco Antonio Moreira (UFRGS) e embasada na teoria da aprendizagem significativa de David P. Ausubel.

Fonte: Autor (2023).

A proposta de sequência didática UEPS está detalhada na parte inferior da página conforme indicada pela seta vermelha.

- **PARTE TEÓRICA: OS NÚMEROS QUÂNTICOS**

Ao clicar na parte da teoria, no menu superior direito da página, é possível acessar o embasamento teórico para a determinação dos números quânticos, assim como as competências específicas que estão relacionadas aos conteúdos de números quânticos, de acordo com a Figura 5:

Figura 5: Embasamento teórico.



Fonte: Autor (2023).

Toda base teórica necessária para desenvolvimento do conteúdo geral para o específico está devidamente disponibilizada e referenciada na aba teoria, conforme destacada pela seta.

- ANIMAÇÃO 1: REVISÃO: DISTRIBUIÇÃO ELETRÔNICA

No acesso ao 1º vídeo no menu superior direito, de acordo com a Figura 6, há uma subpágina contendo a animação de

revisão sobre o conteúdo de distribuição eletrônica e camadas eletrônicas, que traz explicações acerca dos detalhes pertinentes ao conteúdo pré-requisito, que são cruciais para a compreensão e determinação dos números quânticos principal, secundário ou azimutal, magnético e spin.

Figura 6: Vídeo da primeira animação.



Fonte: Autor (2023).

A animação contextualizada explica como realizar uma distribuição eletrônica, identificar a quantidade de elétrons em cada camada e, ao final, traz um exemplo resolvido para assimilação do conteúdo pré-requisito, conforme destacado.

Logo abaixo da animação do conteúdo pré-requisito de distribuição eletrônica, há o primeiro questionário (Figura 7), desenvolvido em forma de formulário avaliativo, para de verificação da aprendizagem quantitativa.

Figura 7: Primeiro questionário de verificação da aprendizagem.



Fonte: Autor (2023).

Os questionários são segmentados de acordo com cada animação que, de maneira contextualizada, encontram-se após cada uma das cinco animações disponíveis, conforme Figura 8:

Figura 8: Vista das questões de verificação da aprendizagem.

SEMIÁRIO DE CONTEÚDO: DISTRIBUIÇÃO ELETRÔNICA

REFERENTE À ANIMAÇÃO 1

AGORA VAMOS AVALIAR OS SEUS CONHECIMENTOS SOBRE DISTRIBUIÇÃO ELETRÔNICA, OK?

Responda às questões abaixo utilizando o diagrama de energia distribuição eletrônica.

DIAGRAMA DE ENERGIA

Camadas dos níveis: Subníveis (s, p, d ou f)

K	1	1s ²
L	2	2s ² 2p ⁶
M	3	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰
N	4	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ¹⁴
O	5	5s ² 5p ⁶ 5d ¹⁰ 5f ¹⁴
P	6	6s ² 6p ⁶ 6d ¹⁰ 6f ¹⁴
Q	7	7s ² 7p ⁶ 7d ¹⁰ 7f ¹⁴

O elemento titânio (Z=22) é empregado na produção de alta resistência ao calor devido a suas características de alta resistência ao calor e ao ar, devido as altas velocidades alcançadas pelos avião, assim como também é um material corrosão resistente, em relação aos outros metais.

Com relação ao titânio, pode-se afirmar que a sua distribuição eletrônica é:

se trata do elemento Mg.

a distribuição citada é do elemento S.

o elemento é o P.

se trata do elemento C.

o elemento é o Xe.

A distribuição eletrônica dos elementos traz consigo informações sobre os elementos além da quantidade como número atômico, elétrons de valência, número e qual pertence, entre outras informações. Considerando o estado eletronicamente neutro tenha uma distribuição 2s² 2p⁶ 3s² 3p² 3d², pode-se afirmar, baseado na tabela que:

		Período																																	
Grupos	1	2	Bloco s										Bloco p																						
			3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18																	
1	H	He																																	
2	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	Kr																		
3	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr										
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	American	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Mendelevium	No	Lr	
7	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	American	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Mendelevium	No	Lr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	American	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Mendelevium	No	Lr

Disponível em: <https://www.brasilsite.com.br/curso-digital/compre-a-50-anos-do-cinco-ano-1>
<https://iStock.com/1st-look/illustration-of-titanium-airplane>

Acessado em: 31/03/2023

4s² 3p²

4s² 3d²

4d² 3p⁴

3d² 4p⁶

3d² 4s²

4s² 3d²

Uma das aplicações mais recente do sensor, o elemento 54, foi feita em faróis de veículos. A vantagem, dispositivo passa a flumar três vezes mais, e ainda o menor de sistema do que os faróis comuns, além de ser esportivo nos veículos.

Considerando os dados do texto, a distribuição eletrônica é:

Disponível em: <https://autoconecta.olix.com.br/testes/verifica-conteudo-inovacoes-em-veiculos>

Acessado em: 31/03/2023

4s² 3p²

4d² 3p⁴

3d² 4p⁶

3d² 4s²

4s² 3d²

Fonte: Autor (2023).

Após assistida a animação, deve ser respondido o questionário para verificação da aprendizagem, conforme

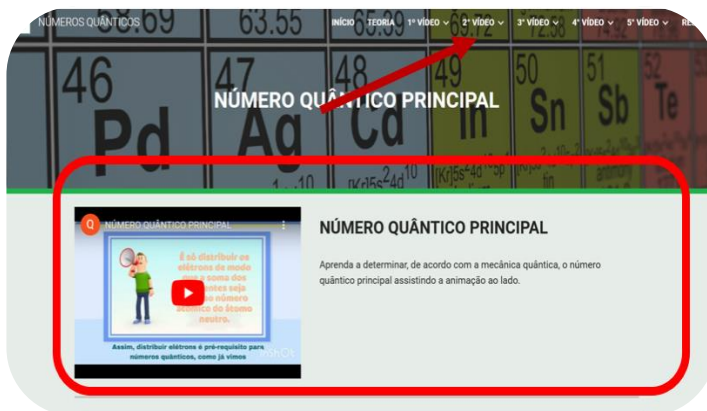
mostrado na figura 8. O questionário conta com questões objetivas sobre distribuição e camadas eletrônicas.

O questionário referente a primeira animação, assim como os demais, está definido para fornecer a correção automática e disponibilizar a pontuação assim que o questionário for respondido.

- ANIMAÇÃO 2: NÚMERO QUÂNTICO PRINCIPAL

A animação sobre número quântico principal está disponível no menu como segundo vídeo, que ao clicar é direcionada a uma subpágina, conforme Figura 9 abaixo:

Figura 9: Vídeo da segunda animação.



Fonte: Autor (2023).

Após assistida a animação, há um questionário para verificação da aprendizagem, que conta com cinco questões

objetivas sobre número quântico principal, nos mesmos parâmetros da animação sobre distribuição eletrônica.

- ANIMAÇÃO 3: NÚMERO QUÂNTICO AZIMUTAL

A animação sobre número quântico secundário azimutal está disponível no menu como terceiro vídeo (Figura 10), que ao clicar é direcionada a uma subpágina, conforme abaixo:

Figura 10: Vídeo da terceira animação.



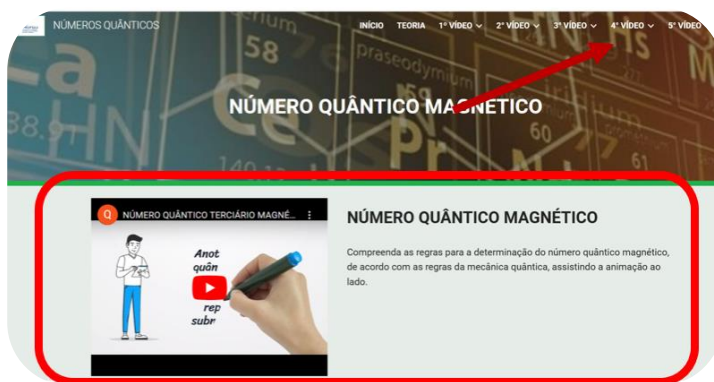
Fonte: Autor (2023).

Após assistir a animação, logo abaixo do vídeo, há um questionário de verificação da aprendizagem com 5 questões objetivas sobre número quântico azimutal.

- ANIMAÇÃO 4: NÚMERO QUÂNTICO MAGNÉTICO

A animação sobre número quântico magnético (Figura 11) está disponível no menu como 4º vídeo, que ao clicar é direcionada a uma subpágina.

Figura 11: Vídeo da quarta animação.



Fonte: Autor (2023).

Após assistir a animação, logo abaixo, há um questionário para avaliação da aprendizagem com 5 questões sobre número quântico magnético.

- ANIMAÇÃO 5: NÚMERO QUÂNTICO SPIN

A última animação, sobre o último número quântico, que é o número quântico spin eletrônico, está disponível no menu como 5º vídeo, que ao clicar é direcionada a uma subpágina, conforme Figura 12, a seguir.

Figura 12: Vídeo da quinta animação.



Fonte: Autor (2023).

Após assistir a animação, há um questionário para avaliação da aprendizagem com 5 questões sobre número quântico spin.

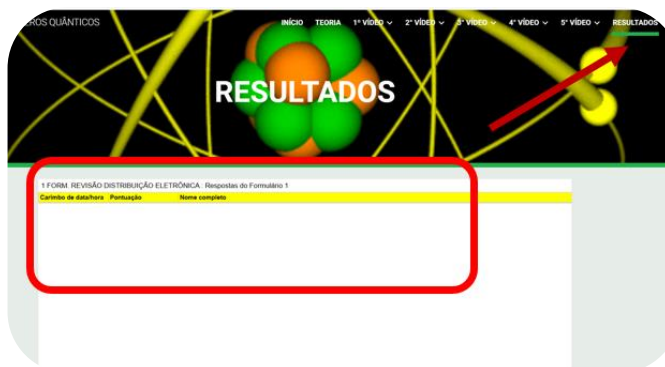
- **DISPOSIÇÃO DOS RESULTADOS: VERIFICAÇÃO DA APRENDIZAGEM**

O desempenho dos estudantes referente aos questionários de verificação da aprendizagem, respondidos após cada uma das 5 animações, fica disponível no menu como resultados, conforme mostrado na Figura 13, que contemplam toda a etapa de avaliação quantitativa.

Vale lembrar que cada uma das cinco animações contém um questionário específico sobre o seu conteúdo, ou seja, são

cinco animações e cinco formulários com as questões para verificação da aprendizagem quantitativa dos estudantes.

Figura 13: Planilha de resultados.



Fonte: Autor (2023).

Conforme indicado pelas setas, as respostas são mostradas imediatamente após responderem aos questionários, disponibilizando a data e a hora que o aluno respondeu o questionário, a pontuação alcançada pelo aluno e o seu nome completo, viabilizando todo o processo de ensino de números quânticos dentro da própria página.

Cada um dos questionários possui uma planilha que disponibiliza o resultado em tempo real, localizadas sequencialmente no menu resultados. A avaliação sugerida pela proposta de sequência didática da UEPS utilizando um material potencialmente significativo é somativa (qualitativa e quantitativa), que conta com a participação dos estudantes

durante as etapas qualitativas, em especial a realização da leitura científica a partir do artigo “O Ensino do Spin”, e com a etapa de avaliação quantitativa, de acordo com o desempenho nos questionários de verificação da aprendizagem.



6

Capítulo 6: Aplicação do produto

6.1 Espaços utilizados na aplicação do produto

A escola estadual, localizada no município de Cariacica, ES (Imagem 1), na qual foi realizada a pesquisa, conta com 10 turmas de ensino médio regular no turno matutino, 7 turmas de ensino técnico integrado, que são turmas de tempo integral parcial de 7 horas no turno vespertino, 2 turmas de ensino fundamental anos finais, sendo apenas turmas de 9º ano, também no turno vespertino e 5 turmas de EJA noturno.

Imagem 1: Vista frontal da escola.



Fonte: Autor (2023).

A escola conta com 10 salas de aula, biblioteca, quadra poliesportiva, laboratório de Informática (Imagem 2), com computadores de boa qualidade com internet, além de 40 Chromebooks disponíveis para aulas que necessitem de acesso a internet, laboratório de ciência, sala de recursos, atendimento educacional especializado (AEE), além de um amplo espaço

interno e diversos materiais didáticos disponíveis para os professores e alunos.

Imagem 2: Laboratório de informática com acesso à internet.



Fonte: Autor (2023).

O laboratório de informática foi utilizado para o desenvolvimento da pesquisa, o qual possibilitou o acesso para cada estudante de maneira individual, que também utilizaram os fones de ouvido para as animações (Imagem 3).

Imagem 3: Fones de ouvido disponibilizados para cada aluno.



Fonte: Autor (2023).

Cada computador conta com um fone de ouvido para uso em aulas, o que possibilitou que cada aluno pudesse assistir cada uma das animações sem incomodar os demais colegas durante a aplicação da UEPS que assegurou a recursividade.

6.2 Aplicação da metodologia

Para aplicação da proposta metodológica UEPS, foi necessário realizar o acesso à página da internet, criada especificamente como material potencialmente significativo com acesso livre, chamada “Quimi quanti” (Figura 14).

Figura 14: Vista da página inicial do Quimi quanti.



Fonte: Autor (2023).

A página “Quimiquanti, foi desenvolvida para ser acessada de forma intuitiva, simples e de fácil navegação, limitando-se apenas aos conteúdos propostos para a aplicação da metodologia de ensino UEPS dentro da temática dos Números Quânticos.

No primeiro momento, após o estudantes realizarem o acesso e feitas as orientações relacionados aos comandos da página, foi iniciada a primeira e a segunda etapa da metodologia, apresentando o tema proposto de Números Quânticos (etapa 1) e verificação dos conhecimentos prévios/subsunçores (etapa 2), que foi realizada por meio de uma nuvem de palavras (Figura 15), na qual, os estudantes expuseram os assuntos e temas que já tinham ouvido falar anteriormente ou que eles já possuíam algum conhecimento prévio advindo do cotidiano.

Figura 15: Verificação dos subsunçores utilizando nuvem de palavras.



Fonte: Autor (2023).

Os estudantes inseriram palavras de cunho relevante para o assunto principal da pesquisa, em que boa parte deles deram ênfase aos conhecimentos prévios advindos da própria vida escolar e do cotidiano. Foi possível observar diversas palavras relacionadas ao estudo do átomo e suas características, como elétron, íons, camadas, tabela periódica, distribuição eletrônica, entre outras, nas quais os estudantes expuseram para a turma a proveniência de cada subsunçor elencado.

Todos os 27 estudantes participaram e foi possível perceber, assim, evidências de aprendizagem significativa nesta etapa da aplicação, devido aos subsunçores diretamente relacionados ao tema principal que, segundo Moreira e Masini (2006), são organizadores prévios que servem de pontos de ancoragem para o aprofundamento ou até mesmo para a inserção de um novo conceito.

Na terceira etapa foi realizada a revisão dos conteúdos de distribuição eletrônica, que são pré-requisito para a compreensão dos números quânticos. Essa etapa foi realizada a partir da primeira animação (Imagem 3), disponibilizada diretamente na página conforme orientação de acesso dada nas etapas iniciais da metodologia.



Imagem 3: Estudantes acessando as animações.



Fonte: Autor (2023).

Após os alunos assistirem a animação, foi realizada a avaliação por meio de questionário com questões objetivas, contemplando o conteúdo de distribuição eletrônica e camadas eletrônicas.

Como cada um dos estudantes acessaram à animação de forma individual, cada qual com o seu fone de ouvido, foi possível que diversos estudantes assistissem à animação mais de uma vez, a fim de compreender todos os conceitos nela abordados para posterior resolução do questionário de verificação da aprendizagem. Isso veio de encontro a mais uma evidência da aprendizagem significativa que, segundo Moreira (2012, p. 27), “deve ser predominantemente formativa e recursiva. Isso quer dizer que é necessário buscar evidências de aprendizagem significativa, ao invés de querer determinar se ocorreu ou não”.

O autor ainda enfatiza que é importante a recursividade, isto é, permitir que o aprendiz refaça, mais de uma vez se for o caso, as tarefas de aprendizagem. É importante que os estudantes externalizem os significados que estão captando, que expliquem e justifique, suas respostas (Moreira, 2011).

As respostas dos questionários respondidos pelos estudantes, após assistirem às animações, foram disponibilizadas no menu superior “resultados”, que possibilitou a verificação e comparação dos níveis de aprendizado dos estudantes.

Na quarta etapa, foi realizada a abordagem e discussão do tema geral elevando a um nível mais específico, a partir do acesso à parte teórica (Figura 16), disponível na página.

Figura 16: Embasamento teórico disponível na página “Quimi quanti”



The screenshot shows a web page titled "NÚMEROS QUÂNTICOS" with a navigation bar at the top containing "INÍCIO", "TEORIA", "1º VÍDEO", "2º VÍDEO", and "3º VÍDEO". The main content is as follows:

NÚMEROS QUÂNTICOS

Na mecânica quântica, são necessários três números quânticos para descrever a distribuição dos elétrons no hidrogênio e em outros átomos. Estes números derivam da resolução matemática da equação de Schrödinger para o átomo de hidrogênio e são chamados de número quântico principal, número quântico de momento angular, conhecido como número quântico secundário ou azimutal e número quântico magnético. Estes números quânticos serão usados para descrever os orbitais atômicos e para identificar os elétrons que neles se encontram. Um quarto número quântico, o número quântico de spin, descreve o comportamento de um elétron específico e completa a descrição dos elétrons nos átomos.

O NÚMERO QUÂNTICO PRINCIPAL (n)

O número quântico principal (n) pode ter valores inteiros 1, 2, 3, e assim sucessivamente. Em um átomo de hidrogênio, o valor de n determina a energia de um orbital. Como veremos brevemente, isto não se aplica a átomos de muitos elétrons. O número quântico principal também se relaciona com a distância média entre o elétron e o núcleo em um determinado orbital. Quanto maior for o valor de n, maior será a distância média entre o elétron (em um dado orbital) e o núcleo e, por conseguinte, maior será o orbital, sendo assim, o número quântico principal está associado a qual camada eletrônica o elétron se encontra.

O NÚMERO QUÂNTICO SECUNDÁRIO (l) OU AZIMUTAL (MOMENTO ANGULAR)

O número quântico momento angular (l) está relacionado com o "formato" dos orbitais. Os valores de l dependem do valor do número quântico principal, n. Para um dado valor de n, l tem os valores inteiros possíveis entre 0 e (n - 1). Se n = 1, há apenas um valor possível de l, isto é, l = n - 1 = 1 - 1 = 0. Se n = 2, há dois valores de l: 0 e 1. Se l = 3, há três valores de l: 0, 1 e 2. O valor de l é designado geralmente pelas letras s, p, d, f e assim por diante.

Valores de l	0	1	2	3	4	5
Nome do orbital	s	p	d	f	g	h

Nome do orbital s p d f g h. Assim, se l = 0, temos um orbital s, se l = 1, temos um orbital p, e assim sucessivamente. A sequência das letras (s, p e d) tem uma origem histórica. Os cientistas que estudaram os espectros de emissão tentaram correlacionar as linhas espectrais observadas com os estados de energia

Fonte: Autor (2023).

Os estudantes foram orientados e acessar a aba do embasamento teórico, na qual foi utilizada para uma explicação mais específica do tema de Números Quânticos, apresentado na primeira etapa, de maneira expositiva e dialogada, deixando explícito aos estudantes, também, as competências específicas relacionadas ao conteúdo. Moreira (2010) enfatiza que não se trata de um enfoque dedutivo, mas sim, de uma abordagem na qual o que é mais relevante deve ser introduzido a partir do que foi proposto desde o início.

A quinta etapa, cujo tema foi elevado a um nível mais complexos, contemplou-se a realização da leitura científica (Imagem 4), na qual houve participação unânime dos estudantes. Essa etapa foi realizada com a leitura inicial do artigo “O ensino do spin: uma abordagem integrada a tecnologia e sociedade” (Belançon, 2018) e sua a discussão.

Imagem 4: Realização da leitura científica



Fonte: Autor (2023).

O artigo foi disponibilizado previamente aos estudantes, que realizaram a leitura (a maioria dos estudantes preferiu o texto impresso, para realizarem marcações dos trechos mais relevantes) e, no momento da leitura, sob forma de inscrição ordenada para discussão do tema, todos levantaram questões que possibilitaram a participação coletiva da construção do conhecimento acerca do conteúdo proposto de forma contextualizada, levantando situações-problema voltadas para a aplicação e utilização da química quântica e suas contribuições para a tecnologia e sociedade.

Alguns levantamentos feitos durante a realização da leitura foram muito relevantes, dentro do tema proposto, conforme transcrições de algumas falas dos estudantes:

“Quando a gente fala de elétron, o que me vem à cabeça é a eletricidade, tipo essa que chega nas casas para ligar a luz, televisão, geladeira e outras coisas que temos em casa” (Estudante 11).

“Esse tal de magnetismo me lembra muito aqueles metais que atraem o ferro” (Estudante 23).

“Acho que você quis dizer ímã, né? Uma vez eu vi um vídeo falando sobre um tipo de Trem que levita sobre os trilhos, pois ele tem ímãs nos trilhos. Eles andam muito rápido, acho que a mais de 400 km/h, eu acho” (Estudante 10).

“As bússolas funcionam como um ímã, que apontam pra um lado da terra. Era assim que as pessoas conseguiam ir para os lugares antigamente. Hoje é tudo facinho, só olhar no gps” (Estudante 13).



“Sei lá, véi! Será que os spins, que tem no artigo, tem a ver com os celulares quando a gente toca na tela?” (Estudante 21).

“Parece aquele filme do Homem Formiga, que eles vão para o mundo Quântico, mas lá tem um monte de pessoas muito pequenas e monstros que lutam com eles” (Estudante 8).

As falas dos estudantes sobre o tema, após a realização da leitura, possibilitou a contextualização do tema proposto, sendo possível observar a evidência da aprendizagem significativa, de acordo com Moreira (2011), pois foram capazes de relacionar a teoria com situações reais do cotidiano, visto que o ensino de números quânticos, que está atrelado à estrutura atômica, possui conceitos extremamente teóricos, contudo foi possível perceber uma abordagem interdisciplinar com o conceitos advindo de conteúdos da disciplina de Física.

Pautado nas observações e comentários dos estudantes registrados no diário de bordo durante a realização dessa etapa, foi possível alcançar o objetivo proposto para a leitura científica. Segundo Calzolari, Batisteti e Melo (2020), a leitura científica é um tipo de atuação voltada para práticas educativas, com o objetivo de demonstrar resultados que busquem a máxima aprendizagem de um conteúdo ou tema proposto.

Após a leitura, na sexta etapa, foi realizada a integração dos conteúdos sobre os quatro números quânticos, assistindo às animações as quatro animações sobre números quânticos,

sendo elas assistidas, respectivamente, sobre o número quântico principal, secundário, magnético e spin, disponíveis na página “Quimiquanti” (Figura 17).

Figura 17: Vista do acesso às animações sobre números quânticos.



Fonte: Autor (2023).

Para cada animação assistida na etapa 6, foi respondido um questionário sobre cada números quânticos (etapa 7), iniciando pela animação sobre número quântico principal, em seguida pela animação sobre número quântico secundário, número quântico magnético e, por último, o número quântico spin. Após cada animação, os estudantes responderam um questionário associado ao conteúdo da animação assistida, ou seja, cada animação com um questionário de verificação da aprendizagem em que resultados foram coletados via formulário e disponibilizados, instantaneamente, na parte de resultados, no menu superior da página. Após os estudantes responderem os

questionários, a coleta das respostas foi realizada de forma automática de acordo com as respostas destes estudantes, que foram disponibilizados em tempo real na aba de resultados (Figura 18).

Figura 18: Vista dos resultados dos questionários avaliativos



Carimbo de data/hora	Pontuação	Nome completo
2023/08/08 14:49:21	06/10	Estudante 1
2023/08/08 14:51:59	06/10	Estudante 2
2023/08/08 14:59:00	06/10	Estudante 3
2023/08/08 15:01:27	06/10	Estudante 4
2023/08/08 15:02:50	04/10	Estudante 5
2023/08/08 15:03:14	06/10	Estudante 6
2023/08/08 15:04:59	06/10	Estudante 7
2023/08/08 15:05:02	06/10	Estudante 8
2023/08/08 15:05:03	06/10	Estudante 9
2023/08/08 15:05:39	06/10	Estudante 10
2023/08/08 15:05:47	06/10	Estudante 11
2023/08/08 15:06:13	06/10	Estudante 12
2023/08/08 15:06:17	06/10	Estudante 13
2023/08/08 15:06:36	06/10	Estudante 14

. Fonte: Autor (2023).

Após a finalização de cada formulário e os seus respectivos resultados disponibilizados na planilha e utilizados para verificação da aprendizagem para saber se a UEPS foi exitosa, representada pela etapa 8.

6.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este método demonstrou a necessidade contínua de adaptação das estratégias de ensino para atender às diversas necessidades dos estudantes, especialmente em disciplinas complexas como a química, onde a compreensão de conceitos prévios é fundamental durante o processo de aprendizagem.

Dessa forma, a complexidade intrínseca ao ensino de tópicos especificamente teóricos, como os números quânticos, em turmas heterogêneas, ratifica a necessidade de abordagens personalizadas, que despertem o interesse dos estudantes pelo aprendizado de conceitos científicos de química de maneira abrangente.



Referências Bibliográficas

- ATKINS, P., FRIEDMAN, R. S. **Molecular Quantum Mechanics**. Oxford University Press, 2010.
- AUSUBEL, D. P. **A aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Moraes, 1982.
- _____. **Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva**. Lisboa: Plátano, 2003. 222 p.
- BELANÇON, M. P. O ensino do spin: uma abordagem integrada a tecnologia e a sociedade. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 40, nº 4, e5402, 2018.
- BROWN, T., LEMAY, H. E.; BURSTEN, E. **Química: a ciência central**. 13. ed. Prentice-Hall, 2016.
- CALZOLARI, A et al. **Tertúlia Dialógica Científica: atuação Educativa de êxito para educação Científica e Tecnológica**. *Dialogia*. São Paulo, n. 36, p. 441-457, set/dez. 2020.
- CASTRO, N. M., PERES, N. **Química Quântica: Conceitos e Aplicações**. Unicamp, 2017.
- CHANG, R. **Química Geral: Conceitos Essenciais**. McGraw-Hill, 2010.
- EINSTEIN, A., PODOLSKY, B., & ROSEN, N. Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete? **Physical Review**, 47(10), 777-780, 1935.
- FERREIRA, M. L. G. **Uma proposta de Ensino baseada nos saberes locais para a promoção da Aprendizagem Significativa em Química**. 2020. 165 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2020.
- HOUSECROFT, C., SHARPE, A.G. (2016). **Química Inorgânica**. Bookman, 2016.

- LEE, J. D. **Química Inorgânica não tão Concisa**. 5ª ed., Edgard Blücher: São Paulo, 1999.
- LEVINE, I. N. **Química Quântica: Fundamentos e Aplicações Modernas**. Bookman, 2014.
- MCQUARRIE, D. A. **Quantum Chemistry**. 2. ed. Mill Valley, Califórnia: University Science Books, 2008.
- MERLIM, R. S. et al. **Unidade de ensino potencialmente significativa: análise da aplicação sobre efeito fotoelétrico**. Revista Thema. v.16 n.2. p.284-300. 2019.
- MOREIRA, M. A. **Teorias da aprendizagem**. São Paulo: E.P.U., 1999. 195 p.
- MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. 2. Ed. São Paulo: Centauro, 2006.
- MOREIRA, M. A. Unidades de Ensino Potencialmente Significativas - UEPS. **Aprendizagem Significativa em Revista**. v. 1, n. 2, p. 43-63. 2011.
- SHANKAR, R. **Principles of Quantum Mechanics**. Springer Science & Business Media, 1994.
- SILVERSTEIN, R. M., WEBSTER, F. X., KIEMLE, D. J. **Spectrometric Identification of Organic Compounds**. 8th ed.). Wiley, 2014.
- SKOOG, D. A., HOLLER, F. J., CROUCH, S. R. **Principles of Instrumental Analysis**. 7. ed. Cengage Learning, 2017.
- USBERCO, João. SALVADOR, Edgard. **Química: Volume Único**. 7. ed. São Paulo: Saraiva, 2006. 816 p.
- ZABALA, A. **A avaliação**. In: **A prática educativa: como ensinar**. Porto Alegre: Art Méd, 1998. cap. 8, p. 195-200.
- ZETTLI, N. **Quantum Mechanics: Concepts and Applications**. John Wiley & Sons, 2009.





Apêndices

Apêndice A: Questionários

Questionário sobre Distribuição Eletrônica

Utilize o diagrama abaixo como referência para responder as questões sobre distribuição eletrônica a seguir

Camadas ou níveis	Subníveis (s, p, d ou f)	Número máximo de elétrons por nível
K	1s ²	2
L	2s ² 2p ⁶	8
M	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	18
N	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ¹⁴	32
O	5s ² 5p ⁶ 5d ¹⁰ 5f ¹⁴	32
P	6s ² 6p ⁶ 6d ¹⁰	18
Q	7s ² 7p ⁶	8

QUESTÃO 1: O elemento titânio ($Z=22$) é empregado na produção de aviões Caça, pois possui características de alta resistência ao calor gerado pelo atrito com o ar, devido as altas velocidades alcançadas pelos caças de última geração, assim como também é um material considerado leve (baixa densidade), em relação aos outros metais.



Disponível em: Disponível em: <https://techbreak.ig.com.br/aviao-de-caca-f-15-completa-50-anos-do-primeiro-voo/>

<https://lkalloy.com/pt/application-of-titanium-alloy-in-aviation-industry/>

Com relação ao titânio, pode-se afirmar que a sua distribuição eletrônica termina em

- a) 4s², 5p².
- b) 4s², 3d⁶.
- c) 4s², 3f⁴.
- d) 4s², 3d².
- e) 4s², 4p².

QUESTÃO 2: Dentre os oito elementos químicos mais abundantes na crosta terrestre, o ferro, que possui número atômico 26, figura em quarto lugar com cerca de 5% em massa. Os outros elementos são oxigênio (46,6%), silício (26,72%), alumínio (8,13%), cálcio (3,63%), sódio (2,83%), potássio (2,59%) e magnésio (2,09%). Esses elementos correspondem aproximadamente a 97,59% da massa da crosta terrestre. É possível, pois, inferir que a crosta terrestre é formada principalmente por compostos de oxigênio na forma de óxidos, hidróxidos e aluminossilicatos.

Excerto de artigo disponível em:

<https://www.scielo.br/j/qn/a/7LP35DWH5m6XKVMckrDtKQc/?lang=pt>

De acordo com as informações disposta no excerto acima, a distribuição eletrônica correta do elemento ferro é

- a) $1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6, 3d^8, 4s^2$.
- b) $1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6, 4s^2, 3d^{10}$.
- c) $1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6, 3d^6, 4s^2$.
- d) $1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6, 4s^2, 3d^6$.
- e) $1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6, 4s^2, 3f^6$.

QUESTÃO 3: A distribuição eletrônica dos elementos traz consigo diversas informações sobre os elementos além da quantidade de elétrons, tais como número atômico, elétrons de



valência, número de camadas, grupo a qual pertence, entre outras informações.

Tabela Periódica Disponível em: www.todamateria.com.br

A Tabela Periódica é um modelo que agrupa todos os elementos químicos conhecidos e suas propriedades. Eles estão organizados em ordem crescente correspondente aos números atômicos (número de prótons).

1	H																	2	He																
3	Li	4	Be											5	B	6	C	7	N	8	O	9	F	10	Ne										
11	Na	12	Mg											13	Al	14	Si	15	P	16	S	17	Cl	18	Ar										
19	K	20	Ca	21	Sc	22	Ti	23	V	24	Cr	25	Mn	26	Fe	27	Co	28	Ni	29	Cu	30	Zn	31	Ga	32	Ge	33	As	34	Se	35	Br	36	Kr
37	Rb	38	Sr	39	Y	40	Zr	41	Nb	42	Mo	43	Tc	44	Ru	45	Rh	46	Pd	47	Ag	48	Cd	49	In	50	Sn	51	Sb	52	Te	53	I	54	Xe
55	Cs	56	Ba	57-71	72	Hf	73	Ta	74	W	75	Re	76	Os	77	Rh	78	Pt	79	Au	80	Hg	81	Tl	82	Pb	83	Bi	84	Po	85	At	86	Rn	
87	Fr	88	Ra	89-103	104	Rf	105	Db	106	Sg	107	Bh	108	Hs	109	Mt	110	Ds	111	Rg	112	Cn	113	Nh	114	Fl	115	Mc	116	Lv	117	Ts	118	Og	
				57	La	58	Ce	59	Pr	60	Nd	61	Pm	62	Sm	63	Eu	64	Gd	65	Tb	66	Dy	67	Ho	68	Er	69	Tm	70	Yb	71	Lu		
				89	Ac	90	Th	91	Pa	92	U	93	Np	94	Pu	95	Am	96	Cm	97	Bk	98	Cf	99	Es	100	Fm	101	Md	102	No	103	Lr		

Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/tabela-periodica/>

Considerando que um elemento no estado eletricamente neutro tenha uma distribuição eletrônica $1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^3$, pode-se afirmar, baseado na tabela periódica abaixo, que

- se trata do elemento Mg.
- a distribuição citada é do elemento S.
- o elemento é o P.
- se trata do elemento C.
- o elemento é o Xe.

QUESTÃO 4: O ar atmosférico é uma mistura de diversos gases, entretanto o mais abundante deles é o gás nitrogênio, que possui número atômico 7 e massa igual a 14U. De acordo com as

informações a quantidade de camadas eletrônicas presentes em um átomo de nitrogênio

- a) 3.
- b) 2.
- c) 5.
- d) 1.
- e) 4.

QUESTÃO 5: Uma das aplicações mais recente do xenônio, que possui número atômico 54, foi feita em faróis de veículos. A vantagem é que o dispositivo passa a iluminar três vezes mais, e ainda consome 40% a menos de bateria do que os faróis comuns, além de conferir um aspecto esportivo nos veículos.



Disponível em: <https://autoesporte.globo.com/testes/noticia/2017/05/fiat-argos18-hgt-primeiras-impressoes-ao-volante.ghtml>

Considerando os dados do texto, a distribuição eletrônica do xenônio termina em

- a) 4d¹⁰, 5p⁶.
- b) 3d¹⁰, 4p⁶.
- c) 3d¹⁰, 4d⁶.
- d) 4s², 3d⁶.
- e) 4d⁶, 5p⁶.

Questionário sobre número quântico principal

QUESTÃO 6: Um elemento químico possui a configuração eletrônica indica a existência de 6 camadas eletrônicas e o seu elétron mais energético está na sua camada mais externa, considerando os seus 84 elétrons. De acordo com a mecânica quântica, é possível afirmar que o elemento químico possui

- a) número quântico principal (n) igual a 4.
- b) número quântico principal (n) igual a 6.
- c) número quântico principal (n) igual a 7.
- d) número quântico principal (n) igual a 8.
- e) número quântico principal (n) igual a 2.

QUESTÃO 7: O número quântico X está associado a Y em que se encontra o elétron que se pretende analisar.

As palavras que substituem corretamente as letras X e Y respectivamente são

- a) principal e carga do íon.
- b) secundário e camada mais interna.
- c) principal e camada eletrônica.
- d) secundário e terciário.
- e) principal e secundário.

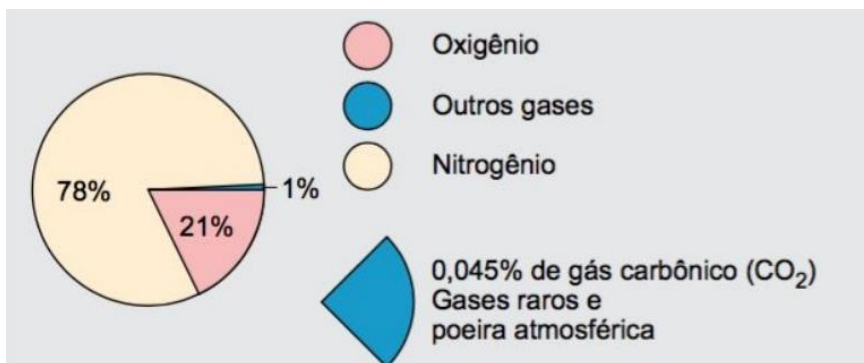
QUESTÃO 8: O elemento hidrogênio e hélio, que fazem parte das reações que ocorrem no sol, possuem número atômico 1 e 2, respectivamente, conforme é possível verificar na tabela periódica abaixo. Considerando o conceito de número quântico principal, o hélio e o hidrogênio possuem, respectivamente, valores de número quântico principal (n), iguais a

- a) 1 e 2.
- b) 2 e 1.
- c) 2 e 2.
- d) 1 e 0.
- e) 1 e 1.

QUESTÃO 9: O ar atmosférico é uma mistura de diversos gases, entretanto o mais abundante deles é o gás nitrogênio (aproximadamente 78%), que possui número atômico 7 e massa igual a 14U. O gás oxigênio, que possui número atômico 8 e



massa igual a 16U e é necessário para a nossa respiração, está presente na atmosfera sob um percentual aproximado de 21%. Os demais gases ficam na faixa de 1% do total da atmosfera.



Disponível em: <https://www.mundoecologia.com.br/natureza/quais-sao-os-gases-que-compoem-a-atmosfera/>

De acordo com o texto, o número quântico principal (n) do elétron mais energético do elemento necessário para a nossa respiração é igual a

QUESTÃO 10: QUESTÃ 10 - Observe as distribuições eletrônicas a seguir:

I - $1s^2, 2s^2, 2p^1$.

II - $1s^2, 2s^2, 2p^3$.

III - $1s^2, 2s^2, 2p^5$.

IV - $1s^2, 2s^2, 2p^2$.

V - $1s^2, 2s^2, 2p^4$.

O número quântico principal para o elétron mais energético são iguais em

- a) Todos.
- b) I e II.
- c) II e IV.
- d) IV e V.
- e) Nenhum.

Questionário sobre número quântico secundário azimutal

QUESTÃO 11: O número quântico azimutal está associado a uma informação específica dentro da mecânica quântica, por isso, é possível afirmar que tal número quântico possui relações diretas com

- a) os níveis de energia K, L, M, N, O, P e Q.
- b) com a quantidade de elétrons da camada de valência.
- c) Com o total de elétrons em cada camada, que são 2, 8, 18, 32, 32, 18, e 8.
- d) Com os subníveis de energia S, P, D e F.
- e) Com o sentido de rotação dos spins em cada orbital.



QUESTÃO 12: Das sequências de valores abaixo, qual delas representa aos valores do número quântico azimutal, respectivamente, de acordo com a mecânica quântica?

- a) 0, 2, 4 e 6.
- b) 1, 2, 4 e 6.
- c) 1, 3, 5 e 7.
- d) 0, 1, 2 e 3.
- e) 1, 4, 6 e 8.

QUESTÃO 13: O elemento cobre, considerando seu número atômico e a sua distribuição eletrônica, possui, para o seu elétron mais energético, valores dos números quânticos principal e azimutal, respectivamente, iguais a

- a) 1 e 2.
- b) 2 e 3.
- c) 3 e 4.
- d) 4 e 2.
- e) 2 e 1.

QUESTÃO 14: Observe a tabela abaixo, na qual os números máximos de elétrons por subnível são determinados por $2 \cdot (2 \cdot \ell + 1)$, onde ℓ é o número quântico secundário azimutal.

SUBNÍVEL	ℓ	Número máximo de elétrons
s	0	$2(2 \cdot 0 + 1) = 2$
p	1	$2(2 \cdot 1 + 1) = 6$
d	2	$2(2 \cdot 2 + 1) = 10$
f	3	$2(2 \cdot 3 + 1) = 14$

Disponível em:

https://www.profpc.com.br/n%C3%BAmeros_qu%C3%A2nticos.htm

Se fosse necessário definir um possível elemento com mais de 118 elétrons e se fizesse necessário o uso de mais um subnível além do S, P, D e F ou seja, se fosse necessário utilizar um subnível teórico G, a quantidade máxima de elétrons neste subnível teórico, seguindo o raciocínio quântico da tabela será

- 16.
- 18.
- 20.
- 22.
- 24.

QUESTÃO 15: Observe as distribuições eletrônicas a seguir:

I - $1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^1$.

II - $1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^3$.

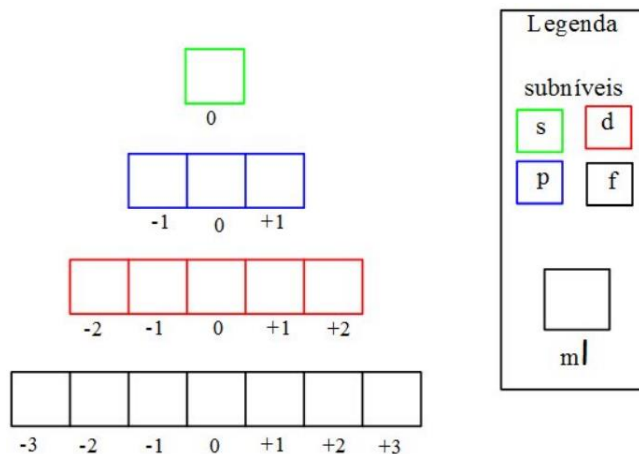
III - $1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^5$.

O número quântico secundário azimutal (ℓ) para os elétrons mais energéticos dos elementos I, II e III são, respectivamente

- a) 1, 2 e 3.
 b) 3, 3 e 3.
 c) 0, 1 e 2.
 d) 4, 3 e 8.
 e) 2, 2 e 2.

Questionário sobre número quântico magnético

QUESTÃO 16: O número quântico magnético (m) do elétron mais energético do elemento químico titânio, cujo número atômico é 22 e sua distribuição eletrônica termina em $4s^2, 3d^2$, considerando os conceitos da mecânica quântica, é



Disponível em: <https://www.infoescola.com/quimica/numeros-quanticos/>

- a) 2.
 b) -1.
 c) 0.

d) +1.

e) +2.

QUESTÃO 17: O menor e o maior valor possível de números quânticos para um orbital que comporte um total de 14 elétrons, são, respectivamente

a) - 2 e +2.

b) - 3 e +3.

c) - 4 e +4.

d) - 5 e +5.

e) - 7 e +7.

QUESTÃO 19: O hidrogênio possui apenas 1 elétron, por isso, sua configuração eletrônica se resume em apenas $1s^1$. De acordo com a mecânica quântica, seus números quânticos principal (n), secundário ou azimutal (ℓ) e magnético (m) para o seu único elétron são, respectivamente

a) $n=1$, $\ell=0$ e $m=0$.

b) $n=1$, $\ell=0$ e $m=1$.

c) $n=1$, $\ell=1$ e $m=0$.

d) $n=1$, $\ell=1$ e $m=1$.

e) $n=0$, $\ell=0$ e $m=0$.

QUESTÃO 20: A figura abaixo possui informações sobre o gás nobre Og (Oganessônio).



Características

Classificação: gás nobre

Número atômico: 118

Distribuição eletrônica: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^{10} 5p^6 6s^2 4f^{14} 5d^{10} 6p^6 7s^2 5f^{14} 6d^{10} 7p^6$

Massa atômica: 294 u

Raio atômico: 152 pm

Propriedades físicas e químicas

Estado físico: gasoso

Ponto de fusão (PF): 23,5 KJ/mol

Ponto de ebulição (PE): 30 k

Densidade: 13,65 Kg/m³

Disponível em:

<https://tabelaperiodicaifspcatanduva.wordpress.com/2018/04/08/oganesonio/>

De acordo com a figura, o número quântico magnético (m) para o seu elétron mais energético é

- a) -2.
- b) -1.
- c) 0.
- d) +1.
- e) +2.

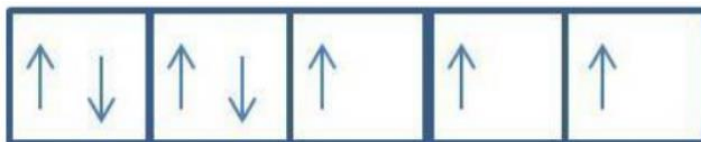
Questionário sobre número quântico spin

QUESTÃO 21: O número quântico spin (m_s) pode ser definido por

- a) o número de orbitais presentes em uma espécie química.

- b) a carga do íon, quando negativa, por se tratar de um elétron.
- c) ao sentido de rotação dos spins em um dado orbital.
- d) a quantidade de elétrons de um elemento metálico.
- e) ao subnível menos energético de um átomo.

QUESTÃO 22: De acordo com a regra de Hund, também conhecida como o princípio de máxima multiplicidade, que rege o preenchimento dos spins nos orbitais na ordem correta, o número quântico spin (m_s) para o último elétron inserido no orbital abaixo é



- a) $+1/2$.
- b) $-1/2$.
- c) 0.
- d) -1.
- e) +1.

QUESTÃO 23: O princípio de Exclusão de Pauli estabelece que dois elétrons em um átomo não podem ter todos os quatro números quânticos iguais. Partindo deste princípio, podemos dizer que o hidrogênio (distribuição eletrônica $1s^1$) e o Hélio

(distribuição eletrônica $1s^2$), possuem, para o seu último elétron, valores de números quânticos iguais, com exceção do

- a) número quântico principal (n).
- b) número quântico secundário azimutal (ℓ).
- c) número quântico magnético (m).
- d) Número quântico spin.
- e) Não há exceção e o conjunto de números quânticos do H e do He são iguais

QUESTÃO 24: O hidrogênio possui apenas 1 elétron, por isso, sua configuração eletrônica se resume em apenas $1s^1$. De acordo com a mecânica quântica, seus números quânticos principal (n), secundário ou azimutal (ℓ) e magnético (m) para o seu único elétron são, respectivamente

- a) $n=1, \ell=0, m=0$.
- b) $n=1, \ell=0, m=1$.
- c) $n=1, \ell=1, m=0$.
- d) $n=1, \ell=1, m=1$.
- e) $n=0, \ell=0, m=0$.

QUESTÃO 25: A figura abaixo possui informações sobre o gás nobre Og (Oganessônio).

118 (294)

Og

$[Rn]5f^{14}6d^{10}7s^27p^6$

O conjunto dos quatro números quânticos do último elétron do elemento Oganessônio são, respectivamente

- a) $n=7, \ell=1, m=+1, m_s=+1/2$
- b) $n=6, \ell=3, m=+2, m_s=-1/2$
- c) $n=5, \ell=0, m=+1, m_s=-1/2$
- d) $n=5, \ell=1, m=+3, m_s=+1/2$
- e) $n=6, \ell=2, m=+2, m_s=+1/2$



Apêndice B: Interface do programa de animações

