



UNIFESSPA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE
FÍSICA

LEANDRO CARLOS LIMA FREITAS

**ENSINO DO MODELO ATÔMICO DE BOHR NO ENSINO MÉDIO A PARTIR DA
CONTEXTUALIZAÇÃO COM A ESPECTROSCOPIA ESTELAR E DO USO DO
RPG EDUCACIONAL**

MARABÁ, PA
2021

LEANDRO CARLOS LIMA FREITAS

**ENSINO DO MODELO ATÔMICO DE BOHR NO ENSINO MÉDIO A PARTIR DA
CONTEXTUALIZAÇÃO COM A ESPECTROSCOPIA ESTELAR E DO USO DO
RPG EDUCACIONAL**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em ensino de Física, no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dra. Camila Maria Sitko Meira dos Santos

Co-orientadora: Maria Liduína das Chagas

MARABÁ, PA
2021

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Setorial Campus do Taurizinho (BSCT)**

Freitas, Leandro Carlos Lima

Ensino do modelo atômico de Bohr no ensino médio a partir da contextualização com a espectroscopia estelar e do uso do RPG educacional / Leandro Carlos Lima Freitas; orientadora, Camila Maria Sitko Meira dos Santos. — Marabá: [s. n.], 2021.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), Marabá, 2021.

1. Ensino médio. 2. Modelo atômico de Bohr. 3. RPG educacional.
I. Santos, Camila Maria Sitko Meira dos Santos, orient. II. Título.

CDD: 23. ed.: 539.76

**ENSINO DO MODELO ATÔMICO DE BOHR NO ENSINO MÉDIO A PARTIR DA
CONTEXTUALIZAÇÃO COM A ESPECTROSCOPIA ESTELAR E DO USO DO
RPG EDUCACIONAL**

LEANDRO CARLOS LIMA FREITAS

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em ensino de Física, no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dra. Camila Maria Sitko Meira dos Santos

Co-orientadora: Maria Liduína das Chagas

Data da aprovação: Marabá (PA), ____ de ____ de 2021.

Aprovada por: _____

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Camila Maria Sitko Meira dos Santos
Orientador

Profa. Dra. Cristina Costa Lobo – IESF - Portugal
Membro Externo

Prof. Dr. Caio Maximino de Oliveira - Unifesspa
Membro Interno

Prof. Dr. Jeânderson de Melo Dantas
Membro Interno

AGRADECIMENTOS

Ao meu eterno Deus, pela tua infinita bondade, tua misericórdia em graça e teu olhar de amor é um bálsamo em minha vida por isso, devo tudo a ti.

Minha mãe Aurenice Lima Freitas, teu amor, tuas palavras e orações me confortaram e me fortaleceram durante todo o período de estudo, tu és única.

Minhas irmãs e irmãos, em especial, a Francisca Rodrigues Freitas (*In memoriam*), que não pode presenciar esse momento especial da minha vida. A você, meu eterno carinho e ainda ressalto que nosso amor fraternal é impagável, este é um dos segredos da minha mais profunda alegria de viver.

Aos colegas de turma na qual pude conviver durante esses 2 anos (Cláudio, Claudiana e Midian), a amizade de vocês foi mais que especial para mim.

Aos professores Erico Novaes, Narciso Soares, Rodrigo Géster, Andreia de Lima e Mateus Gomes. Enfim, a todos vocês, mestres e mestras, que fazem do ato de educar um ato de amor, meu muito obrigado, pois suas presenças em minha vida foram de fundamental importância para meu crescimento pessoal, intelectual e profissional.

À minha orientadora e co-orientadora, professora Dra. Camila Maria Sitko e Maria Liduina das Chagas, bondosas amigas, que Deus colocou na minha vida, queridas, minha gratidão não é capaz de demonstrar o que vocês são em Deus para mim.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo fomento a este programa de Pós Graduação.

À UNIFESSPA, pela condução do MNPEF.

“Todo aquele que se dedica ao estudo da ciência chega a convencer-se de que nas leis do Universo se manifesta um Espírito sumamente superior ao do homem, e perante o qual nós, com os nossos poderes limitados, devemos humilhar-nos.”

Albert Einstein

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo ensinar o modelo atômico de Bohr, a partir da perspectiva da Mecânica Quântica, no Ensino Médio, utilizando a contextualização com Astronomia, bem como utilizar a gameficação, a partir da criação de uma aventura de RPG, de modo a oferecer um exemplo de metodologia ativa de ensino nesta área. O produto educacional resultante desta dissertação é a criação de uma aventura de RPG com a temática em questão. Acredita-se que o uso do jogo de RPG como estratégia de ensino nas aulas de Física possa despertar o interesse dos alunos pela disciplina, bem como potencializar uma aproximação dos conceitos teóricos de Física em situações vivenciadas por eles. O referencial teórico está apoiado no alinhamento construtivista de Biggs, e na teoria sociointeracionista de Vygotsky. Os instrumentos de avaliação foram os questionários pré e pós- aplicação, e observação de atitudes durante o jogo de RPG. Com as análises dos materiais coletados, bem como das observações feitas ao longo do processo de sequenciamento didático e aplicação do jogo, foi possível perceber se houve indícios de aprendizagem, por parte dos alunos.

Palavras-chave: Modelos atômicos; Modelo de Bohr; Espectroscopia estelar; Role Playing Game (RPG); Sociointeracionismo.

ABSTRACT

This work aims to teach Bohr's atomic model, from the perspective of Quantum Mechanics, in High School, using contextualization with Astronomy, as well as using gamification, from the creation of an RPG adventure, in order to offer an example of active methodology teaching in this area. The educational product resulting from this dissertation is the creation of an RPG adventure with the theme in question. It is believed that the use of the RPG game as a teaching strategy in Physics classes can awaken the students' interest in the discipline, as well as potentiate an approximation of the theoretical concepts of Physics in situations experienced by them. The theoretical framework is based on the Biggs' constructivist alignment and on Vygotsky's sociointeractionism. The assessment instruments were the pre and post-application questionnaires and observations of attitudes during the game. With the analysis of the collected materials, as well as the observations made throughout the process of didactic sequencing and application of the game, it was possible to perceive if there were signs of learning, by the students.

Keywords: Atomic models; Bohr model; Stellar spectroscopy; Role Playing Game (RPG); Sociointeractionism.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Modelo de espectroscópio idealizado por Bunsen e Kirchhoff para a observação de espectros emitidos por vários elementos.....	15
Figura 2 - Espectros de emissão de diferentes elementos químicos	16
Figura 3 - Modelo atômico de Thomson.....	19
Figura 4 - A falha no modelo atômico de Rutherford. Pelas leis da eletrodinâmica, havendo a emissão da luz, os elétrons perderiam energia e caíram em direção ao núcleo.....	22
Figura 5 - experimento de Rutherford..	23
Figura 6 - Órbita circular no átomo de um único elétron.	28
Figura 7 - Ilustração para o espectro do átomo de hidrogênio	29
Figura 8 - Séries representando a transição de níveis de energia do átomo de hidrogênio.....	30
Figura 9 - Exemplo de formação de linhas de absorção e de emissão	323
Figura 10 - Representação do experimento de Stern-Gerlach.....	36
Figura 11 - Relação entre a cor (frequência) de uma estrela e a temperatura da superfície para três tipos diferentes de estrelas.....	40
Figura 12 - (a) Os níveis de energia do átomo de hidrogênio suas transições atômicas. (b) Espectros de estrelas, destacando os elementos presentes em suas fotosferas.....	42

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - As principais séries espectroscópicas.....	31
Quadro 2 - As principais séries espectroscópicas.....	34
Quadro 3 - Classificação das estrelas em função da temperatura.....	41
Quadro 4 - Relação dos artigos encontrados nas principais revistas acadêmicas....	50
Quadro 5 - Análise dos artigos selecionados.....	51
Quadro 6 - O quadro apresenta algumas respostas dos alunos com relação a como entendem que o aprendizado em Física seria mais significativo.....	74
Quadro 7 - O quadro apresenta algumas respostas dos alunos com relação a que tipo de metodologia os alunos acham que seriam bem empregada no ensino e aprendizagem em Física.....	75
Quadro 8 - Respostas dos alunos sobre seus conhecimentos acerca de jogos de RPG.....	77
Quadro 9 - Respostas dos alunos, quando perguntado se eles já haviam participado de algum jogo de RPG.....	78
Quadro 10 - Respostas dos alunos, quando perguntado se eles já haviam participado de algum projeto de ensino com uma abordagem diferenciada em Física.....	79
Quadro 11 - O quadro apresenta as respostas dos alunos com relação a experiências de aprendizagem que eles tiveram com a aplicação do RPG.....	80
Quadro 12 - O quadro apresenta as respostas dos alunos com relação a pergunta se eles estariam dispostos a participarem de outra aventura de RPG com o objetivo de reforçar os conteúdos.....	81
Quadro 13 - O quadro mostra uma comparação entre as respostas dos alunos em relação a quais elementos químicos são predominantes em uma estrela.....	82
Quadro 14 - O quadro mostra uma comparação entre as respostas dos alunos em relação as técnicas de análises usadas para identificar a composição química de uma estrela.....	85
Quadro 15 - O quadro apresenta as respostas dos alunos sobre o átomo e seus componentes e a relação com as estrela.....	86
Quadro 16 - O quadro apresenta as respostas dos alunos sobre os principais conceitos de Física, considerados essenciais utilizados na aventura de RPG.....	87
Quadro 17 - Opiniões dos alunos em relação aos novos conhecimentos adquiridos com a aplicação do RPG.....	88

LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 1 - O gráfico representa as respostas dos alunos com relação à importância do ensino de Física. 73
- Gráfico 2 - O gráfico representa as respostas dos alunos ao modo como eles relacionam o ensino de Física Moderna aos fatos do dia-a-dia. 76
- Gráfico 3 - Concepção pré e pós dos alunos, respectivamente, ao serem perguntados sobre a temperatura das estrelas vermelhas. 83
- Gráfico 4 - Concepção pré e pós dos alunos, respectivamente, ao serem perguntados sobre de onde vem o material que compõe as estrelas.....83
- Gráfico 5 - Respostas iniciais e finais dos alunos em relação ao brilho emitido pelas estrelas.....83

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	O ÁTOMO DE HIDROGÊNIO, LINHAS ESPECTRAIS E A ASTRONOMIA	15
2.1	Início da espectroscopia.....	15
2.2	Modelos Atômicos	18
2.2.1	Modelo atômico de Thomson	19
2.2.2	Modelo de Rutherford.....	21
2.3	Mecânica Quântica	24
2.4	O átomo de Bohr	26
2.4.1	O espectro atômico de Hidrogênio	29
2.4.2	Os Números Quânticos e o átomo de hidrogênio.....	34
2.5	A relação das linhas espectrais do átomo de hidrogênio com a Astronomia	37
3	PANORAMA DO USO DO RPG NO ENSINO DE FÍSICA	45
3.1	O RPG e o Ensino de Física.....	45
3.2	O estado da arte.....	48
4	A TEORIA CONSTRUTIVISTA	55
4.1	Construtivismo e Ensino	55
4.2	As contribuições de Vygotsky na teoria construtivista	58
4.3	O Alinhamento Construtivista	60
5	PERCURSOS METODOLÓGICOS	62
5.1	Classificação da pesquisa e Descrição do ambiente de Aplicação do Produto Educacional	62
5.2	Etapas de aplicação da sequência didática e do produto educacional	64
5.2.1	Os questionários pré e pós- sequência didática	64
5.2.2	As etapas da sequência didática	67
5.2.2.1	1ª Aula	67
5.2.2.2	2ª aula	68
5.2.2.3	3ª aula	69
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	71
6.1	A estrutura, o contexto e os sujeitos da aplicação do produto.....	71
6.2	Análise pré-aplicação.....	72
6.3	Análise durante e pós-aplicação	79
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	90
	REFERÊNCIAS	93
	ANEXO A – COMPROVANTE DE APROVAÇÃO NO COMITÊ DE ÉTICA	98
	APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO PRÉ-SEQUÊNCIA DIDÁTICA	99
	APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO PÓS-APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA	101
	APÊNDICE D – O PRODUTO EDUCACIONAL	103

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO

A física, enquanto componente curricular e parte integrante do eixo das ciências da natureza, tem muito a contribuir, na perspectiva de ensino e aprendizagem, para a formação do aluno como cidadão crítico a respeito do mundo em que vive. Neste sentido, a Base Nacional Comum Curricular (2018) propõe que os conceitos relacionados à Física, assim como dos outros demais componentes (Biologia e Química), sejam introduzidos desde o Ensino Fundamental, e quando o aluno chegar no Ensino Médio, apenas consolide esses conceitos que foram trabalhados anteriormente.

A adoção dessa perspectiva em longo prazo pode ser eficaz no sentido de sanar as deficiências do atual cenário que envolve o ensino de Física, tendo em vista que a realidade aponta dados de que os alunos ainda apresentam bastante dificuldade em compreender os conteúdos aplicados em Física; não conseguem estabelecer uma relação entre o saber físico e um fenômeno presente em seu cotidiano.

A não afinidade entre aluno e a disciplina faz com que o processo de ensino e aprendizagem se torne um tanto insatisfatório, e em função disso, gera altos índices de reprovação, defasagem idade/série, e por fim abandono dos estudos, como é colocado por Pena e Mattos (2012). Nas concepções dos mesmos autores, eles ainda colocam que uma das razões responsáveis pelo aumento desses índices é o modelo passivo de ensino, que é difundido nos ambientes educacionais, que se apoiam ainda em práticas tradicionais de ensino, levando os estudantes a não interagirem de modo significativo, revelando assim que o estímulo maior é a nota, e não a aquisição do conhecimento.

É notável que o ensino de Física tenha sido pouco motivador aos discentes, em função de muitos fatores, entre eles a falta de conectividade entre o conteúdo e a realidade do aprendiz, a precária formação docente, pois muitos ministram a disciplina sem serem formados na área. Em conjunto com esses apontamentos, pode-se também ressaltar que nas escolas, a Física ensinada é apenas aquela de modelo clássico, pouco é ensinado Física Moderna e Contemporânea aos estudantes de Ensino Médio, apesar das indicações dos documentos oficiais

exigirem que sejam ensinados tópicos de Física Moderna e Contemporânea no nível médio, uma vez que esta é um elemento cada vez mais presente no cotidiano do aluno.

Além disso, o ensino de Astronomia é outro ramo pouco privilegiado, sendo, porém, um assunto que motiva muito os alunos, fazendo com que estes instiguem suas curiosidades, ampliem seus conhecimentos dentro da Física, entre muitos outros benefícios.

Baseado nesse contexto, neste trabalho é proposta uma junção do ensino que envolve os conhecimentos da Física, bem como da Química, em específico o modelo atômico de Bohr, contextualizado com a Astronomia. O desenvolvimento deste trabalho apoiar-se-á nas metodologias ativas de ensino e aprendizagem, as quais trata-se de um processo amplo, tendo como característica fundamental a inserção do aluno no centro do processo educativo, utilizando assim a experimentação, a argumentação e a gamificação, a partir do jogo de RPG educacional como estratégia capaz de impulsionar o ensino e aprendizagem dos conceitos abordados neste trabalho.

Dessa forma, tem-se que o objetivo deste trabalho é ensinar o modelo atômico de Bohr, a partir da perspectiva da Mecânica Quântica, no Ensino Médio, utilizando a contextualização com Astronomia, bem como utilizar a gamificação, a partir da criação de uma aventura de RPG, de modo a oferecer um exemplo de metodologia ativa de ensino nesta área.

Este trabalho está dividido em oito capítulos. No primeiro, tem-se a introdução, mostrando uma visão geral do trabalho. O segundo capítulo, de caráter teórico, trata dos conteúdos conceituais de Astronomia/Física, onde serão feitas abordagens sobre os modelos atômicos (Thomson, Rutherford e Bohr), linhas espectrais e a contextualização com a Astronomia.

No capítulo três, é feito um levantamento de como tem sido feito e utilizado RPG na perspectiva do ensino de Física nos últimos cinco anos, o qual resultou numa publicação de artigo na Revista Ensino & pesquisa. O capítulo quatro traz o referencial teórico educacional, o qual este trabalho está baseado, que é o construtivismo, baseado na teoria sociointeracionista de Vygotsky, além de alinhamento construtivista de Biggs.

O capítulo cinco retrata a abordagem metodológica utilizada neste trabalho, tanto com relação ao passo a passo seguido para a aplicação de toda a sequência didática, bem como à metodologia que será utilizada para analisar os dados obtidos no sequenciamento didático. No mesmo capítulo são comentados os questionários pré e pós-aplicação, as observações nas falas e atitudes dos alunos durante a aplicação do produto educacional.

No capítulo 6, são apresentados os resultados e discussões acerca da aplicação do produto educacional, onde procurou-se dar ênfase nas falas dos alunos, observadas a partir das respostas dos questionários e nas atitudes durante o jogo de RPG.

Finalmente no capítulo 7, têm-se as considerações finais sobre o trabalho realizado, no qual é ressaltada sua importância, bem como suas contribuições e perspectivas futuras para o ensino de Física a partir deste tipo de metodologia.

CAPÍTULO 2

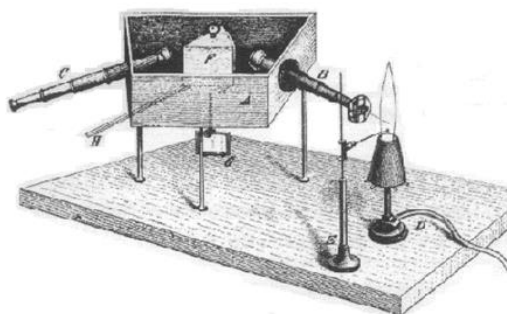
2 O ÁTOMO DE HIDROGÊNIO, LINHAS ESPECTRAIS E A ASTRONOMIA

Neste capítulo, são abordados os conteúdos conceituais que serão utilizados como base para a sequência didática, bem como para a construção e execução do produto educacional.

2.1 Início da espectroscopia

No início do século XX, foi possível construir hipóteses em relação à quantização de energia, por meio de pesquisas com bases experimentais. A partir daí, começaram a serem estabelecidos os primeiros conceitos para o entendimento da formação dos espectros, os quais podem ser entendidos como distribuições de ondas eletromagnéticas, sendo que algumas delas podem ser visíveis, enquanto outras não, variando assim de acordo com a frequência e o comprimento de onda, característico para cada tipo de radiação. Esses estudos propiciaram ainda mais conhecimento sobre a estrutura atômica e a natureza da luz. Muitas dessas ideias estavam ligadas ao desenvolvimento da investigação sobre as radiações emitidas por materiais sólidos e gases. Neste sentido, é possível destacar o trabalho pioneiro dos cientistas alemães Robert Wilhelm Bunsen (1811-1899) e Gustavo Kirchhoff (1824-1877), onde estes criaram um aparato capaz de observar espectros de diferentes elementos, denominado espectroscópio, conforme mostra a Figura 1.

Figura 1 - Modelo de espectroscópio idealizado por Bunsen e Kirchhoff para a observação de espectros emitidos por vários elementos.

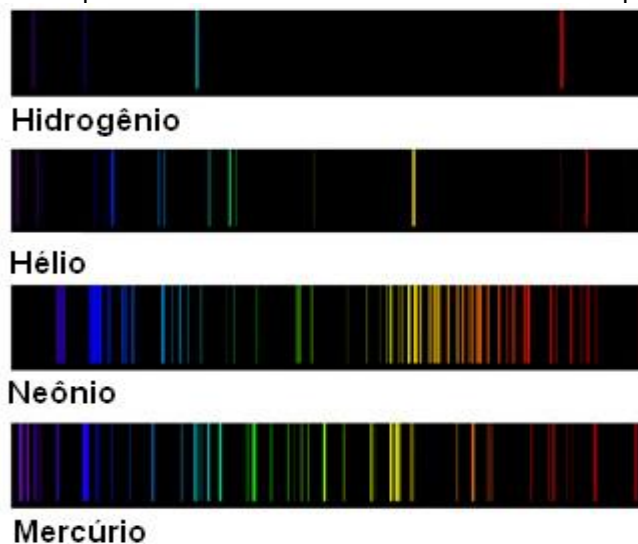


Fonte: Caruso & Oguri (2006).

Conforme mostra a figura 1, através do uso de uma chama, foi possível realizar as primeiras análises espectroscópicas: várias substâncias eram levadas à fonte de calor (chama), e cada uma delas dava origem a um espectro de emissão característico, que é o análogo a uma impressão digital, única para cada elemento.

Os espectros de emissão produzem linhas cintilantes, sendo que estas se formam a partir do aquecimento de um gás transparente, ou seja, pouco denso. Compreende-se também que o número de espectros, bem como os tipos de cores presentes nessas linhas serão geradas em função dos elementos químicos contidos no gás. Na Figura 2, tem-se um exemplo desse fenômeno.

Figura 2 - Espectros de emissão de diferentes elementos químicos.



Fonte: Disponível em: <https://sites.google.com/site/cursodequimicabasica/o-atomo-e-o-conceito-de-elemento-quimico>.

Esses espectros projetados em um anteparo ou visualizados por um microscópio apresentavam-se, em geral, para os gases monoatômicos, como um conjunto de linhas espaçadas e paralelas, e para os gases de dois ou mais átomos, apresentavam-se em bandas contínuas (CARUSO; OGURI, 2006).

Quando um elemento químico era colocado sobre a chama, as cores emitidas eram as da substância, e não da chama. Gustav Robert Kirchhoff, físico e discípulo de Bunsen, que já havia formulado as leis que governam as voltagens e correntes em circuitos elétricos, que levam seu nome, em 1845, as chamadas Leis de Kirchhoff que geralmente são empregadas em circuitos elétricos mais complexos, como nos circuitos com mais de uma fonte e de resistores, estando eles em série ou em paralelo.

Foi sugerido, em 1856, que as cores seriam mais bem distinguidas se passadas através de um prisma, a partir do qual poderia ser analisada a decomposição da luz, fazendo assim uma melhor distinção em relação aos espectros, que variavam entre as cores vermelha e violeta.

Kirchhoff e Bunsen colocaram um prisma em frente a um conjunto de lentes e passaram a identificar e relacionar as linhas com os elementos químicos. Foi observado que os gases quentes não emitiam um espectro contínuo: eles descobriram que cada elemento gerava uma série de linhas diferentes, como o neônio, por exemplo, que apresentava linhas no vermelho, o sódio, que tinha linhas no amarelo, e o mercúrio, que tinha linhas no amarelo e no verde. Essas linhas eram todas brilhantes, diferentes das linhas do fabricante de instrumentos de vidro Joseph Von Fraunhofer (1787-1826), que eram escuras (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2005).

Os trabalhos desenvolvidos por Fraunhofer no processo de fabricação de vidros utilizavam linhas do espectro solar tinham como objetivo calibrar os instrumentos produzidos. Sendo assim, as linhas do espectro solar eram determinantes nesse processo. Com esse tipo de atividade foi possível que o fabricante fizesse a contagem de 574 linhas escuras (absorção) no espectro solar, que somente depois vieram ser denominadas de linhas de Fraunhofer. Do total de linhas observadas, Fraunhofer nomeou 324 com letras maiúsculas (A, B, C ...) as linhas mais fortes e, minúsculas, as mais fracas. A ordem se iniciava com A no vermelho. Joseph Fraunhofer também foi responsável por fazer observações nas linhas nos espectros das estrelas Sirius, Castor, Pollux, Capella, Betelgeuse e Procyon (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2005).

Retomando o experimento de Kirchhoff, através das experiências observadas, este teve o cuidado de classificar os espectros, para assim determinar a composição de uma mistura de elementos, sendo que tal classificação define o tipo de espectro estudado. Por exemplo, os espectros de absorção, no qual uma fonte de radiação fornece um espectro contínuo, ao passar por um gás a temperatura mais baixa, tem linhas absorvidas pelo gás, deixando uma imagem de um espectro contínuo, com pequenas faixas escuras. O número e a posição dessas linhas dependem dos elementos químicos presentes no gás. A grande utilidade desse tipo de espectro é

que permite que sejam detectadas quantidades mínimas de certas substâncias em uma amostra, através da análise espectral.

O gás mais frio tende a absorver mais radiação do que emite e, portanto, gera linhas escuras. No entanto, é importante notar que estas não significam ausência de luz, somente menos contraste; essa complexidade depende de se o gás está em equilíbrio ou não. Se estiver em equilíbrio, isto é, nem aquecendo, nem esfriando, o gás absorve a radiação vinda em sua direção e a reemite em todas as direções, causando um decréscimo de fluxo na direção da fonte. Caso não esteja em equilíbrio, o gás aquece. Já no caso dos espectros de emissão, o gás, com elevada temperatura e densidade inferior, passa a emitir radiação. Em consequência desse fenômeno (radiação), formam-se linhas brilhantes, sendo que estas correspondem a um dado comprimento de onda.

Os elementos químicos, de acordo com sua natureza, produzem linhas em comprimentos de onda distintos, como no caso visto na figura 2. Portanto, essas linhas nos fornecem informação sobre a composição química presente no gás que emitiu a luz.

Com o passar dos tempos, outros cientistas contribuíram para o estudo da espectroscopia, entre eles, o astrônomo sueco Anders Jonas Angstrom (1814-1874), que, fazendo testes de aumento de precisão para a medida do comprimento de onda, foi capaz de identificar as linhas de Hidrogênio no Sol, embora a identificação do elemento hidrogênio houvesse sido feita em 1766 pelo físico e químico inglês Henry Cavendish (1731-1810). Em 1868, o astrônomo inglês Sir Joseph Norman Lockyer (1836-1920) descobriu uma linha inexplicada no espectro do Sol, que foi identificada como um novo elemento químico, o hélio. Sabe-se atualmente que o hélio é o segundo elemento mais abundante no Universo, sendo o hidrogênio o primeiro.

2. 2 Modelos Atômicos

A explicação, no entanto, para como e por que tais linhas apareciam nos espectros não era conhecida, pois para tanto, era necessária a compreensão da estrutura atômica, a qual ainda em fase de estudos e proposição de modelos.

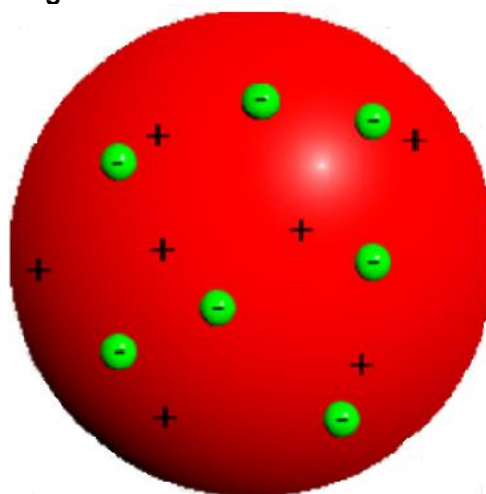
Assim, no século XX, muitos trabalhos foram desenvolvidos na tentativa de se buscar uma explicação para a estrutura atômica. Para tanto, cabe destacar os

trabalhos dos cientistas Ernest Rutherford (1871-1937), que em 1909, juntamente com Johannes (Hans) Wilhelm Geiger (1882-1945) e Ernest Marsden (1889-1970), ao realizarem experimentos através do bombardeamento de folhas de ouro com partículas alfa (íons de hélio), obtiveram como resultado a conclusão que 1 em cada 20000 partículas incidentes eram refletidas na mesma direção de incidência. Essa análise dos resultados experimentais publicados em 1911 chegava à conclusão de que o átomo seria constituído por um núcleo duro de carga positiva, e um imenso espaço quase vazio, no qual os elétrons orbitariam o núcleo, “presos” por forças eletromagnéticas.

2.2.1 Modelo atômico de Thomson

O modelo de Joseph John Thomson (1856-1940), proposto em 1904, consistia basicamente em considerar o átomo como uma distribuição esférica uniforme hipotética de raio finito e carga positiva, contendo um grande número de elétrons negativos puntiformes localizados no interior da esfera. Em seu modelo, Thomson supôs que a forma da distribuição de carga positiva fosse esférica, com um raio da ordem de grandeza de 10^{-10} m. Devido à repulsão mútua, os elétrons estariam uniformemente distribuídos na esfera de carga positiva. A figura 3 mostra esse modelo de átomo, conhecido popularmente por “pudim de passas”, devido aos elétrons distribuídos na superfície, como passas em um pudim.

Figura 3 - Modelo atômico de Thomson.



Fonte: Retirado de <https://www.gratispng.com/png-9ncpjy/>.

A esfera de carga positiva não ofereceria resistência ao movimento dos elétrons, por este ter uma massa muito pequena e inerte, tanto do ponto de vista

químico, quanto do ponto de vista espectroscópico (PARENTE; SANTOS, 2013). A sua função, no entanto, seria a de prover a força (elétrica) de atração e manter os elétrons confinados. Os elétrons formariam arranjos geométricos bidimensionais ou tridimensionais, que poderiam ser estáticos ou dinâmicos.

Através de seu modelo atômico, Thomson foi capaz de explicar a emissão de radiação por corpos a uma temperatura maior que o zero absoluto, sendo que a uma temperatura maior que zero absoluto, todo corpo emite radiação eletromagnética, havendo assim perdas de energia e como consequência tende a diminuir sua temperatura. Além disso, tal modelo teve uma primeira explicação qualitativa acerca de algumas regularidades sobre a Tabela Periódica.

Entretanto, não foi capaz de explicar satisfatoriamente alguns resultados importantes, sobre a estabilidade da matéria, como no caso do desvio de um feixe de partículas α por uma lâmina metálica delgada, e a regularidade dos espectros discretos de descargas em gases (CARUSO; OGARI, 2013).

Com relação à emissão de radiação, em um átomo no estado de menor energia possível, os elétrons estariam fixos em suas posições de equilíbrio. Em átomos excitados como, por exemplo, os que estão presentes em um material a uma elevada temperatura, os elétrons vibrariam em torno de suas posições de equilíbrio. Como a teoria do eletromagnetismo prevê que um corpo carregado acelerado, como, por exemplo, um elétron vibrando, emite radiação eletromagnética, esse aspecto estaria explicado pelo modelo de Thomson. Sendo assim, era possível entender qualitativamente a emissão de radiação por átomos excitados com base no modelo de Thomson (EISBERG; RESNICK, 1979). No entanto, faltava concordância quantitativa para explicar teoricamente estes espectros observados experimentalmente.

Como a emissão de radiação por um corpo é um dado empírico, é possível concluir que no modelo de Thomson os elétrons, estão acelerados no interior do átomo, e por isso, perdem energia, emitindo radiações eletromagnéticas. Verifica-se também que a concepção de átomo como um sistema de partículas carregadas ou em movimento acelerado, remete ao problema da estabilidade dos sistemas atômicos (CARUSO; OGARI, 2006).

Thomson admitia que a distribuição positiva de cargas não possuía massa. Nesse caso, a massa atômica deveria ser dada pela massa do número total de

elétrons constituintes no átomo. Essa hipótese defendida pelo cientista mostrou-se equivocada, quando a mesma passou a ser confrontada pelos experimentos de Rutherford, onde os experimentos de dispersão de partículas α provocados pela incidência de um feixe dessas partículas sobre uma lâmina delgada. A partir de então, ficou comprovada a possibilidade de espalhamento para ângulos entre a direção de incidência e de espalhamentos maiores que 90° , e isto, portanto não era explicado de modo esclarecedor no modelo de Thomson.

Quanto às linhas espectrais, não era interesse de Thomson tentar explicá-las, pois, na época, seus estudos estavam muito mais centrados nos problemas das regularidades da tabela periódica de Mendeleiev, ficando assim a critério de Rayleigh (1842-1919), em 1906, calcular as frequências das raias espectrais a partir do modelo proposto por Thomson. Este estendeu o número de elétrons desse modelo para o infinito, considerou a distribuição de cargas negativas como um fluido, e encontrou soluções oscilatórias cujas frequências das raias espectrais ν dependeriam de números inteiros n , conforme a Equação 1.

$$\nu \propto 1 - \frac{1}{2n} \quad (\text{eq. 1})$$

Pelo modelo de Thomson, é possível obter resultados que não estão de acordo com a fórmula de Balmer, pois na suposição do cientista o átomo de Hidrogênio seria composto por milhares de elétrons e isto facilitaria a interação das cargas, sendo este fator responsável pelo aparecimento de oscilações próprias de diferentes frequências. Enquanto que na equação 1, Rayleigh estabeleceu que a frequência ν dependeria inversamente do quadrado de um número inteiro.

2.2.2 Modelo de Rutherford

Partindo da hipótese de que os elétrons não poderiam estar parados, conforme apresentado no modelo de Thomson, pois nessas circunstâncias os mesmos caíam em direção ao núcleo, devido às forças de atração fundamentadas pelas leis de Coulomb, Ernest Rutherford propôs um modelo em que os elétrons estariam girando em torno do núcleo em órbitas circulares.

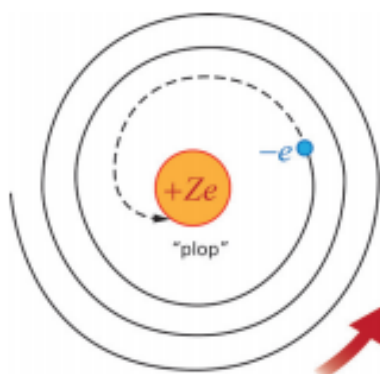
A hipótese de Rutherford, no entanto, também não resolvia a questão da estabilidade do núcleo, pois cargas elétricas aceleradas fazem emissão de energia e tais perdas fariam com que os elétrons espiralasse instantaneamente na direção

do núcleo, emitindo radiações em todos os comprimentos de onda, tornando assim os átomos instáveis (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2005).

O modelo não era satisfatório, pois os átomos obviamente são estáveis nesse caso e, além disso, era sabido, por meio de estudos da espectroscopia, que quando os átomos emitem radiações, estas são apenas em comprimentos de onda específicos de cada elemento. Em consequência disso, percebeu-se que as leis e axiomas da Mecânica Clássica não se aplicavam totalmente a corpos microscópicos, como os átomos. A partir destes fatos surgia então a chamada Mecânica Quântica.

Embora o de Rutherford tenha sido um dos modelos propostos que ficou mais próximo da concepção atual, sua ideia era contraditória a uma das Leis de Maxwell. De acordo com essa lei, se um elétron circulasse em torno do núcleo de carga positiva, ele estaria constantemente irradiando luz, perdendo energia e terminaria por colidir com o núcleo, conforme demonstrado na figura 4.

Figura 4 - A falha no modelo atômico de Rutherford. Pelas leis da eletrodinâmica, havendo a emissão da luz, os elétrons perderiam energia e cairiam em direção ao núcleo.



Fonte: Bagnato e Muniz (2010).

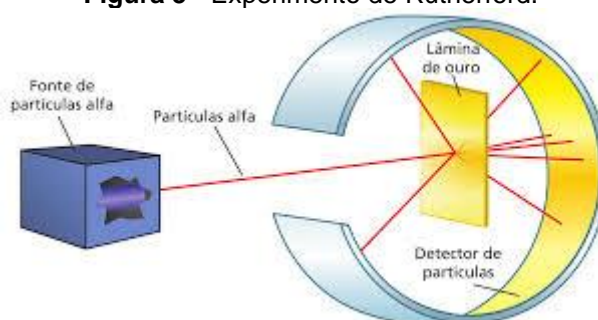
À primeira vista, imaginava-se que os elétrons circulassem em torno do núcleo, em órbitas semelhantes às dos planetas em torno do Sol. Um sistema desse tipo pode ser mecanicamente estável, assim como o Sistema Solar. No entanto, surge uma dificuldade séria quando se relaciona essa ideia com o sistema planetário, pois os elétrons carregados estariam constantemente acelerados em seu movimento em torno do núcleo, e, de acordo com a teoria eletromagnética clássica, todos os corpos carregados acelerados irradiam energia na forma de radiação eletromagnética. Essa energia seria emitida pelo elétron na forma de energia mecânica, o qual se moveria em espiral até atingir o núcleo. Neste caso, o resultado seria um átomo sofrendo um rápido colapso para dimensões nucleares. Por

exemplo, para um átomo de diâmetro de 10^{-10} m, o tempo de colapso seria de aproximadamente 10^{-12} s. Além disso, o espectro contínuo da radiação que seria emitida nesse processo não está de acordo com o espectro discreto, emitido por átomos (EISBERG; RESNICK, 1979).

O argumento de que partículas carregadas positivamente, emitidas por um núcleo pesado, adquirem grandes velocidades é mais facilmente compreendido a partir da premissa de que essas partículas fazem parte do núcleo e adquiriram tal velocidade devido à repulsão do campo elétrico no núcleo, ao invés de se supor que elas se movimentavam rapidamente no átomo.

O experimento proposto por Ernest Rutherford (1871-1937) consistia em elucidar possibilidades que levassem à existência de um núcleo atômico. Neste sentido, ele utilizou uma folha de ouro de espessura finíssima, com aproximadamente 10^{-4} mm, ao bombardeá-la por um feixe de partículas alfa (α), que saía do orifício feito em um bloco de chumbo contendo amostras de polônio, foi possível haver emissões de partículas alfa. Completando o experimento, montou-se um aparato constituído de placas de chumbos com orifícios nos centros, sendo assim possível orientar o feixe na direção da lâmina de ouro. Além disso, foi colocado um anteparo atrás da lâmina, o qual era revestido com sulfeto de zinco (ZnS). Esse produto, por apresentar uma substância fluorescente, tornava possível observar o deslocamento das partículas alfa, conforme se pode observar na Figura 5.

Figura 5 - Experimento de Rutherford.



Fonte: Disponível em: <https://www.google.com.br.cecierj.edu.br.2014>.

Rutherford pôde observar que as partículas alfas, em sua maioria, atravessavam a lâmina, não desviando o percurso e nem retrocedendo, enquanto outras se desviavam e uma pequena quantidade delas retrocedia.

Através desse modelo, Rutherford foi capaz de explicar o espalhamento a grandes ângulos de partículas α , mostrando a existência de um núcleo atômico rodeado de uma eletrosfera, que foi um dos principais fatores que descartavam o modelo de Thomson. No entanto, Rutherford não discutiu o problema da instabilidade do átomo.

Com a descoberta do núcleo, agravou-se ainda mais a questão da instabilidade do átomo, pois se entendeu que se os elétrons circulassem ao redor do núcleo seriam constantemente acelerados e, portanto, perderiam a energia pela emissão de radiação eletromagnética, de modo que os raios de suas órbitas iriam diminuindo até que elas colidissem rumo ao núcleo. Com esse argumento, é possível concluir que o átomo emitiria espectro contínuo, contrariando assim os dados obtidos pela espectroscopia.

Devido à consistência desses argumentos sobre os resultados experimentais, faltava apenas buscar explicações para as observações de Rutherford, e que estas fossem fundamentadas em novos argumentos científicos com bases sustentáveis.

2.3 Mecânica Quântica

Ainda no mesmo século, em 1901, marcando os avanços e desenvolvimentos da Física Quântica, o cientista alemão Max Planck (1858-1947) desenvolveu um modelo de quantização da luz. De acordo com ele, a matéria emite luz (radiação) em pacotes de energia, a qual denominou *quanta*. Anos mais tarde, Albert Einstein (1879-1955), estudando o efeito fotoelétrico, apropriou-se da ideia de quantização de energia, concluindo que cada *quantum* (ou fóton) de luz apresenta energia igual a:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (\text{Eq. 2})$$

Planck resolvera o problema da radiação do corpo negro, que quando tratada com métodos clássicos levava à “catástrofe ultravioleta”. Tratando os átomos das paredes de uma cavidade como uma coleção de osciladores harmônicos simples, cada um deles com energia quantizada dada por $E = nh\nu$, onde n é um inteiro positivo e ν é a frequência linear de oscilação do oscilador, Planck

demonstrou que a energia eletromagnética contida na cavidade tinha relação com a frequência mecânica, e era emitida em “pacotes” discretos ou *quanta* de energia

Para Einstein, a luz não apresenta apenas propriedades ondulatórias caracterizadas pela frequência (ν) e pelo comprimento de onda (λ), mas apresenta também propriedades corpusculares. Ele admitiu que a energia radiante esta quantizada em pacotes de energia, que vieram a ser chamados de fótons, os quais, ao se colidirem com os elétrons de um metal, por exemplo, transferiam toda sua energia para esses elétrons, que eram ejetados da placa metálica com uma determinada energia cinética, no fenômeno conhecido por efeito fotoelétrico (OLIVEIRA; FERNANDES, 2006).

Além dos trabalhos de Einstein e Planck, outros cientistas também tiveram notoriedade nesse mesmo campo de pesquisa, como Louis de Broglie (1892-1987), que, através de seu trabalho de doutorado, em 1924. Foi postulado a hipótese de existência de uma dualidade entre onda e matéria, em relação a esta ideia ele usou a luz, para tal demonstração supondo que esta pode ter comportamento duplo, tanto como onda quanto partícula. Com base em cálculos de Broglie pôde demonstrar que é possível calcular o comprimento das ondas presentes nas partículas.

A relação proposta por de Broglie, implica que um dado comprimento de onda (λ) de um corpo é obtido através do quociente da divisão da constante de Planck (h) pela quantidade de movimento (p) desse corpo:

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde p é o momento linear, podendo ser expresso como o produto da massa m do corpo pela velocidade v , ajustando a equação temos:

$$\lambda = \frac{h}{mv} \quad (\text{Eq. 4})$$

Observando a equação, é possível notar, que, à medida que a massa do corpo ou sua velocidade aumenta, seu comprimento de onda diminui.

Ao formular sua hipótese, de Broglie afirmava que toda a matéria apresenta características tanto ondulatórias como corpusculares, comportando-se de um ou outro modo, dependendo do experimento específico que está sendo realizado. Neste sentido De Broglie se perguntou se esta não poderia se dar de maneira inversa, ou seja, que uma partícula material (um corpúsculo) pudesse mostrar o mesmo comportamento que uma onda, surgindo a partir daí a hipótese em torno da

dualidade da luz. A equação de Broglie aplica-se a toda a matéria, porém, sua teoria só pôde ser compreendida anos depois, com a formulação da mecânica quântica.

2.4 O átomo de Bohr

Em 1913, Niels Bohr (1885-1962) desenvolveu um modelo que apresentava concordância quantitativa precisa com alguns dos dados espectroscópicos. Nesse caso, o espectro do hidrogênio, por exemplo, passaria a ser explicado por um modelo atômico bem sucedido quanto a sua estrutura. Além disso, a precisão das medidas espectroscópicas impunha exigências severas na precisão com a qual esse modelo deveria ser capaz de prever as características quantitativas dos espectros.

A proposta de Bohr foi ao mesmo tempo abrangente e radical, abrangente porque, além do átomo de hidrogênio, a mesma foi capaz de se estender aos demais átomos com mais de um elétron, bem como as moléculas, e radical porque esta representa um rompimento com conceitos clássicos da Física e a incorpora novos conceitos como os de fenômenos associados aos átomos, moléculas, partículas subatômicas e a quantização de energia. Na época, o modelo proposto por Bohr buscava fundamentos para dar explicações aos problemas relacionados à radiação de corpo negro, o qual pode ser entendido como um objeto que absorve toda a luz incidente sobre ele, não refletindo nenhum tipo de radiação. Compreende-se que esse tipo de fenômeno não pode ser visto e, portanto, considerado negro (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2005).

O modelo desenvolvido por Niels Bohr apresentava concordância quantitativa precisa com alguns dos dados espectroscópicos, por exemplo, o espectro do Hidrogênio. Neste sentido os postulados desenvolvidos por Bohr são os seguintes:

1. Um elétron em um átomo se move em uma órbita circular em torno do núcleo sob influência da atração coulombiana entre o elétron e o núcleo, obedecendo às leis da mecânica clássica.
2. Em vez da infinidade de órbitas que seriam possíveis segundo a mecânica clássica, um elétron só pode se mover em outra órbita na qual seu momento angular orbital L é um múltiplo inteiro de h (a constante de Planck dividida por 2π).
3. Apesar de estar constantemente acelerado, um elétron que se move em uma dessas órbitas possíveis não emite radiação eletromagnética. Portanto sua energia total E permanece constante
4. É emitida radiação eletromagnética se um elétron, que se move inicialmente sobre uma órbita de energia total E_i , muda seu movimento descontinuamente de forma a se mover em uma órbita de energia total E_f .

A frequência da radiação emitida ν é igual à quantidade $(E_i - E_f)$ dividida pelo constante de Planck h (EISBERG; RESNICK, 1979, p. 138).

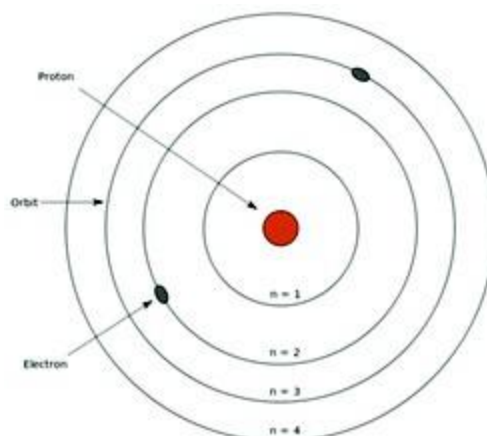
Fazendo uma análise de cada um dos quatro postulados, é possível entender que o primeiro postulado se baseia na existência do núcleo atômico, já o segundo postulado introduz a ideia de quantização. Observe a diferença, entretanto, entre a quantização de Bohr do momento angular orbital de um elétron atômico se movendo sob influência de uma força coulombiana inversamente proporcional ao quadrado da distância, e a quantização de Planck da energia de uma partícula, com um elétron, que executa movimento harmônico simples sob influência de uma força restauradora harmônica, conforme foi visto na equação 2.

O terceiro postulado elimina o problema da estabilidade de um elétron se movendo em uma órbita circular, devido à emissão de radiação eletromagnética pelo elétron, exigida pela teoria clássica. O postulado se baseava no fato de que se observa experimentalmente que os átomos são estáveis - mesmo que isto não seja previsto pela teoria clássica. Já o quarto postulado é, na realidade o postulado de Einstein, de que a frequência de um fóton de radiação eletromagnética é igual à energia carregada pelo fóton dividida pela constante de Planck.

Os postulados descritos trazem uma breve reflexão acerca de como a física clássica e não clássica tem convergências de ideias: supõe-se que o elétron obedeça a uma característica da mecânica clássica, e, no entanto, a ideia não clássica de quantização do momento angular é incluída. Deduz-se também que o elétron obedeça a uma característica da teoria eletromagnética clássica (a lei de Coulomb), e, no entanto, não obedeça a outra (a emissão de radiação para um corpo carregado acelerado).

Para compreender melhor estes postulados, pode-se considerar um elétron orbitando ao redor do núcleo (que supostamente permanece fixo no espaço) no átomo de hidrogênio, como o exposto na Figura 6.

Figura 6 - Órbita circular no átomo de um único elétron.



Fonte: De Paula, 2015.

No modelo de Bohr para o átomo de hidrogênio, os estados de energia permitidos são $n = 1, 2, 3, 4 \dots, n$, e a energia radiante é emitida quando o elétron passa de um estado de maior energia para um estado de menor energia. Por exemplo, um elétron que passa de nível $n = 3$ para $n = 2$ emite luz de cor vermelha.

Suponha que esse elétron gira em uma órbita circular em torno do núcleo. A massa do elétron é considerada completamente desprezível se comparada à massa do núcleo, e conseqüentemente, considera-se o núcleo permanece fixo no espaço. A condição de estabilidade mecânica do elétron é dada pela Equação 5.

$$\frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Ze^2}{r^2} = m \frac{v^2}{r} \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde v é a velocidade do elétron em sua órbita, e r o raio da órbita. O lado esquerdo dessa equação representa a força coulombiana que atua sobre o elétron, e o lado direito ma contém a aceleração centrípeta que mantém o elétron em sua órbita circular.

Tendo em vista que algumas equações aplicadas ao modelo de Bohr mostram uma abordagem clássica, no tratamento do átomo de hidrogênio, Bohr acreditava que um átomo clássico não seria estável do ponto de vista eletrodinâmico, e, portanto, a solução seria investir na hipótese de quantização de Planck, formulada em 1912.

A introdução do método de Planck poderia levar a uma solução eletrodinamicamente estável para a constituição dos átomos. Porém, Bohr sabia que o espectro de emissão dos átomos era discreto, e conhecia a fórmula empírica de Balmer para as linhas de emissão no visível do átomo de hidrogênio (PARENTE; SANTOS, 2013).

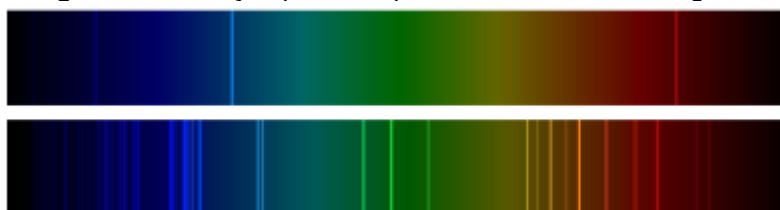
2.4.1 O espectro atômico de Hidrogênio

Diante da concepção de que a matéria era formada por átomos em oscilações, concluiu-se que as características de cada átomo seriam definidas com melhor precisão se fosse posto em estudo os estados físicos dos gases.

Dessa forma, os estudos que envolveram a espectroscopia, bem como o seu desenvolvimento por meio de experiências de descargas em gases, merecem destaque. Sabe-se que, com as realizações dessas experiências para análise de espectros envolvendo substâncias gasosas, o que se revelou de maior importância serviu de alicerce para a fundamentação da mecânica quântica, como foi o caso dos trabalhos pioneiros de Niels Bohr seguido assim por outros estudiosos entre eles: Erwin Schroedinger (1887-1961), físico austríaco, cujo legado foi a equação que leva seu próprio nome. A partir desta foi possível perceber as mudanças dos estados quânticos em um sistema físico, Werner Heisenberg (1901-1976) físico alemão criador de um modelo quântico para o átomo que tiveram o propósito de estudar e elaborar conceitos teóricos para o assunto.

As primeiras observações para o espectro de Hidrogênio foram propostas por Anders John Angström (1814-1974), físico sueco que desenvolveu trabalhos no campo da espectroscopia. Em 1953, esse cientista elaborou um estudo sobre as raias espectrais do átomo de hidrogênio, representadas na figura 7.

Figura 7 - Ilustração para o espectro do átomo de hidrogênio.



Fonte: BRAGNATO & MUNIZ, 2016.

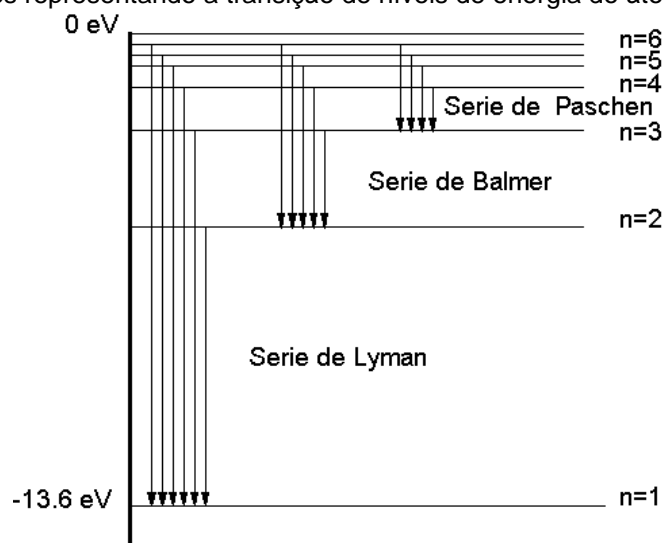
Somente cerca de 30 anos depois, o professor de latim e matemática, o suíço Johann Jakob Balmer (1825-1898), matematizou e elaborou as regularidades dessas raias espectrais, baseando essas medidas, a princípio, em apenas quatro delas, tendo os respectivos comprimentos de ondas ($6562,10\text{Å}$; $4860,74\text{Å}$; $4340,01\text{Å}$; $4101,2\text{Å}$). Balmer conseguiu escrever um termo geral de uma série matemática, capaz de reproduzir os comprimentos de onda (λ) de cada raia dos espectros analisados, propondo assim a Equação 6.

$$\lambda = 3645,6\text{\AA} \quad \frac{n^2}{n^2-4} \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde $n = 3,4,5,6, \dots$. O espectro de emissão de radiação eletromagnética dos átomos poderia conter informações importantes sobre a estrutura atômica.

Átomos excitados por descargas elétricas emitem um espectro característico ao retornar ao seu estado fundamental. A regularidade do espectro de emissão do hidrogênio fez com que os cientistas conhecessem vários comprimentos de ondas das linhas. Balmer foi um dos cientistas que iniciou a busca por fórmulas empíricas mais gerais que pudessem ser identificadas, inclusive em espectros de outros elementos. Além das séries de Balmer, outras séries foram produzidas como série de Lyman, na região do ultravioleta, e as séries de Paschen, Brackett e Pfund, na região do infravermelho com as frequências dadas conforme se observa na figura 8, que mostra o diagrama de níveis atômicos de energia do Hidrogênio (ALGATTI, 2009).

Figura 8 - Séries representando a transição de níveis de energia do átomo de hidrogênio.



Fonte: UFPR- Setor de exatas (2012).

O físico sueco Johannes Rydberg (1854-1919) foi capaz, em 1888, de elaborar um modelo mais sugestivo à fórmula de Balmer em referência ao inverso do comprimento de ondas ($1/\lambda$), da seguinte forma:

$$\frac{1}{\lambda} = k = R_H \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (\text{Eq. 8})$$

A nova constante introduzida nesse trabalho passou a ter valor $R_H = 1,09737 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$, a qual passou a ser denominada de Rydberg para o átomo de hidrogênio.

Posteriormente aos trabalhos de Angstrom (que identificou as linhas de hidrogênio do Sol), outros pesquisadores procuraram aprofundar seus estudos em relação ao espectro do átomo de hidrogênio. Neste sentido, Friedrich Paschen (1865-1947), Theodore Lyman (1874-1954), Frederick Sumner Brackett (1896-1988), August Herman Pfund (1879-1949) observaram outros conjuntos de linhas espectrais, em locais não visíveis a olho nu do espectro, as quais só foram possíveis descrever em função da generalização da fórmula de Balmer, feita por Rydberg em parceria com o cientista suíço Walter Ritz (1878-1909).

$$\frac{1}{\lambda} = k = R_H \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (\text{Eq. 9})$$

A partir da equação 9, é possível obter as séries indicadas no quadro 1, onde m representa um número inteiro, podendo assumir diferentes valores.

Quadro 1 - As principais séries espectroscópicas

Série	Região espectral	Limite da Série ($n = \infty$)	Equação da Série
Lyman	Ultravioleta	911,27 Å	$\frac{1}{\lambda} = R_H = (1/1^2 - 1/n^2)$ 2,3,4 ...
Balmer	Visível	3645,1 Å	$\frac{1}{\lambda} = R_H = (1/2^2 - 1/n^2)$ 3,4,5 ...
Paschen	Infravermelho	38021,4 Å	$\frac{1}{\lambda} = R_H = (1/3^2 - 1/n^2)$ 4,5,6
Brackett	Infravermelho	14.580,0 Å	$\frac{1}{\lambda} = R_H = (1/4^2 - 1/n^2)$ 5,6,7 ...
Pfund	Infravermelho	22.782,0 Å	$\frac{1}{\lambda} = R_H = (1/5^2 - 1/n^2)$ 6,7,8 ...

Fonte: Adaptado de: Universidade Federal de Uberlândia (laboratório de Física Moderna 1).

Através da Equação da série de Balmer, são mostradas as transições por meio da diferença de dois termos, $n = T_1 - T_2$, onde T_1 é $R/4$ e T_2 é R/n_2 , sendo T_1 fixo e T_2 variável com n ; os dois termos estão em unidade de cm^{-1} , sendo portanto, proporcionais às energias das órbitas correspondentes. Pode-se considerar o valor destes termos sem se referir às órbitas, e montar um esquema dos níveis de energia (ou número de onda) dados por $T = R/n_2$ como é mostrado na figura 8.

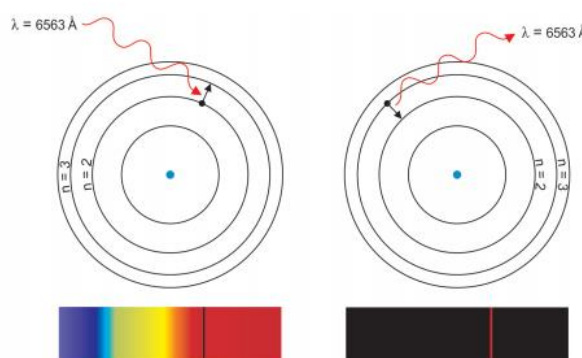
É importante observar que o átomo de hidrogênio é o único com solução exata da Equação de Schroedinger; para qualquer outro átomo, com mais que dois elétrons, essa equação não tem solução exata, ocorrendo discrepâncias com os

dados espectroscópicos. A equação fundamental na mecânica quântica é a Equação de Schroedinger, $H\psi = E\psi$, onde H é o operador de energia (cinética e potencial), que é aplicado na função de onda ψ , e E representa a energia correspondente ao estado definido pela função de onda, que no caso do átomo de hidrogênio, são dados por R/n_2 , ou seja, os níveis de energia são determinados pelo valor de n .

Na mecânica quântica, a caracterização do estado é representada pela função de onda, e na sua expressão matemática para o átomo de hidrogênio, esta indica o número quântico, caracterizando-o como uma função de onda de cada estado. O número n é agora denominado número quântico principal e representa a órbita circular em o elétron se encontra. Já o quadrado da função de onda mesma, determina a probabilidade de se encontrar o elétron em uma região do espaço, que no modelo clássico corresponde às órbitas (SALA, 2007).

Portanto, um átomo de hidrogênio só pode emitir fótons com energias bem definidas, para que seus elétrons passem de um nível n_1 para um nível n_2 ; como da mesma forma, só podem absorver fótons dessas energias para o processo inverso. Dessa maneira, a detecção de uma linha espectral em um espectro qualquer com o comprimento de onda, em emissão ou absorção, constitui evidência da presença do hidrogênio no material, conforme é mostrado na figura 9.

Figura 9 - Exemplo de formação de linhas de absorção e de emissão



Fonte: OLIVEIRA FILHO & SARAIVA, 2005, p.226.

Formação de linhas de absorção ocorre quando o átomo absorve um fóton com energia suficiente para fazer a transição para um nível superior, resultando numa linha de absorção com comprimento de onda correspondente ao fóton absorvido; já a formação de linhas de emissão ocorre quando o átomo emite um fóton, ao voltar para o nível inferior (figura 9, no lado direito).

As linhas espectrais aparecem sempre que ocorre mudança na quantidade de energia contida em um determinado átomo. O modelo atômico de Bohr foi elaborado para resolver o problema da instabilidade do modelo de Rutherford. Bohr propôs que somente certas órbitas discretas seriam permitidas, e que em tais órbitas o elétron não emitiria radiação. Concluiu-se que a radiação pode ser absorvida ou emitida, quando o elétron saltar de uma órbita para outra, de acordo com o postulado de Bohr.

Assim, no modelo de átomo de Bohr, temos as diferentes linhas espectrais, em função das transições dos diferentes níveis, como é possível observar na figura 5. Tanto os átomos como os íons podem ser ionizados ou excitados por processos de colisão, em que uma partícula livre colide com um elétron e transfere parte de sua energia cinética, ou por radiação, quando ocorre a absorção de um fóton com energia correspondente à diferença de energia entre 2 níveis (HATEM; PEREIRA, 2009).

Além das linhas discretas, o átomo de hidrogênio também é capaz de espalhar radiação e fazer a transição de um nível n para o contínuo ($n = \infty$), e vice-versa (ionização e recombinação), se o fóton tiver comprimento de onda menor que 912 \AA . Para átomos com mais de um elétron, é preciso ainda levar em conta o princípio da exclusão de Pauli¹ (Wolfgang Pauli (1900-1958), de forma que um elétron não pode simplesmente realizar a transição, sem que haja um “espaço” para ele naquele nível de energia em questão.

Existem regras de seleção que preveem as transições mais esperadas entre dois níveis de energia, levando em conta a existência, ou não, de superposição espacial das funções de onda dos níveis envolvidos nas transições. As transições permitidas representam as transições que conservam o momento angular total do sistema (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2005).

Existem muitas transições matematicamente possíveis, porém são consideradas proibidas porque, nas condições terrestres, antes que um átomo possa irradiar por uma transição proibida, uma colisão com outro átomo ou molécula irá ocorrer e desexcitando o átomo colisionalmente. No meio interestelar, os átomos

¹ Pois os elétrons são férmions, partículas com spin meio-inteiro, e não podem ocupar o mesmo estado quântico, com o mesmo spin. Os bósons, partículas com spin inteiro, como os fótons, não obedecem ao princípio da exclusão de Pauli.

são localizados muito distantes uns dos outros, sendo essa distância maior que na superfície terrestre; neste sentido, as colisões são muito raras e, portanto, as transições proibidas são importantes em nuvens de gás e no meio interestelar.

Embora tenha sido um modelo atômico de sucesso, o átomo proposto por Bohr, que entre muitas das suas vantagens relaciona a hipótese de quantização da energia ao comportamento do elétron no átomo, no entanto é insuficiente para descrever completamente os sistemas atômicos. Posteriormente, contribuições da mecânica quântica dadas por Erwin Schroedinger (1887-1961) e Werner Heisenberg (1901-1976) forneceram uma forma mais abrangente de descrição dos sistemas atômicos, que se estende ao comportamento de partículas de qualquer sistema microscópico.

2.4.2 Os Números Quânticos e o átomo de hidrogênio

A cada sistema físico, há uma associação com uma função de onda que procura descrevê-lo corretamente. Obtendo a função de onda do sistema é possível encontrar as soluções para que este melhor se aproxime dos resultados experimentais. Os Números Quânticos são números que surgem naturalmente da resolução da equação de onda para cada sistema específico

As energias dos níveis do átomo de hidrogênio podem ser descritas por um único número quântico n , já as funções de onda que descrevem esses estados requerem o uso de três números quânticos, os quais correspondem às três dimensões nas quais um elétron pode se mover. Esses três números quânticos, com seus respectivos nomes, podem assumir os valores apresentados no quadro 2.

Quadro 2 - As principais séries espectroscópicas

Nome	Símbolo	Valores assumidos
n	Quântico principal	1,2,3,4...
l	Quântico orbital	0, 1,2,3 $n-1$
m_l	Quântico magnético orbital	$-l, -(l-1).... +(l-1) +l$

Fonte: Adaptado Halliday & Resnick, 2016.

Cada conjunto de números quânticos (n, l, m_l) identifica a função de onda de um estado quântico diferente. O número quântico n , que é chamado de número quântico principal, aparece na equação 10, utilizada para calcular a energia do estado.

$$E_n = -\frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^2} \frac{1}{n^2} \quad (\text{Eq. 10})$$

Na Equação 10, é possível notar que a energia E_n do átomo de hidrogênio é quantizada, sendo assim, esta é capaz de assumir apenas certos valores para n ($n = 1, 2, 3, \dots$); supõe pois, que o núcleo se mantenha fixo, com apenas o elétron se movendo. Porém, sabe-se que não está correto afirmar que o elétron gira em torno do núcleo, do mesmo modo como os planetas giram em torno do Sol. Na verdade, o que se tem são densidades de probabilidades de se encontrar o elétron em alguma região desse nível de energia, determinadas pela função de onda do elétron.

O número quântico orbital ℓ é entendido como a medida do módulo do momento angular orbital associado ao estado quântico. O número quântico magnético orbital, $m\ell$, está relacionado à orientação no espaço do vetor momento angular.

Os valores dos números quânticos do átomo de hidrogênio, expostos no quadro 2, não são arbitrários, mas surgem naturalmente da solução da equação de Schroedinger. A respeito disso, é possível observar que, no estado fundamental ($n = 1$), as restrições são tais, que $\ell = 0$ e $m\ell = 0$, o que significa que o momento angular do átomo de hidrogênio no estado fundamental é zero, em discordância com o modelo de Bohr, na equação 11.

$$L = n\hbar \quad (\text{sendo } n = 1, 2, 3, \dots) \quad (\text{Eq. 11})$$

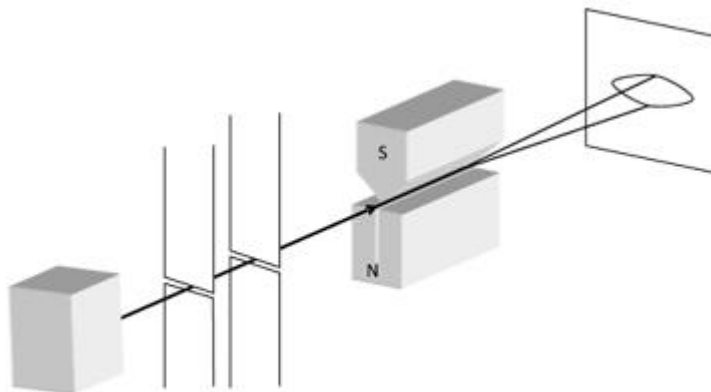
O módulo do momento angular L do elétron pode assumir apenas os valores da multiplicação de \hbar e n , que é o número quântico principal, utilizando as hipóteses de Bohr para obter as energias quantizadas do átomo de hidrogênio. Porém, é necessário esclarecer que o elétron não é simplesmente uma partícula que gira em órbita em torno do núcleo, sendo assim, a equação 11 não estaria totalmente correta, levando em consideração que o valor $L = 0$, que deveria ser incluído.

O cálculo de Schroedinger das energias dos orbitais do hidrogênio foi um marco no desenvolvimento da teoria atômica moderna. Entretanto, as linhas espectrais observadas não tinham exatamente a frequência predita por ele. Em 1925, dois físicos holandeses, naturalizados americanos, Samuel Goudsmit (1902-1978) e George Uhlenbeck (1900-1988), propuseram uma explicação para essas pequenas diferenças. Eles sugeriram que um elétron poderia se comportar, de certo

modo, como uma esfera que gira em torno de si, algo parecido com um planeta em torno de seu eixo. Essa propriedade é chamada de spin. De acordo com a mecânica quântica, um elétron tem dois estados de spin, representados pelas setas \uparrow e \downarrow , ou pelas letras gregas α e β . Pode-se imaginar o elétron girando no sentido anti-horário a uma dada velocidade (o estado \uparrow), ou no sentido horário, exatamente na mesma velocidade (o estado \downarrow). Esses dois estados de spin são distinguidos por um quarto número quântico, o número quântico magnético de spin, m_s . Este número quântico só pode assumir dois valores: $+\frac{1}{2}$ indica um elétron \uparrow e $-\frac{1}{2}$ indica um elétron \downarrow (ATKINS; JONES, 2006).

Os primeiros testes experimentais para a constatação do spin foram iniciados com os trabalhos de Otto Stern (1888-1969) e Walther Gerlach (1889-1979), os quais propuseram um experimento que consistia em fazer um feixe de átomos (Prata (Ag)) passar por um campo magnético não homogêneo produzido por um imã, e analisar a deposição desses átomos em uma placa coletora na saída do imã. A figura 10 mostra o desenho esquemático do experimento de Stern-Gerlach:

Figura 10 - Representação do experimento de Stern-Gerlach.



Fonte: GOMES & PIETROCOLA, 2011.

Previa-se que o feixe fosse se espalhar de forma contínua na placa coletora, porém, o que foi observado foi que o feixe de átomos de prata se dividia simetricamente em duas regiões na placa coletora, e tal fenômeno não era bem explicado pela física clássica. A intenção original do experimento era testar a quantização espacial do momento angular na presença de um campo magnético externo. Apesar de eles acharem que estavam confirmando a teoria de Bohr-

Sommerfeld², o momento magnético medido por Stern e Gerlach era, na verdade, o momento angular de spin do elétron.

Para fundamentar teoricamente o que foi observado no experimento, foi necessário propor um novo número quântico, chamando de número quântico de spin. Tendo em vista que a carga elétrica em rotação gera campos magnéticos, foi feita a analogia de que o número quântico de spin estaria associado à rotação do elétron em torno de si, e isto foi difundido no ensino, no entanto essa analogia ainda é tema para várias discussões na Física. Assim, a semelhança clássica que foi feita com o spin é que como o elétron sofre influência de um campo magnético externo, a ele deveria estar associado um movimento de rotação em torno do seu próprio eixo, e é essa rotação o fator que gera um campo magnético que fará interações com um campo magnético externo aplicado.

O spin do elétron é o princípio fundamental da técnica experimental chamada de ressonância paramagnética do elétron (EPR), a qual é utilizada no estudo de estruturas e movimentos de moléculas e íons que têm elétrons desemparelhados, portanto baseada na detecção da energia necessária para fazer passar um elétron de uma das orientações de spin para a outra.

Sabe-se que o átomo de hidrogênio em seu estado fundamental tem sua estrutura eletrônica descrita por quatro números quânticos dos quais os valores são: $n=1$ $l=0$ $ml=0$ $s = +\frac{1}{2}$ e $-\frac{1}{2}$. De início, o elétron está no menor nível de energia, isto é, o estado fundamental do átomo, em que $n = 1$. O único orbital com essa energia é o orbital 1s. Portanto, dizemos que o elétron ocupa um orbital 1s ou que ele é um “elétron 1s” e ambos os estados de spin para o hidrogênio são permitidos.

2.5 A relação das linhas espectrais do átomo de hidrogênio com a Astronomia

Ao estudar o espectro de emissão do Hidrogênio, Johann Balmer (1825-1898) identificou neste algumas linhas visíveis (que posteriormente ficaram conhecidas como séries de Balmer). Além das raias identificadas por Balmer, outros estudiosos constataram que existiam outras linhas espectrais no átomo de

² É uma versão melhorada do modelo de Bohr, em que o comportamento dos elétrons é explicado pela existência de diferentes níveis de energia dentro do átomo.

Hidrogênio, ficando assim nomeadas como séries de Lyman, Paschen, Brackett e Pfund. Uma vez que cada átomo possui um espectro característico, podemos relacionar essas séries em uma expressão geral, onde a frequência f das linhas é dada conforme a equação 12:

$$f = R_H C = \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \text{ onde } m < n \quad (\text{Eq. 12})$$

Considerando R_H como a constante de Rydberg, C a velocidade da luz e m e n os níveis de energia do átomo de Hidrogênio, equação semelhante a Eq. 9, porém em função de f . As séries de emissões para determinadas frequências são semelhantes às que aparecem no quadro 1 referente às séries espectroscópicas.

Pela teoria clássica, a energia radiante emitida por uma carga acelerada era consequência da energia mecânica dessa, fazendo com que a frequência de revolução do elétron aumentasse, aumentando também a frequência emitida, até que o elétron colidisse com o núcleo atômico; algo que, na realidade, não acontece. Bohr observou que em determinados estados “fundamentais” o átomo não emitiria radiação, embora o elétron estivesse acelerado.

No entanto, se o elétron recebesse uma energia (por exemplo, ao interagir com um fóton) de valor igual à diferença de energia entre o nível do estado fundamental e um segundo nível, o elétron se deslocaria para esse último nível (configurando um estado excitado), absorvendo um fóton de energia; ao retornar para o estado fundamental, emitiria um “pacote” (*quantum*) de energia (BARROS; ASSIS; LANGHI, 2016).

Os estudos envolvendo a busca pelo entendimento das radiações de corpo negro baseavam-se na ideia de que um corpo negro é um meio ou substância que absorve toda a radiação incidente sobre ele, e emite toda radiação produzida em seu interior, reforçando assim que a radiação emitida por um corpo negro independe da constituição e forma do mesmo, dependendo somente da temperatura do corpo e do comprimento de onda da radiação emitida. Tais conclusões foram favoráveis ao alicerce da espectroscopia

Com a utilização desse método, astrônomos e demais pesquisadores passaram a obter inúmeras informações que permitem caracterizar os astros, como

por exemplo: rotação, composição química, densidade, massa, gravidade superficial, período, inclinação orbital, entre outras (SITKO, 2014).

Compreende-se que na natureza não existe um corpo que se enquadre totalmente nas definições de corpo negro, mas as estrelas se constituem em uma boa aproximação dessa ideia. A lei de Planck da radiação de corpo negro nos fornece, então uma relação entre a intensidade da radiação emitida por um corpo negro, a sua temperatura e o comprimento de onda. Um exemplo de grande proximidade com um corpo negro são os núcleos estelares, que absorvem e emitem grandes quantidades de energia a uma taxa aproximadamente constante.

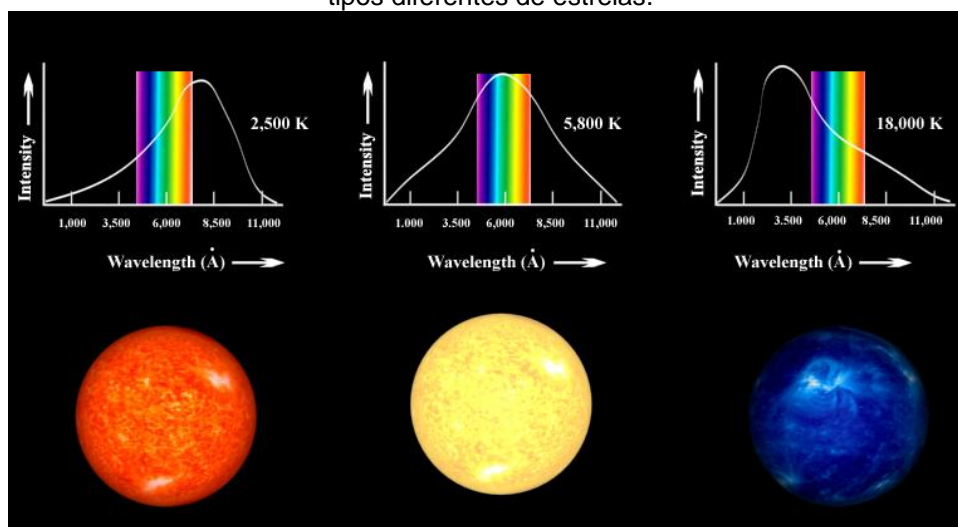
Nesses corpos, a relação entre a intensidade da energia emitida I em função do comprimento de onda λ fornece uma grandeza denominada emitância espectral, que, por conseguinte, leva a uma relação entre o comprimento de onda λ_{max} e a temperatura absoluta T do corpo, conhecida como Lei do deslocamento de Wien, cujo princípio trata da relação do comprimento de onda onde se situa a máxima emissão de radiação eletromagnética de corpo negro e sua temperatura, sendo expressa por:

$$\lambda_{max} \cdot T = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K} \quad (\text{Eq. 13})$$

Conforme a lei de Wien, quanto maior for a temperatura de um corpo negro, menor será o comprimento de onda para o qual a emissão é máxima. Dessa maneira, explica-se porque quando se aquece uma barra de ferro, esta torna-se inicialmente vermelha e depois esverdeada e azulada.

Essas relações da Lei de Wien entre a cor (frequência) de uma estrela e a temperatura superficial para três tipos diferentes de estrelas podem ser observadas na Figura 11, onde a localização do máximo espectral (pico do gráfico) muda de acordo com a temperatura da estrela, desde o infravermelho (estrela da esquerda) até o ultravioleta (estrela da direita).

Figura 11 - Relação entre a cor (frequência) de uma estrela e a temperatura da superfície para três tipos diferentes de estrelas.



Fonte: Projeto Astro Info, 2020.

Através dos estudos envolvendo a radiação dos corpos negros foi possível compreender a variedade de cores presentes nas estrelas. Por meio deste entendimento se observou que o espectro das estrelas era semelhante as curvas de radiação dos corpos negros em diferentes temperaturas que variavam até cerca de 50.000K. Através da Figura 11 se torna possível saber que a variação de cor das estrelas, é resultado da temperatura que esta apresenta. O cálculo da temperatura superficial de uma estrela pode ser obtido pela relação entre o comprimento de onda no pico de seu espectro e a temperatura do corpo negro. Neste sentido na medida em que aumenta a temperatura de um corpo negro, o pico do espectro se move para um comprimento de onda luminoso menor, ou seja, mais azulado.

Entende-se que, por meio do legado de Joseph Von Fraunhofer (1787-1826), foi facilitada a compreensão de que as estrelas tinham espectros com linhas escuras semelhantes ao Sol, mas, foi com os trabalhos desenvolvidos por William Huggins (1824-1910), em parceria com Secchi (1818-1878), que foi possível notar uma distinção entre os espectros estelares, e que somente alguns apresentavam semelhança ao espectro do sol. Posteriormente, Huggins obteve o primeiro espectro de uma nebulosa, e depois, observando em torno de 70 ou mais nebulosas chegou à conclusão de que as mesmas apresentavam linhas brilhantes (de emissão). No ano de 1863, o cientista fez sua primeira classificação de espectros estelares, considerando as linhas escuras.

O trabalho de obtenção dos espectros se dava de forma visual, em função de que na época não se dispunha de recursos para fazer essas captações; com o

passar dos tempos, foram sendo fotografados vários espectros, entre eles, o do Sol, e da estrela Vega.

A atual classificação espectral utilizada foi desenvolvida no observatório de Harvard, nos Estados Unidos, no início do século XX. Edward Charles Pickering (1846-1919), diretor do observatório do Colégio de Harvard, reconheceu que eram necessários muitos espectros para desenvolver uma classificação, e começou a coletar espectros em fotografias (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2005, p. 228).

O trabalho de algumas mulheres também foi fundamental no mapeamento e classificação dos espectros estrelas, dentre as quais podemos destacar a pioneira Williamina Fleming (1857-1911), Antônia Caetana de Paiva Pereira Maury (1886-1952), e Annie Jump Cannon (1863-1941), que classificou 225.000 estrelas até magnitude 9 entre os anos de 1918 e 1924.

Nas observações feitas por Annie Cannon, as estrelas variavam entre as cores azuis-esbranquiçadas a avermelhadas. Sendo assim, ela fez a classificação espectral conforme as linhas do Hidrogênio, considerando O a classe com linhas mais intensa, B a seguinte sendo a segunda mais intensa, C e assim sucessivamente. Atualmente, as estrelas são classificadas conforme mostrado no Quadro 03 (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2005).

Quadro 3 - Classificação das estrelas em função da temperatura

Classe	Cor	Graus K	Masa	Rai o	Exemplo
O	Azul	50 mil	60	15	Mintaka
B	Azulada	28 mil	18	7	Rigel
A	Branco	10 mil	3.2	2.5	Sirius
F	Amarelado	7.400	1.7	1.3	Procion
G	Amarelo	6 mil	1.1	1.1	O sol / Capela
K	Laranja	4.900	0.8	0.9	Aldebarã
M	Vermelho	3 mil	0.3	0.4	Betelgeuse

Fonte: Adaptado de Oliveira Filho & Saraiva, 2005.

Existe uma relação entre as linhas espectrais de uma estrela com algum tipo de elemento químico; sendo assim há diferentes composições em cada estrela. Porém, através de estudos sabe-se que, a composição química das estrelas em geral é praticamente a mesma, de modo que o Hidrogênio é o elemento mais abundante, seguido do Hélio e uma quantidade inferior de outros componentes.

Além da composição química, a temperatura exerce um papel determinante no espectro estelar. Ao levar em consideração uma linha de Balmer do hidrogênio,

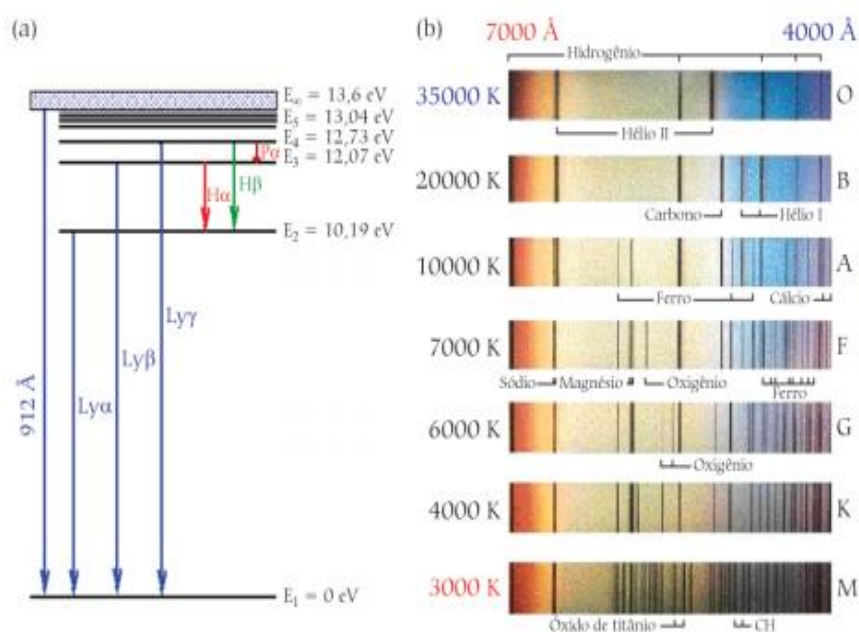
por exemplo, sabe-se que esta foi originada em transições entre o segundo nível de energia do hidrogênio e qualquer outro nível acima dele: transições de nível para cima ($n_2 > 2$) resultam em absorção, transições de nível para baixo ($n_2 > 2$) resultam em emissão.

Então, para uma estrela ter linhas de Balmer intensas, ela precisa ter muitos átomos de hidrogênio excitados ao nível $n = 2$. A Figura 12 expõe essa relação entre os níveis de energia do átomo de hidrogênio e as linhas de emissão para a transição de diferentes níveis energéticos; também é mostrado o espectro para diferentes elementos contidos em uma estrela.

Através da lei de Kirchhoff que relaciona o espectro contínuo, diz que quando a luz é emitida através de uma fonte sólida, como uma lâmpada incandescente, ao atravessar um prisma, ela se decompõe em cores do espectro visível, de igual modo se pode observar com o arco-íris que se forma em virtude da separação das cores que formam a luz solar.

Podendo assim ser analisado quando houver gotas de água suspensa no ar. Referindo-se a uma das Leis de Kirchhoff sobre o espectro de emissão esta diz que , quando a luz é emitida por uma fonte gasosa, como uma lâmpada fluorescente, apenas as transições dos níveis atômicos dos elementos gasosos são excitados, aparecendo um conjunto discreto de linhas, conforme mostra a ilustração na Figura 11.

Figura 12 - (a) Os níveis de energia do átomo de hidrogênio suas transições atômicas. (b) Espectros de estrelas, destacando os elementos presentes em suas fotosferas.



Fonte: Marranghello & Pavani (2011).

É possível notar como as linhas apresentam colorações. Além disso, percebe-se também que é possível emitir luz através de uma fonte incandescente e fazê-la atravessar um gás frio antes de passar pelo prisma. Neste caso, o gás absorverá a radiação que corresponde àquelas linhas que ele emitiria caso fosse aquecido. A ilustração mostra um comportamento em que surgem linhas escuras. Portanto entende-se que esse fenômeno ocorre nas estrelas, que produzem energia no seu interior, emitindo uma luz branca que, ao atravessar a fotosfera, tem linhas suprimidas (ou absorvidas) de seu espectro.

Os tipos espectros estelares se fundamentam nas linhas de absorção encontradas em cada espectro e, portanto, refletem a composição química da estrela. Mas as classes espectrais estão fortemente associadas à temperatura das estrelas, então temperatura, cor e linhas visíveis no espectro estelar são propriedades que estão de uma forma ou de outra, correlacionadas (MARRANGHELLO; PAVANI, 2011).

O modelo de classificação espectral proposto em Harvard levava em conta a temperatura das estrelas. Considerando que a luminosidade de uma estrela é dada de acordo com a Equação 13.

$$L = 4\pi R^2 \sigma T_{ef}^4 \quad (\text{Eq. 13})$$

Tendo em vista que a luminosidade L aumenta a uma temperatura T fixa na mesma proporção do R das estrelas. Com o aumento de T aumenta a um valor de L fixo (linha horizontal), R diminui. William Wilson Morgan (1906-1994), Philip Childs Keenan (1908-2000) e Edith M. Kellman (1911-2007), cientistas do Observatório de Yerkes, introduziram as seis diferentes classes de luminosidade, baseados nas larguras de linhas espectrais que são sensíveis à gravidade superficial (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA 2005).

- Ia - supergigantes super-luminosas. Exemplo: Rigel (B8Ia) - $\log g \approx 0$
- Ib - supergigantes. Exemplo: Betelgeuse (M2Iab)
- II - gigantes luminosas. Exemplo: Antares (MII) - $\log g \approx 3$
- III - gigantes. Exemplo: Aldebarã (K5III) • IV - subgigantes. Exemplo: α Crucis (B1IV)
- V - anãs (sequência principal). Exemplo: Sirius (A1V) - $\log g \approx 4.4$

A classe de luminosidade de uma estrela também é conhecida pelo seu espectro. Isso é possível porque a largura das linhas espectrais depende fortemente da gravidade superficial, que é diretamente relacionada à luminosidade. As massas das gigantes e anãs da sequência principal são similares, mas o raio das gigantes é muito maior. Como a aceleração gravitacional é dada por g , onde $g = \frac{GM}{R^2}$, isto a torna muito maior para uma anã do que para uma gigante.

Em relação à gravidade superficial, sabe-se que a pressão e o número de colisões entre as partículas na atmosfera da estrela são diretamente proporcionais, sendo que as colisões perturbam os níveis de energia dos átomos, fazendo com que eles fiquem mais próximos ou mais afastados entre si do que o normal. Em função disso, os átomos perturbados podem absorver fótons de energia e comprimento de onda levemente maiores ou menores do que os que os fótons absorvidos nas transições entre níveis não perturbados. O efeito disso é que a linha de absorção fica alargada; no entanto, para uma mesma temperatura, quanto menor a estrela, mais alargada será a linha, e vice-versa.

CAPÍTULO 3

3 PANORAMA DO USO DO RPG NO ENSINO DE FÍSICA

Este capítulo faz uma abordagem sobre a utilização do Role Playing Game (RPG), no Ensino de Física. O mesmo trata-se de uma pesquisa realizada, que resultou na produção de um artigo científico, publicado no mês de outubro de 2020 na revista Ensino & Pesquisa³ (FREITAS; SITKO; CHAGAS, 2020).

Através do conteúdo exposto, tem-se uma visão ampla acerca dos artigos que abordam o uso dos RPGs nas aulas de Física, bem como as suas contribuições para o ensino e aprendizagem. Por meio da pesquisa, constatou-se que o RPG é uma possível alternativa de sucesso no ensino de Física, sendo também uma maneira eficaz de se compreender os conteúdos trabalhados nas aulas. Sendo possível, através desta metodologia, melhorar o interesse dos alunos, estimulando a imaginação, criatividade e o trabalho em equipe, além de ser uma proposta diferenciada e atrativa, capaz de levar os discentes a assimilar novos conteúdos e conceitos físicos, dando significado prático aos assuntos teóricos aplicados de forma lúdica.

3.1 O RPG e o Ensino de Física

Nos últimos anos, o movimento da Didática das Ciências tem indicado a necessidade de que na Física se possam adotar enfoques e estratégias construtivistas. Entretanto, se o processo de ensino e aprendizagem for realizado sob tais orientações, é importante que a avaliação como parte desse processo também se oriente pelos mesmos pressupostos, conforme salienta Villatorre (2009). Entende-se que as estratégias construtivistas oferecem ao docente um referencial para reflexões e fundamentações para tomadas de decisões no âmbito do que foi planejado e posteriormente aplicado em sala.

Neste sentido, pressupõe-se que a aprendizagem requer do aluno reflexões, criatividade, participação e organização. As técnicas didático-pedagógicas trazem consigo formas de organizações operacionais específicas para o trabalho educativo,

³ Disponível em: <http://periodicos.unespar.edu.br/index.php/ensinoepesquisa/issue/view/191>

além de procedimentos a serem desenvolvidos, a fim de que se possa atingir objetivos educacionais específicos.

Na concepção de Geraldo (2014), umas das características fundamentais dos métodos de ensino é a flexibilidade, que possibilita a adequação de procedimentos específicos de ensino e aprendizagem a cada situação em função dos diferentes níveis de ensino, disponibilidade de recursos, diferentes demandas por parte dos alunos ou da sociedade, atendendo a criatividade do professor e a sua habilidade em trabalhar diversos métodos.

No contexto educacional, é possível perceber as inquietações e indagações que implicam e impulsionam a reflexão sobre a formação de docentes e a prática pedagógica. A preocupação em relação a esta temática está assim ligada à busca por uma visão inovadora dos professores que atuam nos diferentes níveis de ensino, de modo que a Educação possa contribuir face às exigências da atualidade.

A sociedade em que vivemos está em constante transformação, e exige que a formação do professor contemple uma constante reflexão sobre uma prática que precisa ser renovada, pois o professor, como prático reflexivo, reconhece a riqueza da experiência que reside na prática dos bons professores (ZEICHNER, 1998). A formação docente levanta discussões amplas na tentativa de se buscar alternativas quanto à construção de um saber ativo, que de tal modo veja o professor como agente crítico, reflexivo, criativo, questionador e investigador de sua própria prática pedagógica.

Uma metodologia de ensino que posiciona o aluno como protagonista do processo de ensino e aprendizagem é o RPG (Role Playing Game), que é um jogo de simulação de papéis, onde os alunos assumem os personagens e criam narrativas de modo colaborativo (SITKO; DALL POZZO; COSTA-LOBO, 2019), de acordo com um sistema de regras pré-estabelecido para propor uma história, durante a qual descreverá o ambiente e os acontecimentos, enquanto os demais vão descrevendo as ações de seus personagens; como em uma peça de teatro cujo roteiro fosse sendo construído de forma conjunta pelos personagens.

Visto como um jogo, o RPG não inclui uma partida, mas uma sessão ou aventura onde um dos jogadores desempenha o papel de narrador. Com esse recurso, é possível usar a imaginação para criar simulações que exigiriam muitos recursos, ou até mesmo seriam impossíveis de vivenciar na realidade; no entanto, é

possível vivê-las com o jogo. Os participantes criam seus personagens montando uma ficha, e anotando nela suas habilidades. Durante as situações narradas pelo Mestre (VILAS BOAS; MACÊNA JUNIOR; PASSOS, 2017), o jogador terá que realizar ações passíveis de êxito e de falha, bem como resolver as situações por meio dos dados, onde haverá valores pré-determinados nas regras previamente organizadas e repassadas aos jogadores pelo Mestre/narrador, ação necessária para manter o nível de realidade e para que as ações não sejam encaradas de modo simplista (SITKO; DALL POZZO; COSTA-LOBO, 2019).

O primeiro registro oficial de um jogo de RPG é datado de 1974, a obra *Dungeons & Dragons*, criado por Gary Gygax e Dave Arneson, baseada na literatura de J. R. R. Tolkien e nos jogos War Games (VILAS BOAS; MACÊNA JUNIOR; PASSOS, 2017). O jogo trata-se de uma fantasia medieval. No enredo, os jogadores criam personagens que embarcam em aventuras imaginárias, onde enfrentam monstros, reúnem tesouros, interagem entre si e ganham pontos de experiência para se tornarem incrivelmente poderosos à medida que o jogo avança. Tal forma de jogar permite que cada jogador controle um personagem específico (TOLEDO, 2015).

É difícil precisar o surgimento do RPG no Brasil, mas sabe-se que o primeiro RPG publicado no Brasil foi o **Aventuras Fantásticas**, em 1991, uma série de aventuras-solo que eram também livros-jogos, publicados pela Marques Saraiva (SCHMIT, 2008).

O RPG não é um jogo competitivo, sua filosofia não está em vencer ou derrotar os outros jogadores, mas em utilizar a inteligência e a imaginação para cooperação com demais participantes, e buscar alternativas que permitam encontrar melhores respostas para as situações propostas pela aventura. Por não comportar o conceito de vencedores ou perdedores, o RPG não é propriamente um jogo, mas uma forma de produção literária interativa na qual a história é construída por todos os participantes (RODRIGUES, 2004).

A partir do final da década de 1990, o jogo passou a ser utilizado para fins educacionais, e começaram a ser desenvolvidos os estudos do que chamamos de RPG pedagógico (AMARAL; BASTOS, 2011). Desde então, alguns pesquisadores na área de Educação passaram a trabalhar em pesquisas envolvendo a ambientação do jogo, a motivação dos alunos para os estudos científicos, a

colaboração de atividades em grupo, o desenvolvimento da autonomia do estudante, a melhoria do raciocínio lógico, o uso da argumentação científica. Esses materiais são citados e apresentados em Vilas Boas, Macêna Junior e Passos (2017).

Além disso, a partir de pesquisas como essas, foi possível constatar que quando utilizado de maneira didática, o RPG pode trazer benefícios para as práticas de sala de aula, como a interação social, a cooperação, o incentivo à imaginação, expressão oral, senso de pesquisa, entre outros, destacando a capacidade de comunicação e diálogo.

Tendo em vista que o RPG representa uma importante ferramenta educacional, pode ser responsável por ajudar o aluno a desenvolver sua capacidade de agir pelo desenvolvimento da imaginação e estímulo da criatividade, incrementando a capacidade do educando de resolver situações-problema (VILAS BOAS; MACÊNA JUNIOR; PASSOS, 2017), além de possibilitar a exploração de conceitos científicos de forma interdisciplinar e contextualizada. Além disso, o jogo também é capaz de estimular fortemente a autonomia, pois um mundo onde se está em constante transformação requer aprender a conviver com as incertezas, dúvidas, desafios, imprevistos, assim como preparar-se para essas mudanças, não apenas controlá-las, o que demanda ambientes e formas de aprendizagem que facilitem esse desenvolvimento com formas inovadoras de ensino e aprendizagem (TOLEDO, 2015).

3.2 O estado da arte

Apesar dos benefícios trazidos com abordagens como estas, a literatura na área ainda é pequena. Para se determinar como é essa produção com um maior aprofundamento, e de modo a se compreender como têm sido desenvolvidas as pesquisas educacionais e abordagens didáticas na área, realizou-se na produção do artigo uma pesquisa do tipo “Estado da Arte”, a fim de se averiguar as produções científicas com a temática RPG na forma de artigos, descrevendo assim os conteúdos trabalhados, caracterizando os fundamentos teóricos de aprendizagem, bem como realizando uma análise de que modo a aprendizagem foi avaliada a partir do uso do RPG como uma metodologia inovadora de ensino.

Baseando-se em análises de resumos de artigos científicos publicados no Brasil por meio de revistas de cunho educacional e científico, além de periódicos acadêmicos de diferentes instituições de ensino superior, levando em consideração o recorte temporal dos últimos cinco anos (2015-2019), assim foi feita uma busca em revistas na área de Ensino na Plataforma Sucupira. A pesquisa teve como finalidade conhecer o que já foi produzido sobre o uso dos RPGs e suas contribuições metodológicas no ensino de Física, além de observar nesses conteúdos trabalhados os fundamentos teóricos de aprendizagem e o modo de como a aprendizagem foi avaliada a partir do uso de tal método.

A pesquisa que se denomina Estado da Arte (ROMANOWSKI; ENS, 2006) é de fundamental relevância, tendo em vista que possibilita constatar e analisar como tem sido realizada a produção sistemática científica de determinado assunto.

Para Prigol (2013), o desenvolvimento de uma pesquisa do tipo Estado da Arte ou Estado do Conhecimento requer a compreensão de um estudo descritivo, pois produz uma situação com uma condição específica e de amostra aleatória, sendo também analítica. A presente pesquisa foi realizada de acordo com as seguintes etapas procedimentais:

- Definição dos artigos a serem pesquisados: o uso do RPG no ensino de ciências no período de 2015 – 2019;
- Levantamento das principais revistas e periódicos universitários da Plataforma Sucupira (subordinada à CAPES) de Qualis A e B, na área de Ensino: acesso à Plataforma Sucupira e seleção de revistas e periódicos que se enquadravam no padrão pré-determinado, sendo um total de 353 (trezentos e cinquenta e três) revistas e periódicos;
- As palavras chave que relacionassem artigos que contemplassem o conteúdo RPG foram escritas no campo de pesquisa na página de cada revista ou periódico. Foram utilizados como termos para busca as palavras RPG, Role Playing Game, e jogo de simulação;
- Com essa delimitação, foi possível encontrar 45 (quarenta e cinco) artigos de diferentes áreas (Química, Física, Língua Portuguesa, Língua Inglesa, Enfermagem, Biologia e Psicologia), publicados nas revistas brasileiras entre os anos de 2015 a 2019, que formaram o corpus da pesquisa;

- Para a análise das publicações a partir dos resumos, fez-se um critério de classificação com os artigos que estavam relacionados à área da Física e da Química e das Ciências de modo geral. Com isso, criou-se uma tabela enumerando-os de um a nove (1- 9), com seus respectivos títulos, de modo a codificá-los para maior praticidade;

- Em seguida, fez-se a leitura e análise de cada um dos 9 selecionados.

No processo de seleção dos artigos, como já citado, levou-se em consideração uma análise mais aprofundada daquilo que já foi produzido sobre o uso dos RPGs na área de ensino, bem como as suas contribuições metodológicas dentro do ensino de Física e Ciências em geral, além de se observar nestes conteúdos trabalhados os fundamentos teóricos de aprendizagem e o modo como a aprendizagem foi avaliada a partir do uso deste método. O quadro 4 mostra a relação de artigos selecionados e o título de cada um em ordem numérica, acatando aqueles que estão relacionados ao ensino de Física. Após rigoroso critério de classificação, chegou-se a uma amostragem de 9 artigos.

Quadro 4 - Relação dos artigos encontrados nas principais revistas acadêmicas.

ARTIGO	TÍTULO
1	O RPG como estratégia didática para o ensino de radioatividade (FABRÍCIO et al., 2017)
2	RPG pedagógico como ferramenta alternativa para o ensino de Física no ensino médio (VILAS BOAS, MACÊNA JUNIOR e PASSOS, 2017).
3	O role-playing game na sala de aula: uma maneira de desenvolver atividades diferentes simultaneamente (AMARAL & BASTOS, 2011)
4	Role-playing games nas aulas de Física (NASCIMENTO JR e PIASSI, 2015)
5	Ensinando atomística com o jogo digital “em busca do Prêmio Nobel” (DINIZ e SANTOS, 2019)
6	RPG e Física: um ambiente para transição entre o senso comum e o conhecimento científico (OSELAME e OLIVEIRA, 2018)
7	A saga da Física: um RPG (role-playing game) para o ensino e aprendizagem de história da Física (SANTOS e DAL-FARRA, 2013)
8	Calor, temperatura, poções e magias: o uso do RPG como ferramenta avaliativa em aulas de Física no ensino médio (SOUSA & SILVA, 2014)
9	Jornada a marte: adaptação do RPG para o ensino de Física/Astronomia (SITKO, DALL-POZZO e COSTA-LOBO, 2019)

Fonte: Produção do próprio autor.

Procedeu-se então à análise dos artigos selecionados, como apresentado no Quadro 5.

Quadro 5 - Análise dos artigos selecionados.

Artigo	Tema/conteúdo o trabalho	Método de coleta de dados e de avaliação de aprendizagem do RPG	Teoria de aprendizagem utilizada	Apresenta a aventura no artigo?
1	Radioatividade	Análise de conteúdo	Construtivismo	Não, apenas parcialmente, porém identifica os principais papéis
2	Ondulatória, cinemática, eletricidade, formas e geração de energia	Questionários, entrevistas e registros de atividades feitas pelos alunos	Construtivismo	Sim, detalha passo a passo cada procedimento.
3	Física, Matemática e História	Registros de atividades, conhecimento em ciências e análise de conteúdos	Teoria histórico-cultural de Vygotsky	Sim, mostra personagens, a época em que a aventura ocorre, além de contextualizar com outros conteúdos além das ciências.
4	Física Moderna	Relatórios abertos (sem questões definidas) sobre as percepções da atividade. Diário de bordo comentando a aventura	Construtivismo	Não traz detalhes da aventura, indica apenas em qual cenário ela será desenvolvida.
5	Atomística	Pré-teste, depoimentos, entrevistas em relação ao jogo aplicado	Cognitivismo/ construtivismo	Sim. A aventura é digital, apresenta alguns detalhes, cenários, entre outros
6	Torque, termodinâmica, hidrodinâmica	Entrevistas gravadas, onde perguntou-se aos alunos os aspectos relativos ao	Construtivismo	Sim. A aventura é composta por 5 desafios onde os participantes terão que mostrar seu conhecimento

		jogo, à postura dos mesmos e às ações desenvolvidas para a solução dos desafios		científico dentro da física
7	História da Física	Questionário, contendo questões fechadas e abertas. A análise das respostas para verificar se os objetivos do jogo foram atingidos, ainda que parcialmente	Construtivismo	Sim. A aventura também traz a interdisciplinaridade e da Física com as Ciências Humanas (História)
8	Calor e temperatura	Atividade contendo desafios a serem respondidos pelos alunos, e no final fez-se um levantamento, discutindo-o com eles	Construtivismo	Não. Apenas apresenta seis intervenções que podem ser utilizadas pelo professor como fonte de dados para a avaliação da aprendizagem dos alunos sobre os conceitos em Física.
9	Mecânica/Astronomia	Análise dos níveis de aprendizagem, através da Taxonomia SOLO.	Construtivismo/ Taxonomia Solo	A aventura é muito detalhada, inclusive mostra todo enredo, incluindo fala do mestre mostrando a missão

Fonte: Produção do próprio autor.

A partir dos artigos analisados no quadro 5, é possível ter uma ideia a respeito de quais são as áreas da Física que têm sido trabalhadas com tal metodologia, e foi possível constatar que são temas diversificados. Além disso, foi possível também entender como é feita a pesquisa nessa área, ou seja, quais são os métodos de coleta de dados e avaliação utilizados. Foi possível perceber que os métodos mais utilizados são o da análise de conteúdo, a partir de gravações dos alunos, ou mesmo a partir de seus escritos, assim como questionários. A partir de

métodos como a análise de conteúdo, é possível perceber indícios de aprendizagem efetiva nos alunos, diferentemente dos processos avaliativos que geralmente ocorrem na escola. Dessa forma, pode-se destacar então que o RPG também é capaz de trazer bons resultados para se avaliar o processo de aprendizagem.

Quanto ao detalhamento da aventura no artigo, alguns até trazem a aventura exposta, mas, ainda assim, somente um, o artigo 9, traz a aventura detalhada a ponto de ser utilizada diretamente em sala de aula por um professor que nunca realizou prática similar. Nota-se então a necessidade de que mais aventuras sejam criadas e apresentadas de maneira detalhada, de modo a oferecer material para que o professor possa utilizar em sua prática docente. Além disso, vale ressaltar que foram pesquisadas 353 revistas, e dessas, apenas 9 artigos que tratam do RPG no Ensino de Física foram encontrados, o que mostra que, apesar de ser uma boa alternativa para o ensino construtivista, a área ainda apresenta poucos resultados de pesquisa, assim como produtos educacionais.

Retomando a atenção aos artigos analisados, tiveram aplicações no contexto de sala de aula, onde, na visão dos autores, foi possível se obter um satisfatório e eficaz aprendizado, oferecendo aos estudantes uma visão multidisciplinar sobre variados assuntos dentro das ciências. Na visão de alguns autores como Amaral e Bastos (2011),

trata-se da possibilidade de conduzir atividades distintas, que envolvem conteúdos diferentes, da mesma ou de outras disciplinas, simultaneamente. Desse modo, é possível atender a diferentes demandas de uma sala de aula, contemplando os diversos interesses dos alunos e suas especificidades em relação ao saber (p. 103).

Já Cavalcanti e Soares (2009) dão ênfase à avaliação, mostrando que é possível ao aluno se expressar inclusive em seus erros, podendo fazer correções de possíveis erros durante o jogo, pois essa liberdade de ação do participante (aluno) propicia a construção de ações conjuntas e cooperativas. Visto como um objeto de aprendizagem (OA), o uso de metodologias ativas com uso do RPG tornou as aulas de Física mais interessantes, contextualizadas e facilitou a aprendizagem do assunto relacionado.

Outra temática bastante focada nos artigos analisados é a ideia do protagonismo, pois uma das propostas didáticas no RPG é que o aluno seja protagonista de seu próprio aprendizado ao ser inserido em uma situação problema em que conceitos físicos previamente estudados estão presentes. A partir do quadro

5, é possível perceber que todos os artigos estão baseados em propostas construtivistas.

Na literatura em análise, também se destaca a questão da imaginação e seu desenvolvimento. A fim de viabilizar a aplicação em aulas de Física, faz-se necessário mostrar que o uso e desenvolvimento da imaginação e criatividade fazem parte do processo de aprendizagem, como forma de construção de realidades. De acordo com Nascimento Junior e Pietrocola (2005), o RPG só pode ser utilizado caso se estabeleça uma ligação direta com o conhecimento de construção do mundo físico, ainda que o processo se inicie na criação de mundos imaginários, caracterizando o que chamamos aqui de Fantasia Científica.

Demais autores constataram em seus resultados e discussões que o RPG Pedagógico é uma possível ferramenta para o aprendizado da Física, com a capacidade de melhorar o interesse dos alunos, estimulando a imaginação e o trabalho em equipe, além de ser uma proposta divertida. Portanto, o uso do RPG como uma proposta de ensino e aprendizagem dentro da Física pode ser capaz de fazer com que os alunos, usando imaginação e criatividade, assimilem novos conteúdos e conceitos físicos motivados pelo instinto de curiosidade aguçado durante o jogo, dando significado prático ao que foi ensinado.

Entende-se, assim, que o RPG atua como um mediador entre a ciência e a sala de aula, tendo em vista que sustenta a criatividade e imaginação nas aulas de Física, dando ao aluno a possibilidade de realizar exercícios mentais para solucionar os problemas que lhes são apresentados, aplicando-os em situações práticas. Além disso, o jogo RPG como ferramenta didática motiva o estudo da Física como ciência, permitindo ao aluno controlar, discutir e construir seus conceitos físicos, tornando a aprendizagem mais significativa.

CAPÍTULO 4

4 A TEORIA CONSTRUTIVISTA

Neste capítulo, é apresentado o referencial teórico educacional utilizado como base para a proposta e execução da sequência didática elaborada neste trabalho, que é o Construtivismo baseado na teoria sociointeracionista de Vygotsky e o alinhamento construtivista de Biggs.

4.1 Construtivismo e Ensino

A proposta da Teoria Construtivista, no âmbito processual de ensino e aprendizagem dentro do contexto escolar, está permeada de inúmeras discussões acerca do que esta vem a significar. Várias contradições aquecem essa discussão no que se refere à acepção particular do Construtivismo, assumida tanto por profissionais da educação, bem como pelas direções de ensino, quando buscam transmitir a oportunidade de um tratado didático pedagógico inovador e que atenda às exigências das políticas públicas no campo da educação.

Sobre a teoria construtivista, Gaspar (2014) enfatiza que esta não tem uma conceituação definida, mas que podem ser consideradas construtivistas todas as práticas didáticas que apresentam as seguintes características, onde este assim as define:

- (I) Tem como ponto de partida a detecção ou conhecimento já pré determinado das concepções dos alunos em relação aos conteúdos a serem estudados;
- (II) Os alunos constroem ativamente o seu conhecimento no desenvolvimento das atividades que são planejadas para esse fim;
- (III) Os professores orientam a ação dos alunos, estimulam a interação entre eles, apresentam desafios, dão pistas, mas nunca ensinam, nem definem conceitos ou os apresentam prontos ou resolvem problemas (GASPAR, 2014, p. 77).

Neste sentido, as teorias ditas construtivistas, que se baseiam nos critérios citados, buscam na construção do conhecimento e o meio favorável à sua compreensão.

Nas últimas décadas, a teoria construtivista teve visível destaque em todas as instâncias do meio educacional, sendo assim um discurso enfatizado pela fala de pedagogos e demais educadores. Neste sentido, compreende-se que no ensino

construtivista, o aluno é colocado no lugar de protagonista, ou seja, construtor do conhecimento, saindo assim da condição de passivo no processo de ensino e aprendizagem (SANTOS; OLIVEIRA; JUNQUEIRA, 2014).

Nesse sentido, surgiu uma nova visão sobre o aluno e seu papel enquanto aprendiz. O discente deixa de ser visto como um indivíduo passivo, vazio de conhecimento, e passa a assumir uma participação ativa no processo de aprendizagem. Diante disso, a motivação do aluno também passou a ser considerada como um elemento importante no processo de construção do conhecimento.

Uma ideia fundamental da teoria construtivista era não levar em consideração o conhecimento como a reprodução de uma realidade independente de quem a conhece.

O construtivismo valoriza o aluno como sujeito ativo no processo ensino e aprendizagem, contemplando seus motivos, inquietações, demandas, intenções, afetividade, expectativas e relações. Depreende-se então que no processo construtivista o sujeito é proativo, ou seja, busca antecipar, identificar e resolver possíveis problemas, sendo assim considera-se este como parte importante de atividade do universo e não apenas um aglomerado de células que recebe passivamente impulsos do meio em que está inserido (VASCONCELOS; MANZI, 2017).

Com esse desenho progressista, o construtivismo:

Trouxe inovações no sentido de respeitar as ideias do aprendiz, de estar comprometido com um ensino significativo, capitalizando e utilizando o que o estudante já sabe, valorizando a aprendizagem em grupo, a aprendizagem cooperativa, por perguntas ou investigação, identificando um importante papel pedagógico para a história e a filosofia da ciência, etc. (LABURÚ; CARVALHO; BATISTA, 2001).

De certo modo, essa valorização se estabelece na concepção de que a condição de existência humana não é algo limitado, assim, a mesma se define pelo livre arbítrio do indivíduo, que é o agente responsável por suas escolhas, bem como as consequências advindas destas.

Neste sentido, entende-se de que o conhecimento não é o resultado de uma mera cópia da realidade pré-existente, mas um processo dinâmico e interativo através do qual a informação externa é interpretada e reinterpretada pela mente (GONZALEZ-TEJERO; PONS PARRA, 2011, p.11).

O pensamento construtivista reduz a assimetria na relação docente-discente no desempenho de seus papéis no processo de ensino e aprendizagem. É muito comum se ouvir relatos quanto às fragilidades pedagógicas que tem se avolumado, e muitas delas sem uma efetiva solução para sanar tais problemas, como na formação escolar ao longo do ciclo acadêmico do indivíduo. Entretanto, a prática construtivista não anula a responsabilidade e carga de competência do docente; igualmente, não elimina a clássica troca de conhecimentos. O pensamento construtivista também não desprestigia a experiência, as impressões de mundo e fatores condicionantes da realidade do aluno (saberes locais, aspectos culturais, regionais, históricos e geográficos) (VASCONCELOS; MANZI, 2017).

Entende-se que a formação do sujeito está constituída por uma diversidade de aspectos, como conhecimentos prévios, sendo que alguns deles já estão interiorizados, porém, outros precisam de aprimoramentos, motivações, funcionamento cognitivo, prazer pela descoberta de novas experiências, além do contato com a cultura, bem como sua inserção social. De certo modo, tudo isso agrega dimensões conceituais, ideológicas, políticas, culturais, educacionais que devem ser explicitadas e apreendidas no processo de ensino e aprendizagem. Portanto, o papel do educador, nesse contexto, propõe-se a manejar didaticamente esses elementos citados, com o objetivo de mediar e facilitar a compreensão acerca dos objetos de aprendizagem.

Ainda no campo educacional Custódio *et al.* (2013) defendem que o construtivismo contribuiu para o avanço da investigação sobre processos de ensino e aprendizagem. Os autores sintetizam tais contribuições em quatro aspectos que envolvem o engajamento do sujeito na busca pelo conhecimento; a questão do respeito em relação a este, bem como suas próprias ideias; assim como a compreensão da ciência e a valorização nos conhecimentos prévios do aluno, que podem ser moldados ou mesmo aprimorados, na medida em que se alcançam novos saberes.

Além do construtivismo, o sociointeracionismo, conhecido pela teoria de aprendizagem de Vygotsky, também é essencial para a aprendizagem efetiva.

4.2 As contribuições de Vygotsky na teoria construtivista

Lev Semionovich Vygotsky nasceu em Orsha, um pequeno povoado da Bielorrússia, atualmente Belarus em 17 de novembro de 1896, teve várias formações acadêmicas entre elas a do Direito, filosofia, literatura e psicologia. Faleceu jovem aos 38 anos em 1934, deixando contribuições importantes na área da Educação, bem como da Psicologia.

A teoria de Vygotsky é vasta e abrangente, podendo ser sintetizada, contemplando aspectos como a sociabilidade do ser humano, a interação social, signo, cultura, funções mentais, entre outros (IVIC, 2010).

Na concepção de Vygotsky, o ser humano é caracterizado por uma sociabilidade primária, paralelo à teoria de Piaget, que em relação à questão da psicologia do desenvolvimento, privilegia a maturação biológica do indivíduo, enquanto para Vygotsky a interação social, bem como a dimensão histórica do desenvolvimento mental, são os fatores mais relevantes. Parte desse raciocínio a ideia de que o desenvolvimento não pode ser compreendido sem que haja referências ao contexto social e cultural no qual o indivíduo se encontra inserido. Além disso, é enfatizado que o desenvolvimento cognitivo não é produto de estágios em crescimento, como defendia Piaget, mas sim são mecanismos que tem princípios de natureza social (MOREIRA, 2010).

Entende-se que tanto Vygotsky como Piaget se apropriaram de conceitos construtivistas na elaboração de suas teorias, haja visto que se tratando de construtivismo, a noção que se tem é que a aprendizagem significativa é aquela que se dá por meio da interação do sujeito com o objeto e outros sujeitos (COELHO; PISONI, 2012).

As obras de Vygotsky apresentam teses onde são descritas as relações do indivíduo dentro da sociedade, afirmando assim que as características humanas não são natas e que, portanto, elas são resultado do convívio com o meio externo. Por outro lado, é possível dizer que as obras desse teórico também destacam as relações de desenvolvimento e aprendizagem do ser humano.

Na perspectiva da teoria de Vygotsky, é proposto que no processo de ensino e aprendizagem exista uma consolidação dos conceitos aprendidos, sendo que

estes vão se alicerçando na medida em que se propiciam situações que possam estimular aquilo que foi possível o indivíduo aprender.

Sobre as possibilidades de aprendizagem Vygotsky, argumentava que a criança inicia seu aprendizado antes de frequentar a sala de aula, e o fato de ir à escola faz com que ela assimile novos conceitos úteis ao seu desenvolvimento. Entende-se que a aprendizagem é um processo contínuo e, portanto, a educação tende a ser caracterizada por saltos qualitativos de um nível de aprendizagem para o outro; cabe aqui ressaltar o quanto as relações sociais são importantes, neste sentido.

Vygotsky fala da existência de dois tipos de desenvolvimentos identificados como: desenvolvimento real, que é caracterizado pelos conhecimentos que a criança já tem consolidado, e o desenvolvimento potencial, que se trata daquilo que a criança pode realizar, sendo assistida por um adulto (ou alguém mais capaz).

Vygotsky chamou a distância entre os dois níveis de desenvolvimentos de zona de desenvolvimento proximal (ZDP). Neste sentido, o teórico a definiu que a distância entre o nível de desenvolvimento cognitivo real do indivíduo seja a capacidade que este tenha de resolver problemas de modo independente, e o nível de desenvolvimento potencial seja medido em função da solução do problema sob a orientação de um adulto, ou em parceria com outros companheiros (MOREIRA, 2011).

A ZDP se caracteriza pelas funções que ainda não estão amadurecidas o suficiente, porém, que estão caminhando rumo a esse processo. Portanto, ela representa a região na qual o desenvolvimento cognitivo acontece, sendo assim proativa e mudando constantemente.

Dentro dessa ZDP os indícios de aprendizagem deverão acontecer em consequências das interações sociais, porém, cabe aqui ressaltar que a aprendizagem tem um importante papel na determinação dos limites presentes na ZDP. Assim sendo, o limite inferior é definido como o real desenvolvimento do aprendiz, já o superior, diz respeito aos processos instrucionais decorrentes do ato de brincar, do ensino formal ou informal ou do trabalho. Portanto, a relevância maior deste contexto é mesmo a interação social do indivíduo (MOREIRA, 2010).

O papel do professor está associado à ZDP, pois é nesse ponto que são trabalhados os conhecimentos que contribuem para um desenvolvimento eficaz e completo nos estudantes.

A teoria de Vygotsky se constitui de uma fundamental importância no processo de ensino e aprendizagem, propiciando assim condições que favoreçam a criatividade e a autonomia dos aprendizes, na perspectiva de sujeito ativo no meio social.

4.3 O Alinhamento Construtivista

Proposto e desenvolvido por John Burville Biggs, o alinhamento construtivista trata-se de uma abordagem educacional (RAMOS, 2017), cuja ideia tem bases de fundamentação no campo do Construtivismo, teoria esta que dá ênfase aos alunos como protagonistas na construção do conhecimento com suas próprias atividades, com base naquilo que os mesmos já conhecem. Por esse modelo de ensino, é levado em consideração aquilo que os docentes fazem para promover a aprendizagem dos discentes e o que estes fazem para aprender e construir sua própria aprendizagem.

O Alinhamento Construtivista foi desenvolvido por meio do trabalho de Biggs, enquanto este lecionava *A natureza do ensino e aprendizagem* em um curso para docentes. Ao avaliar a turma, Biggs propôs um método de avaliação que utilizaria do uso do portfólio de avaliações constituído de itens sugeridos por ele inicialmente, e posteriormente esses mesmos itens seriam selecionados pelos próprios, tendo como critério os mais relevantes. Diante dos resultados dos alunos, John Biggs mostrou-se satisfeito devido à turma ter alcançado nota além do que ele esperava. Embora não sabendo, Biggs estava se apropriando de um dos exemplos de ensino e aprendizagem que se baseia em resultados, a qual com o tempo veio a assim denominar, Alinhamento Construtivista (RAMOS, 2017).

De acordo com Biggs (2003), nesse modelo de ensino, o aluno constrói sua própria aprendizagem por meio de atividades de aprendizagem efetiva. O trabalho do professor é criar um ambiente de aprendizagem que apoie as atividades de aprendizagem e que estas estejam adequadas para alcançar os resultados de aprendizagem desejados. A chave do alinhamento é que todos os componentes do

sistema de ensino, atividades de ensino, atividades de aprendizagem e tarefas de avaliação estejam alinhados uns com os outros.

Por se tratar de uma teoria sistêmica, todo o contexto docente é percebido como um "sistema", para o qual precisamos entender as partes individuais e como elas interagem para entender e fazer previsões sobre todo o sistema. Vista como uma corrente construtivista, a mesma se caracteriza pelo fato de que o conhecimento é pessoal e de que o significado é ativamente construído pelos próprios alunos através do engajamento ativo com o sujeito, causando assim um contraste com a ideias, de um conhecimento que é 'transmitido' de um professor ativo para um aluno passivo.

Finalmente, é uma teoria construtiva, no sentido de que incorpora conselhos construtivos, direcionando o que os professores devem fazer, a fim de que se possa garantir o aprendizado dos que seus alunos, acerca do que pretendem. Nesse caso, o papel do professor em fazer um alinhamento com os conteúdos a serem aplicados, torna-se um fator importante (BRABRAND; DAHL, 2007).

O propósito do alinhamento construtivo reflete o fato de que a atividade de aprendizagem nos resultados pretendidos, se expressa como um verbo que precisa ser ativado no ensino, de forma que os resultados sejam alcançados na avaliação, tarefa esta cuja função é verificar se o processo de construção do conhecimento está ocorrendo, bem como se o resultado foi de fato alcançado. Portanto, para que se alcance êxitos, a premissa do alinhamento deve se concentrar na ideia de que as práticas de ensino devem estar ajustadas ao processo de avaliação da aprendizagem.

CAPÍTULO 5

5 PERCURSOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo, é apresentada a abordagem metodológica utilizada neste trabalho, bem como o contexto da pesquisa. São apresentados os procedimentos que norteiam as etapas de aplicação do produto educacional, para que fosse possível obter os dados mais relevantes provenientes da execução do mesmo em sala de aula. Os resultados logrados a partir da aplicação do produto servirão como base fundamental para a análise, procurando assim observar os possíveis indícios de aprendizagem naquilo que foi proposto.

5.1 Classificação da pesquisa e Descrição do ambiente de Aplicação do Produto Educacional

Em função do contexto da pandemia mundial provocada pelo SARS-COV 2 (Covid-19), tornou-se inviável a aplicação do produto educacional de modo presencial, devido à publicação dos protocolos estabelecidos pela OMS (Organização Mundial da Saúde) e Ministério da Saúde, os quais exigiram que houvesse distanciamento social como uma das formas de se evitar a propagação do vírus entre as pessoas. Sendo assim, a aplicação da sequência didática e do produto educacional ocorreram por vias remotas, utilizando as plataformas educacionais: o *google meet*, para ministrar as aulas teóricas e fazer a aplicação do produto educacional, e o *google forms*, para direcionamento dos questionários pré e pós- aplicação

O tipo de metodologia de pesquisa utilizada neste trabalho é de caráter qualitativo, sendo que a mesma se fundamenta na ideia de que esse tipo de pesquisa trabalha com o sentido de inteligência do pesquisador, tendo em vista que a preocupação com o processo é muito maior do que com o produto, pois é nessa fase que são construídas as hipóteses que nortearão a própria pesquisa e possibilitarão a formulação descritiva necessária para a construção de um novo conhecimento (SILVA, 2014, p.110).

Considerando que a abordagem qualitativa seja um método muito utilizado no contexto educacional, aqui será priorizada a observação como estratégia para coletar os dados. Considera-se a observação como o instrumento mais disponível na

técnica de coleta de dados, pressupondo assim que a realização de uma pesquisa possa ter objetivos criteriosamente formulados, planejados de modo adequado, registro sistemático dos dados, verificação da validade de todo o desenrolar do seu processo e da confiabilidade dos resultados (VIANNA, 2003).

O projeto foi encaminhado ao Comitê de Ética da Universidade Federal do Pará, que atua em acordo com a legislação vigente na Plataforma Brasil, que é um sistema eletrônico criado pelo Governo Federal para sistematizar o recebimento dos projetos de pesquisa que envolva seres humanos nos Comitês de Ética em todo o país. Ao ser analisado o projeto, pelo Comitê de Ética da Pesquisa, passou-se ainda por algumas correções, e feita as mesmas, assim foi aceito em 10 de abril de 2020. O documento comprobatório de autorização da pesquisa pelo comitê encontra-se no Anexo A.

Compreende-se o tratamento realizado em uma pesquisa qualitativa remete a questões de natureza particular, neste sentido Minayo (1994) destaca que esse tipo de trabalho leva em conta uma série de significados, crenças, valores e atitudes, motivos, aspirações, e isto condiz a um espaço mais reentrante dos vínculos, bem como das atividades e demais eventos que não podem ser sintetizados ao aparelhamento de variáveis.

O embasamento teórico da pesquisa tem como pretensão investigar os indícios de aprendizagem dos sujeitos envolvidos na pesquisa por meio de metodologias ativas no Ensino Médio, envolvendo o protagonismo do aluno e a gameficação. A estratégia metodológica usada para esse fim foi a adaptação do jogo de RPG ao ensino, o qual envolve simulação de papéis, onde os alunos assumem os papéis de personagens e criam narrativas de modo colaborativo.

Com base nas teorias construtivistas de aprendizagem de Vygotsky, foram feitas as investigações a que constatou indícios de aprendizagem. Pela proposta construtivista, o aluno constrói sua própria aprendizagem por meio de atividades que potencializem a aprendizagem efetiva.

O trabalho do professor é criar um ambiente de aprendizagem que apoie as atividades de aprendizagem e que estas estejam adequadas para alcançar os resultados de aprendizagem desejados. A chave do alinhamento é que todos os componentes do sistema de ensino, atividades de ensino, atividades de aprendizagem e tarefas de avaliação estejam alinhados uns com os outros. É

possível citar também com base a teoria sociointeracionista de Vygotsky, a ideia de que o desenvolvimento cognitivo do aluno se dá por meio da interação social, ou seja, de sua interação com outros indivíduos e com o meio.

Através das análises dos dados obtidos no ato da aplicação, foram observados indícios de aprendizagem. Portanto, tal ação envolve a aplicação de questionários, através do *google forms*, e observação de atitudes e falas durante o jogo.

5.2 Etapas de aplicação da sequência didática e do produto educacional

Devido à aplicação ter sido no modelo remoto, em decorrência da pandemia do COVID19, houve uma reelaboração da sequência didática. Neste sentido, foram propostos três encontros⁴, sendo dois deles com aulas teóricas de 60 minutos, e o terceiro sendo a aplicação do jogo de RPG. Anteriormente ao primeiro encontro houve a aplicação de um questionário pré, e posteriormente ao último encontro, houve a aplicação de um questionário pós aplicação.

A seguir, é comentado a respeito de tais questionários, seguido da sequência didática.

5.2.1 Os questionários pré e pós-sequência didática

Os questionários são os instrumentos mais tradicionais na coleta de informações e consistem em uma série de perguntas que podem ser: fechadas, quando são apresentadas alternativas para as respostas; abertas, quando não são dadas alternativas para as respostas; e mistas, quando combinam partes com perguntas abertas e partes com perguntas fechadas.

As questões fechadas são as mais fáceis de responder, copilar e tratar estatisticamente. Já as abertas exigem maior atenção por parte do entrevistado, pois exigem tempo adequado e raciocínio na formulação das respostas. Embora seja um instrumento pouco utilizado no caso das pesquisas em abordagem qualitativas, os questionários podem servir de fonte complementar de informações, em especial na fase inicial e exploratória da pesquisa (FIORENTINI; LORENZATO, 2006).

⁴ Na proposta original eram 9 encontros.

Os questionários utilizados na sequência didática serviram de referências para a coleta dos dados, e diante das informações que foram catalogadas, foi possível observar o nível de conhecimento dos participantes antes e depois da aplicação do produto. Aqui cabe ressaltar que na coleta e no uso dos dados aqui, apresentados, foram cumpridos os procedimentos legais éticos que dizem respeito à investigação e intervenção, considerando assim os princípios da Resolução do Conselho Nacional de Saúde nº 510/2016, que regulamenta pesquisa com seres humanos no país, passando pelo Comitê de Ética em Pesquisa. Com o objetivo de assegurar o anonimato, a autorização e o sigilo dos participantes. Neste sentido, foram apresentados e preenchidos pelos participantes os dois documentos necessários a realização desta pesquisa que são o Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE) e Termos de Consentimento Livre e Esclarecido (TACLE), o documento comprobatório que autoriza a realização desta pesquisa, foi autorizado pelo Comitê de ética da UFPA e o mesmo encontra-se no anexo A.

O tipo de questionário utilizado foi do tipo misto, onde se procurou elencar no questionário pré, 15 indagações no total, as quais se referiam a assuntos como ensino de Física, Astronomia, Física Moderna e RPG. O questionário pré-sequência a ser aplicado encontra-se no anexo B.

Já no questionário pós, são apresentadas questões abertas e fechadas, num total de 15 perguntas, onde se procura avaliar aquilo que o aluno aprendeu durante o sequenciamento didático, mas, sobretudo ressaltando os pontos positivos e negativos, quais conhecimentos novos foram adquiridos com o jogo de RPG. Neste sentido, foram também repetidas algumas das perguntas que estavam presentes no questionário pré.

A avaliação por esse tipo de estratégia (questionário pré e pós) tem como objetivo observar os ganhos de aprendizagens alcançados após um processo de intervenção didática. Inicialmente é analisado aquilo que o aluno já sabe, seu nível de abstração, organização de ideias e complexidade de pensamento.

Depois dos processos intervencionais, aplicou-se outro questionário, agora com o objetivo de avaliar se o aluno ampliou seus conceitos em relação aos assuntos em foco, e o que este foi capaz de assimilar. Comparando os dois questionários pré e pós, consegue-se checar o nível de aprendizado, se houve efetivos ganhos, mediante as respostas com base nos critérios de estabelecidos que

envolvem o nível de abstração, a capacidade em argumentar, raciocinar e convergir as ideias mediante o tema proposto. Após realizar essa estratégia é possível ver se houve indícios reais de aprendizagens.

No capítulo a seguir, é apresentada a sequência didática aplicada em detalhes, para que se compreenda em que momento e de que modo é aplicado cada instrumento.

Entendida como um conjunto de atividades ligadas entre si, as sequências didáticas são meios pelos quais se planeja para ensinar um conteúdo, etapa por etapa. Organizadas de acordo com os objetivos que o professor quer alcançar para a aprendizagem de seus alunos, as mesmas envolvem atividades de aprendizagem e de avaliação. A sequência é estabelecida em um processo interativo onde o objetivo é a elaboração de um grupo de decisões para que os processos tenham significados e as estratégias sejam mais efetivas.

A sequência didática proposta tem por objetivo abordar o tema de modelo atômico, a partir da perspectiva quântica, e linhas espectrais, a partir da contextualização com a espectroscopia estelar, neste caso pode-se notar que cada uma das três aulas tem seus objetivos específicos para cada conteúdo tratado. Neste caso, serão estudados: a evolução dos modelos atômicos ao longo dos séculos, as linhas espectrais do átomo de hidrogênio, a análise dos elementos químicos presentes nas estrelas, por meio de processos que envolvem a emissão e absorção de radiação pela matéria, além de descrever os diferentes tipos de espectros emitidos pelas fontes de luz do nosso cotidiano, inclusive alguns tipos de lâmpadas.

As atividades a serem realizadas terão a participação ativa de 10 alunos regularmente matriculados na 2ª série de uma escola estadual, na cidade de Marabá-Pa. Em função do contexto da pandemia mundial causada pelo SARS-COV 2 (Covid-19), implica-se que haja distanciamento social como forma de prevenção ao corona vírus, sendo assim todas as atividades elencadas nesta sequência, serão aplicadas de forma remota, utilizando assim plataformas digitais como *google meet* e *google forms*. Dividida em 3 aulas de 60 minutos, conforme horário estabelecido pela escola, a sequência didática abrangerá diferentes atividades, tendo em vista seus objetivos de desenvolvimento e aplicação, conforme é mostrada no roteiro.

Portanto, assim se espera que através da sequência didática desenvolvida seja possível verificar se houve efetivo significado no ensino e na aprendizagem por meio da aplicação desta.

5.2.2 As etapas da sequência didática

5.2.2.1 1ª Aula

- ✓ Coleta de dado 1: Sondagem inicial. Aplicação do questionário anteriormente à aula.
- ✓ O brilho dos astros e estrelas. A captação e a formação das linhas espectrais que compõem as estrelas.
- ✓ As linhas espectrais dos astros.

Objetivos:

- Avaliar, por meio de questionário, o conhecimento prévio do aluno sobre alguns aspectos da Astronomia, modelos atômicos, e a relação entre modelos atômicos e a Astronomia;
- Promover a compreensão e fixação de conceitos relacionados à Astronomia através do estudo de Física Moderna envolvendo o conteúdo espectroscopia estelar;
- Caracterizar a emissão e absorção de radiação pelo átomo, de acordo com o modelo de Bohr para o átomo de hidrogênio;
- Utilizar o diagrama de Balmer para demonstrar os níveis de energia do átomo de hidrogênio e as linhas de emissão para a transição de diferentes níveis energéticos, comparando assim com o espectro para diferentes elementos contidos em uma estrela;
- Relacionar as linhas ou raias espectrais vistas em uma estrela com as “impressões digitais” de cada elemento químico nela presente.

Conteúdos: Uma breve História do universo em que estamos inseridos.

O brilho presente nas estrelas: composição e formação.

A luz e as linhas espectrais dos astros.

Metodologia:

- Explicação dos assuntos com uso de slides, utilizando o *google meet* para interação com os alunos;
- Explicação sobre o trabalho dos astrônomos e demais cientistas na captação das linhas espectrais;
- Apresentar gráficos utilizados na captação das linhas espectrais das estrelas, a tabela que mostra a classificação das mesmas em função da temperatura, e os equipamentos utilizados no trabalho de captação, como telescópios e espectroscópios.

Na sequência, são mostrados os espectros de treze elementos químicos e de algumas estrelas. Ao observar os espectros, os alunos deverão verificar os elementos químicos presentes em cada estrela. Após a realização da atividade, será feito o feedback do assunto, e, em seguida, os comentários orais da turma sobre como foi à atividade, seus anseios, dúvidas e dificuldades.

Em seguida, ocorre a sugestão do link do vídeo Estrelas, como uma dica de conhecimento no qual eles podem assim ampliar o saber sobre as estrelas <https://www.youtube.com/watch?v=oS7O0sX31Eg&t=805s>. No vídeo, é feita uma abordagem geral sobre as estrelas.

5.2.2.2 2ª aula

- ✓ Atomística: Introdução aos modelos atômicos: a evolução, os tipos de modelos criados ao longo dos séculos (abordagem histórica).
- ✓ Atomística: O modelo atômico de Bohr, as linhas e séries espectrais do hidrogênio, bem como sua relação com a astronomia; números quânticos.

Objetivos:

- Demonstrar através da linha do tempo como se deu a evolução dos modelos atômicos.
- Caracterizar o contexto histórico teórico-experimental do início do século XX que influenciou a elaboração dos modelos atômicos de J. J. Thomson e Ernest Rutherford;
- Mostrar as fragilidades dos modelos de J.J. Thomson e Ernest Rutherford;

- Caracterizar o quadro teórico-experimental da primeira década do século XX frente aos fenômenos da radiação de corpo negro, o efeito fotoelétrico, o modelo de J. J. Thomson para o átomo, o modelo de Rutherford e os resultados da espectroscopia;
- Caracterizar o modelo atômico de Bohr para o átomo de hidrogênio;
- Explicar sobre os números quânticos bem como sua relação com os átomos e o modelo proposto para este.

Conteúdos: Modelos atômicos

Modelo atômico de Bohr

Metodologia: Aula expositiva pelo *google meet*, com apresentação de slides envolvendo o assunto.

Explicação didática sobre os modelos atômicos, números quânticos e sua relação com a mecânica quântica, promovendo assim uma discussão oral e participativa com a turma. Resolução de uma atividade de distribuição eletrônica e identificação dos números quânticos pela turma.

Após a explanação dos assuntos abordados na aula, é feita uma breve explicação de como será a aplicação do RPG, bem como a entrega dos personagens aos alunos.

5.2.2.3 3ª aula

- ✓ Execução do Jogo de RPG (A aventura estelar, a qual encontra-se no anexo C)
- ✓ Roda de conversa virtual sobre a sequência aplicada

Objetivos:

- Possibilitar o entendimento sobre modelos atômicos através de uma proposta didática utilizando o jogo de RPG, onde este possa proporcionar ao aluno um efetivo aprendizado em relação ao tema;
- Conhecer e entender alguns conceitos relacionados à Astronomia, assim como a classificação de determinadas estrelas, bem como sua composição química, e a relação disso com a Física Moderna;

- Avaliar o processo de ensino e aprendizagem da sequência didática aplicada, fazendo comparações quanto aos conhecimentos iniciais dos discentes com os conhecimentos que foram adquiridos ao longo das atividades realizadas;
- Reforçar os conhecimentos aprendidos e proporcionar momentos para argumentar, explicar, listar, opinar sobre o que os alunos aprenderam.

Conteúdos: Astronomia: Espectroscopia estelar, linhas espectrais, átomo de Bohr, modelos atômicos, números quânticos.

Metodologia: Durante a realização da aula, será executado o jogo, onde os personagens serão os alunos regularmente matriculados na 2ª série de uma escola estadual de Marabá. O mesmo será aplicado de forma virtual pelo *google meet*, e toda aplicação será gravada. O jogo será feito em um período de 60 minutos de duração.

Após a aplicação do jogo, será realizada uma roda de conversa virtual a fim de avaliar a proposta e os objetivos alcançados com o jogo. Nesse momento, também será aplicado um questionário de sondagem final pelo *google forms*, referente à sequência didática aplicada, para que os alunos possam demonstrar através deste o conhecimento, ideias e conceitos construídos, bem como avaliarem a proposta realizada.

CAPÍTULO 6

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, são feitas as discussões em relação aos dados que foram obtidos durante aplicação da sequência didática e do jogo de RPG.

6.1 A estrutura, o contexto e os sujeitos da aplicação do produto

A aplicação do produto educacional foi mediada e ministrada remotamente, através do *google meet*, em função do contexto de pandemia, causado pelo Sars CoV-2 (COVID-19). Devido à aplicação ter sido no modelo remoto, houve uma reelaboração da sequência didática. Neste sentido, foram propostos três encontros⁵, sendo dois deles com aulas teóricas de 60 minutos, e o terceiro sendo a aplicação do jogo de RPG.

Na primeira aula, procurou-se fazer uma abordagem dos assuntos relacionados a espectroscopia estelar, e na segunda aula, o tema tratado foi atomística, com ênfase no modelo atômico de Bohr e a relação deste com a espectroscopia estelar. Já no terceiro encontro, ocorreu a aplicação da aventura de RPG. Os três encontros aconteceram no contra-turno, no período das 15h30 às 16h30, em três dias consecutivos.

Vale aqui ressaltar que a escolha da instituição de ensino na qual foi aplicado o produto educacional, deu-se pelo fato de que no momento, a escola onde exerço a função de professor de Física, não oferece internet aos alunos, até mesmo pelo fato desta ser situada na zona rural do município de Açailândia, em uma localidade em que o sinal de telefonia móvel e internet não abrangem 100% do povoado.

Portanto, tornou-se inviável a aplicação por meios remotos. Neste sentido, assim foi aplicado o produto a uma turma composta por 10 alunos, devidamente matriculados na 2ª série do Ensino Médio regular, de uma escola estadual, da cidade de Marabá- PA. É importante ressaltar que, anteriormente à atividade, houve uma solicitação por e-mail à gestora da instituição, para que fosse cedida uma turma

⁵ Na proposta original eram 9 encontros.

de 2ª série do Ensino Médio para fazer a aplicação da sequência didática, bem como do produto educacional.

Os sujeitos participantes da pesquisa, bem como da aplicação do produto educacional, inicialmente 20 alunos da turma se prestaram a participar da aventura de RPG, assim sendo eles foram colocados em um grupo de WhatsApp criado para essa finalidade. Porém, à medida em que se aproximava o dia de acontecer a sessão, alguns deles foram deixando de cumprir com os combinados, e também não preencheram o TALE nem o TCLE, e por isso foram sendo removidos do grupo⁶. Já outros disseram que só participariam das aulas, mas que não iriam fazer parte da aventura como personagem. Ao final, apenas 10 alunos permaneceram, tanto nas aulas, como também na aventura de RPG. Do total de estudantes que participaram da sequência didática, todos os dez responderam as questões solicitadas no questionário pré e pós aplicação. Dessa forma, o atrito entre as respostas foi nulo.

6.2 Análise pré-aplicação

Na análise da aplicação, foram investigados os dados obtidos a partir dos questionários de concepções iniciais e finais, bem como as principais observações conceituais apontadas nas falas dos alunos, que vão de encontro à construção do saber físico, além da questão da imaginação, das novas descobertas observadas ao final de cada encontro, confirmando assim as idéias defendidas por Vygotsky, na qual enfatiza a imaginação como um fator importante no desenvolvimento da aprendizagem.

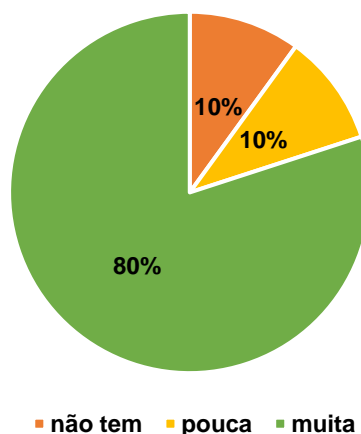
Para aplicação dos questionários pré e pós foi utilizada a ferramenta *google forms*, pois levando em consideração o contexto da pandemia causada pela COVID-19), entende-se o distanciamento social como uma das maneiras preventivas de se evitar a proliferação da corona vírus. Dessa forma, não só a aplicação dos questionários, mas também todos os encontros, ocorreram de maneira virtual.

⁶ Os alunos só poderiam participar do projeto mediante a assinatura do Termo Assentimento Livre e Esclarecido (TALE) e do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (de acordo com o projeto autorizado pelo Comitê de Ética em pesquisa, como consta no anexo A desta dissertação), já que se tratava de uma turma onde a maioria de seus membros tinha menos de 18 anos de idade, e, portanto precisaria da autorização de seus responsáveis para assim participarem da realização da aventura do RPG.

As quatro primeiras perguntas do questionário pré-aplicação procuraram saber da importância do ensino de Física, e também dos métodos utilizados pelos educadores para assim trabalhar os conteúdos em sala de aula, sendo que a primeira das indagações pedia aos alunos que avaliassem o ensino de Física em uma escala de importância. Os resultados obtidos a partir desta indagação encontram-se no gráfico 1.

Gráfico 1 - O gráfico representa as respostas dos alunos com relação à importância do ensino de Física.

Numa escala de importância, como você classificaria o ensino de Física?



Fonte: Produção do próprio autor

De acordo com as respostas, 80% dos alunos acreditam que o ensino de Física é muito importante, pois esse coloca os discentes diante de situações problemas concretos, ajudando-os na compreensão de fenômenos que estão a sua volta, instigando assim nesses alunos o gosto pela ciência e pelo conhecimento. Para 10% desses alunos não há importância o ensino de Física, e para 10% existe pouca importância. Acredita-se que essa falta de afinidade com a Física, como também o não reconhecimento de sua importância sejam consequências de muitos problemas que dizem respeito às dificuldades que estes têm de compreender os conteúdos de Física.

A segunda pergunta do questionário pré-aplicação era com relação à forma que eles acreditam ter um aprendizado mais significativo, ao estudar os conteúdos de Física. As respostas foram diversificadas, sendo uma das mais relevantes aquela em que os alunos consideram que o uso da tecnologia seja uma estratégia eficaz para se obter ganhos de aprendizagens na Física, tanto que nesse período de

pandemia foi bastante intenso o uso de recursos digitais no ensino de modo geral, a fim de que substituísse as aulas presenciais. Neste foi possível notar o quanto os professores fizeram o uso de recursos digitais que chamassem a atenção do aluno. Por exemplo, não foi necessário estar necessariamente em um laboratório para se realizar um experimento, pois foi possível realiza-lo de forma virtual. O uso da experimentação (aulas práticas) no ensino de Física também foi citado nas respostas dos alunos. Entende-se que esse tipo de método possa aumentar o interesse e gerar estímulos para a aprendizagem dos alunos, mediante a observação, análise, exploração, planejamento e o levantamento de hipóteses, possibilitando assim o desenvolvimento de habilidades. Em consequência disto, torna-se mais significativo estabelecer relações entre conceitos físicos e fenômenos naturais vivenciados.

O diálogo entre o professor e a turma com relação aos conteúdos, também foi apontado entre as respostas. Sabe-se que este é um fator fundamental no processo de ensino e aprendizagem, pois é uma das formas de ambos se conhecerem, facilitando a exploração de suas habilidades, fazendo com que haja confiança por parte do aluno com relação ao educador. No quadro 6 estão as respostas dadas pelos alunos.

Quadro 6 - O quadro apresenta algumas respostas dos alunos com relação a como entendem que o aprendizado em Física seria mais significativo.

Aluno (a)	Resposta
K.C	<i>“Acho que sim bom mais saber do assunto pelo livro e também haveriam forma mais explicativa”</i>
J. D	<i>“Acho que no ensino presencial é mais fácil de aprender.”</i>
I. G	<i>“Bom, para ter um aprendizado significativo as aulas tinham que ser mais práticas e presenciais. Mas com a situação em que vivemos isso infelizmente não será possível”.</i>
A. T	<i>“No meu dia a dia, eu penso bastante sobre alguns temas abordados na física, e na minha futura faculdade de física”</i>
S.B	<i>“Em uma sala de aula com alunos e professores presentes para haver um bom diálogo sobre o assunto entre todos.”</i>
A.L	<i>“Sinto muito não sei.”</i>
W.N	<i>“Na escola e com aulas práticas, e fazendo que se aprende”</i>
W.G	<i>“Onde eu acredito que na escola, que seja mais significativo. E uma forma é mais interativa com os alunos”.</i>
W.R	<i>“Na escola, tendo o auxílio da tecnologia e com bons métodos de ensino que possam realmente envolver os alunos.”</i>
L.S	<i>“Numa sala de aula com uma estrutura e tecnologias avançadas”.</i>

Fonte: Produção do próprio autor

De acordo com as respostas, acredita-se que o aprendizado em Física pra ter significados verdadeiros tende a estar associado a algo que chame sua atenção e a motivos para aprender. Ainda na visão dos alunos quando o professor leva o aluno para a prática, o aprendizado de certos conteúdos flui de maneira mais natural, tornando a Física mais atraente.

Sobre as metodologias aplicadas ao ensino de Física, perguntou-se: Que tipo de metodologias você acha que seriam bem empregadas no sentido de facilitar sua aprendizagem em Física? O quadro 7 apresenta as respostas dadas pelos alunos.

Quadro 7 - O quadro apresenta algumas respostas dos alunos com relação a que tipo de metodologia os alunos acham que seriam bem empregada no ensino e aprendizagem em Física.

Aluno (a)	Resposta
K.C	<i>“Com o ensino do braile e a disponibilização de material e livros de estudo nessa linguagem. O ensino da linguagem de sinais a todos”</i>
J. D	<i>“Acho que no sentido de reforçar sempre o que foi passado na aula”</i>
I. G	<i>“Por a “mão na massa”. Explicar os conceitos de forma simplificada e, logo, praticar o que foi estudado.”</i>
A.T	<i>“Experimentos, analogias, exemplos do dia a dia e RPG’s sobre o tema.”</i>
S.B	<i>“Explicações com slides e exemplos feitos 3D RPG entre outros”.</i>
A.L	<i>“Que tivessem mais conteúdo fácil, e que eu com aluno(a) tenho que aprender a entender.”</i>
W.N	<i>“Me dedicar mais é ter aulas mais praticas, não que as aulas teóricas não de para entender, na minha opinião essa forma seria melhor.”</i>
W.G	<i>“Acredito que metodologia de jogos, perguntas e conversas com a turma.”</i>
W.R	<i>“Acredito que metodologia de jogos”.</i>
L.S	<i>“Colocando a física na prática.”</i>

Fonte: Produção do próprio autor

Tendo como base as respostas dos alunos, é possível notar o quanto eles têm citado que o uso de atividades que envolvem jogos é importante na questão da aprendizagem, podendo assim contribuir de forma significativa na assimilação dos conteúdos dessa disciplina. Neste sentido, a proposta de se trazer um RPG para auxiliar no ensino e aprendizagem de Física pode ser uma estratégia bem-vinda.

Tendo em vista que a assimilação de conceitos e conteúdo de Física, a Nível Médio, é tida como um problema que causa inquietações, gerando preocupação por parte de educadores e educandos, é necessário que os professores busquem

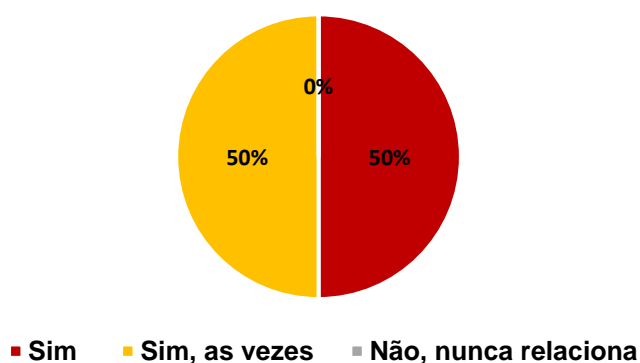
alternativas que favoreçam momentos de interação entre o saber científico/escolar e a realidade, ou também entre os colegas, favorecendo a interação social, o que pode acontecer através dos jogos, sejam eles físicos ou virtuais. Através deste tipo de metodologia, torna-se possível estimular o interesse dos alunos na ampliação do conhecimento em Física.

Mais uma vez os alunos citaram a possibilidade de que as atividades práticas (mão na massa) sejam uma metodologia eficiente, quando se trata de ensinar Física. As atividades práticas contribuem para a aprendizagem em Física, pois através delas os alunos encontrarão maior facilidade em relacionar conceitos físicos com fenômenos naturais vivenciados, ou seja, pode-se estabelecer vínculo entre a teoria e a prática.

Também foi perguntado aos alunos que participaram da pesquisa de campo, se eles faziam alguma relação da teoria ensinada nos conteúdos de Física Moderna com os fatos que acontecem no dia-a-dia; houve uma paridade nas respostas, conforme mostra o Gráfico 2.

Gráfico 2 - O gráfico representa as respostas dos alunos ao modo como eles relacionam o ensino de Física Moderna aos fatos do dia-a-dia.

Quando o professor ministra os conteúdos de Física Moderna, você consegue enxergar a teoria ensinada em fatos que acontecem no seu dia-a-dia?



Fonte: Produção do próprio autor

O campo da Física é um tanto complexo, neste sentido se percebe que os alunos ainda apresentam certas dificuldades nessa disciplina. Além disto tem-se uma resistência quanto às fórmulas matemáticas e as teorias mais complexas nela utilizadas. Em função disso, os alunos apontam dificuldades para se estabelecer a relação entre essas teorias com os fatos presentes e vivenciados no seu dia-a-dia.

Defendemos aqui que o uso de jogos poderia auxiliar na superação de tais dificuldades.

O outro foco da pesquisa procurava saber dos alunos, se eles conheciam o RPG, se já haviam tido algum tipo de experiência em jogos envolvendo de simulação de papéis. De acordo com as respostas observadas, a maioria afirmou nunca ter participado, mas que desejava conhecer sobre o jogo e entender suas regras. Outros afirmaram ter ouvido falar, porém não entendiam bem as regras. E apenas 2 alunos afirmaram conhecer com clareza o que é o jogo e suas regras, e por sinal já haviam participado de jogos de RPG. No quadro 8, pode-se observar as respostas dadas.

Quadro 8 - Respostas dos alunos sobre seus conhecimentos acerca de jogos de RPG.

Aluno (a)	Resposta
K.C	<i>“Não muito só o básico.”</i>
J. D	<i>“Não sei explicar e nunca ouvi sobre.”</i>
I. G	<i>Não</i>
A.T	<i>“Um jogo de tabuleiro em que somos postos em casos que ocorreriam na realidade sobreposta no jogo. Precisamos somar tanto as informações aprendidas quanto o espírito de equipe para chegarmos ao fim do jogo.”</i>
S.B	<i>“Um jogo de RPG é um jogo onde tenta transcender a experiência o mais próximo possível da realidade virtual.”</i>
A.L	<i>“Um jogo de RPG é onde os participantes integram como personagens do jogo, e no jogo vc pode manipular e acrescentar falas para se comunicar com outros.”</i>
W.N	<i>Eu nunca joguei mais já ouvi falar.</i>
W.G	<i>“Sim tenho conhecimento nos jogos de RPG, e os jogos são jogos de papéis onde você desempenha um papel de um personagem no jogo.”</i>
W.R	<i>“Já ouvi falar, é um jogo de roling play game há o famoso rpg de mesa tradicionalmente jogado, que usamos a sorte a nosso favor através de um dado que nos direcionará a um resultando que vão influenciar nossas atitudes dentro do jogo.”</i>
L.S	<i>“Não sei.”</i>

Fonte: Produção do próprio autor

Embora que muitas pessoas tenham conhecimento sobre o jogo de RPG, é possível ver que este ainda não é uma metodologia muito utilizada para fins educacionais. Porém, acredita-se que este possa trazer benefícios em termos de ganhos de aprendizagens. Neste sentido, o RPG é aqui visto como um jogo capaz de proporcionar uma ampla relação social entre os indivíduos que dele participam, pois exige colaboração em prol de um objetivo comum. Os participantes, na maioria

das vezes, devem lidar com situações que exigem capacidade de argumentação e interação social.

Com relação à experiência dos alunos com jogos de RPG, notou-se que a maioria ainda não havia jogado. Podemos observar as respostas no quadro 9.

Quadro 9 - Respostas dos alunos, quando perguntado se eles já haviam participado de algum jogo de RPG.

Aluno (a)	Resposta
K.C	<i>“Sim. achei um pouco legal.”</i>
J. D	<i>“Nunca tive nenhuma experiência.”</i>
I. G	<i>“Não tive”</i>
A.T	<i>“Já ouvi alguns podcast sobre, porém nunca joguei.”</i>
S.B	<i>“Não nunca tive, mas tenho vontade de ter essa experiência.”</i>
A.L	<i>“Não, não gosto de jogos de RPG.”</i>
W.N	<i>“Nunca joguei.”</i>
W.G	<i>“Sim já tive experiência em jogos de RPG eletrônico, foi muito legal acho que ajuda a deixar a história do jogo mais real, a pessoa desempenha o papel de um personagem.”</i>
W.R	<i>“Já sim, frequentemente jogo com amigos rpg, eu achei muito legal e emocionante, logo foi meu primeiro RPG.”</i>
L.S	<i>“Não tive.”</i>

Fonte: Produção do próprio autor

O RPG, no âmbito educacional, tem em si a proposta de tornar o processo de aprendizagem interessante, dinâmico e, acima de tudo, lúdico, uma vez que, nos dias atuais, as escolas estão sendo desafiadas na construção de um modelo educacional capaz de atender às novas demandas educacionais.

Pode ser que uma das causas que faz com que o RPG seja uma metodologia pouco evidenciada, seja a falta de conhecimento das instituições de ensino que e professores, que não tem domínio desse método, para utilizá-lo em sala.

Quando o professor propõe projetos inovadores, é possível que os alunos passem a ter maior interesse pelo assunto. Neste sentido, a ação de promover projetos com uma abordagem diferenciada no ensino de Física pode ser muito útil ao aprendizado dos alunos.

Portanto, colocando o aluno como participante ativo no processo de ensino e aprendizagem, ao invés de um ser passivo, há maiores possibilidades para que este construa seu próprio conhecimento e compreenda melhor a ciência. E o RPG associado ao ensino de Física, vem com esse objetivo de fazer com que o aluno

possa utilizar seus conhecimentos científicos na aventura, a fim de resolver situações-problema ocorridas durante o jogo.

Quando se perguntou se os alunos já haviam participado de algum projeto de ensino que usou uma abordagem diferenciada em física, utilizando métodos de ensino não tradicionais, todos responderam que não, que nunca haviam participado antes, conforme pode-se notar no quadro 10.

Quadro 10 - Respostas dos alunos, quando perguntado se eles já haviam participado de algum projeto de ensino com uma abordagem diferenciada em Física.

Aluno (a)	Resposta
K.C	<i>“Não.”</i>
J. D	<i>“Não tive esse tipo de ensino.”</i>
I. G	<i>“Nunca participei”</i>
A.T	<i>“Não, nunca .”</i>
S.B	<i>“Nunca participei de nenhum projeto como esse, mas espero poder participar é ter uma boa experiência.”</i>
A.L	<i>“Não, nunca participei.”</i>
W.N	<i>“Nunca, essa vai ser minha primeira vez.”</i>
W.G	<i>“Não infelizmente nunca participei, por que a instituição de ensino não ofereceu essas abordagens de ensino”</i>
W.R	<i>“Não, esta é a primeira vez”</i>
L.S	<i>“Ainda Não .”</i>

Fonte: Produção do próprio autor

Diante das falas unânimes dos alunos, reforça-se a ideia de que o ensino tradicional ainda é muito presente nas aulas de Física, fato este que não contribui de forma significativa para uma aprendizagem eficaz. Sabe-se que em algumas instituições (não necessariamente a escola aqui utilizada) ainda prevalece o uso dos métodos tradicionais de ensino, apoiados no excesso da ênfase matemática em detrimento de uma Física mais conceitual; vê-se também o distanciamento entre o formalismo escolar e o cotidiano dos alunos, o que colabora para a não contextualização dos conteúdos desenvolvidos com as questões tecnológicas, além da pouca valorização da metodologias ativas que colocam o aluno como centro do processo de ensino e aprendizagem.

6.3 Análise durante e pós-aplicação

Ao iniciar a aventura com os alunos, um dos membros, que já havia jogado RPG, deu a ideia de que cada personagem se apresentasse e falasse um pouco de si, dizendo qual era seu nome, sua profissão e o papel que este iria desempenhar ao longo da aventura. A princípio, foi possível notar que os participantes estavam um

pouco tímidos, pois era a primeira vez que a turma participava de uma aventura de RPG dentro da disciplina de Física. Mas logo que o mestre da aventura deu início, eles foram ficando mais interativos, participando, formulando verbalmente muito bem as respostas cada vez que o mestre fazia uma pergunta ou dava novos desafios.

Após a aplicação do jogo, foi possível observar nas falas de alguns alunos, o nível de satisfação que os estudantes tiveram em participar da aventura. Alguns ressaltaram que poderiam ser propostos mais momentos para jogarem RPG, pois através da aventura, foi possível aprender muitas coisas que até então eles não conheciam ou tinham curiosidade em saber.

No questionário pós-aplicação, foi perguntado: Qual a sua opinião em relação às experiências pedagógicas vividas na aplicação do RPG na área de espectroscopia estelar? A turma foi unânime em afirmar que foi uma experiência proveitosa, e que lhes trouxe aprendizado, conforme é possível observar no quadro 11.

Quadro 11 - O quadro apresenta as respostas dos alunos com relação a experiências de aprendizagem que eles tiveram com a aplicação do RPG.

Aluno (a)	Respostas
J.D	<i>“Foi bastante interessante saber mais sobre esse assunto”</i>
I.G	<i>“É muito bacana e interessante o método aplicado.”</i>
W.G	<i>“É que a aplicação do RPG na aula foi muito boa, também contribui muito para o aprendizado.”</i>
W.N	<i>“São boas pois ajudam a descontrair e tirar atenção do aluno.”</i>
L.S	<i>“Infelizmente não pude participar, mas vi o vídeo explicativo e foi muito interessante”</i>
S.B	<i>“Muito boa a experiência adquirir conhecimentos que vão me beneficiar muito, obrigado.”</i>
K.C	<i>“Muito bom a experiência adquirir conhecimentos que vão me beneficiar muito, obrigado”.</i>
W.S	<i>“Educativo, interativo e divertido”.</i>
A.T	<i>“Foi muito bom, as análises, o trabalho em equipe, os estudos, tudo foi fundamental para o retorno a terra ksksk”</i>
A.L	<i>“Aprendemos muitas coisas relacionadas ao espaço, e nos surpreendemos muito tanto eu como aluna tanto quanto os professores.”</i>

Fonte: Produção do próprio autor

A experiência com o RPG na turma foi muito proveitosa, tanto que ao perguntar no questionário pós se eles estariam dispostos a jogar outra aventura de RPG, com o objetivo de aprender ou reforçar os conteúdos estudados em Física ou outras disciplinas, eles foram entusiasmados em dizer que sim, conforme mostra o quadro 12. Neste sentido, pode-se dizer que o RPG, quando utilizado de modo

didático, na disciplina de Física, torna-se uma importante ferramenta a favor do professor, pois a partir da mistura do lúdico com o teórico, o aluno pode vir a encontrar motivações para seguir aprendendo Física de um modo divertido.

Quadro 12 - O quadro apresenta as respostas dos alunos com relação a pergunta se eles estariam dispostos a participarem de outra aventura de RPG com o objetivo de reforçar os conteúdos.

Aluno (a)	Respostas
J.D	<i>“Eu acharia super interessante e até melhor”</i>
I.G	<i>“Sim. Eu estaria disposto a adentrar em outras experiências como essa.”</i>
W.G	<i>“Sim estaria disposto por que essa e uma forma de aprendizado muito didática .”</i>
W.N	<i>“Sim, estou disposto a participar de mais aulas do gênero.”</i>
L.S	<i>“sim gostaria muito. ”</i>
S.B	<i>“Sim, estou disposto.”</i>
K.C	<i>“Sim seria ótimo”</i>
W.S	<i>“Claro que sim!”</i>
A.T	<i>“Com certeza”</i>
A.L	<i>“Sim, seria bom.”</i>

Fonte: Produção do próprio autor

No ensino da Física, volta-se a atenção para uma didática em que as atividades de aprendizagem possam priorizar a aquisição do conhecimento como um processo cognitivo e não mecânico. Entre essas atividades estão as que envolvem a experimentação, onde estas assumem uma posição inspirada na teoria de Vygotsky, em que não só a Física, mas também as demais ciências (Química e Biologia) podem ser ensinadas à luz das práticas experimentais, assim conclui Gaspar (2014, p. 207). É importante ressaltar que encaramos a gamificação como uma atividade experimental, no sentido de que os alunos planejam e executam ações, visando resolver problemas daquela temática em questão.

Portanto, o desenvolvimento de várias estratégias pedagógicas pode possibilitar o desencadeamento de interações sociais, das quais é possível notar ganhos de aprendizagem por parte do aluno.

Entre as perguntas feitas aos alunos, procurou-se observar, o que eles entendiam sobre as estrelas, seus brilhos, os processos químicos ocorridos em seu interior e suas composições químicas. Diante das respostas, fez-se um paralelo, buscando assim analisar o conhecimento que eles tinham antes e depois da realização da aventura.

A próxima pergunta foi com relação a quais elementos químicos são predominantes em uma estrela. A mesma pergunta foi feita no questionário pós. De

início, vários alunos não responderam com segurança. No quadro 13, são apresentadas as respostas pré e pós aplicação. A princípio, as respostas foram bastante diversificadas e sem conhecimento científico. Depois de terem participado das aulas que abordaram esse assunto, foi possível ver o quanto eles aprenderam, através das mudanças das respostas quando se perguntou novamente quais eram os elementos químicos predominantes em uma estrela.

Quadro 13 - O quadro mostra uma comparação entre as respostas dos alunos em relação a quais elementos químicos são predominantes em uma estrela

Aluno(a)	Concepção Inicial	Concepção Final
J.D	<i>“hidrogênio e hélio em carbono e transformam carbono em magnésio, sódio e neônio”</i>	<i>“Hidrogênio e Hélio.”</i>
W.N	<i>“Não tenho ideia”</i>	<i>“Hidrogênio e Hélio.”</i>
W.G	<i>“Sei de um, o hidrogênio, se não me engano”</i>	<i>“Hidrogênio e Hélio.”</i>
L.S	<i>“Ferro e hidrogênio”.</i>	<i>“Hidrogênio e Hélio.”</i>
I.G	<i>“Não, mas muito provavelmente hidrogênio, oxigênio entre outros que compõe.”</i>	<i>“Hidrogênio e Hélio”.</i>
K.C	<i>“Não , mas acho que sejam do Os gases da estufa , resto de minérios de outros planetas , névoa , raios solares ... Sinto muito esqueci o resto”</i>	<i>“Hidrogênio e Hélio.”</i>
W.S	<i>“Alguns, oxigênio, nitrogênio e hélio”</i>	<i>“Hidrogênio e Hélio”.</i>
A.T	<i>“São Hidrogênio e Hélio e outros”</i>	<i>“Hidrogênio e Hélio”.</i>
A.L	<i>“Não.”</i>	<i>“Hidrogênio e Hélio.”</i>
S.B	<i>“acho que meteoro e luz.”</i>	<i>“Hidrogênio e Hélio.”</i>

Fonte: Produção do próprio autor

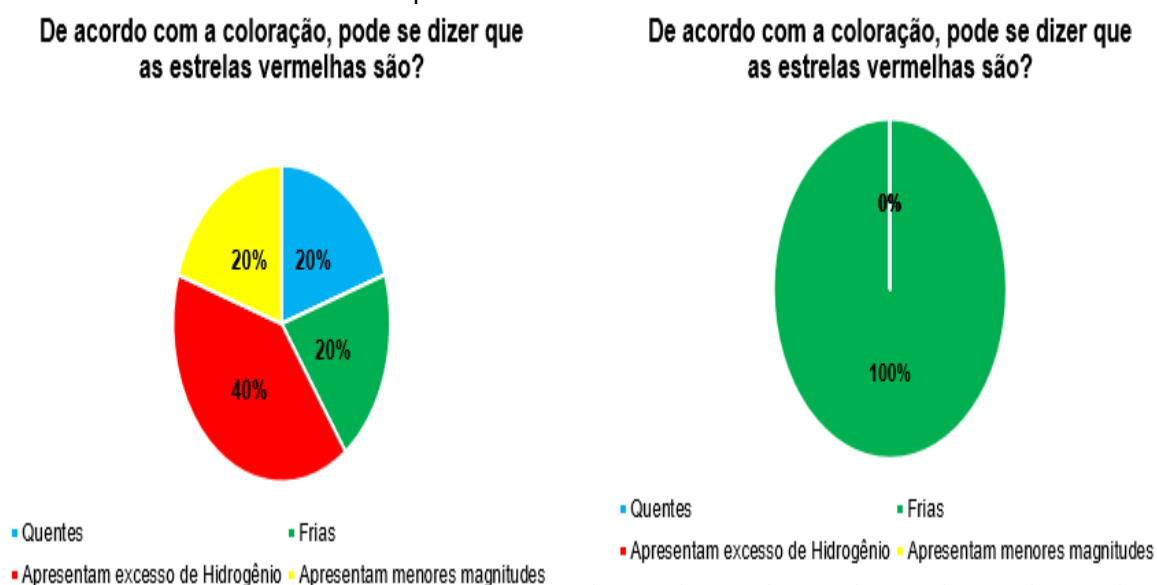
É possível observar o quanto a concepção dos alunos mudou, pois, de acordo com os conhecimentos trabalhados durante a aula, além das interações que aconteciam depois da explanação do conteúdo, foi possível notar que eles puderam compreender quais eram os elementos químicos predominantes em uma estrela. A partir daí, surge a necessidade de se explanar mais conteúdos que envolvem o ensino de Astronomia no Ensino Médio, pois ela desperta a curiosidade e

imaginação dos alunos, haja visto que durante a aplicação da sequência didática eram muitas perguntas que eles faziam no chat após as aulas, explorando assim o conhecimento nessa área.

Neste sentido, a Astronomia se torna uma importante ferramenta didática, ao dispor dos educadores no âmbito da sala de aula, instigando assim os alunos a buscarem o conhecimento e trazer para discussão temas que até então eram motivos de curiosidade e inquietação, mas que não tinham resposta.

No gráfico 3, é mostrada a diferença entre as respostas dadas pelos alunos quanto à relação entre a coloração das estrelas e suas temperaturas. No questionário inicial, os números variaram bastante sendo que 40% dos alunos afirmaram que estrelas vermelhas tem Hidrogênio em excesso e outros 60% restantes se dividiram igualmente em 20% cada, afirmando que elas seriam quentes, frias ou apresentariam menores magnitudes. Já no questionário pós, viu-se que 100% responderam corretamente, que estrelas vermelhas são relativamente mais frias. Assim, é possível afirmar a importância que as aulas ministradas na sequência didática e a aplicação da aventura de RPG tiveram para que eles viessem a ter conclusões corretas e baseadas em evidências científicas.

Gráfico 3 - Concepção pré e pós dos alunos, respectivamente, ao serem perguntados sobre a temperatura das estrelas vermelhas.



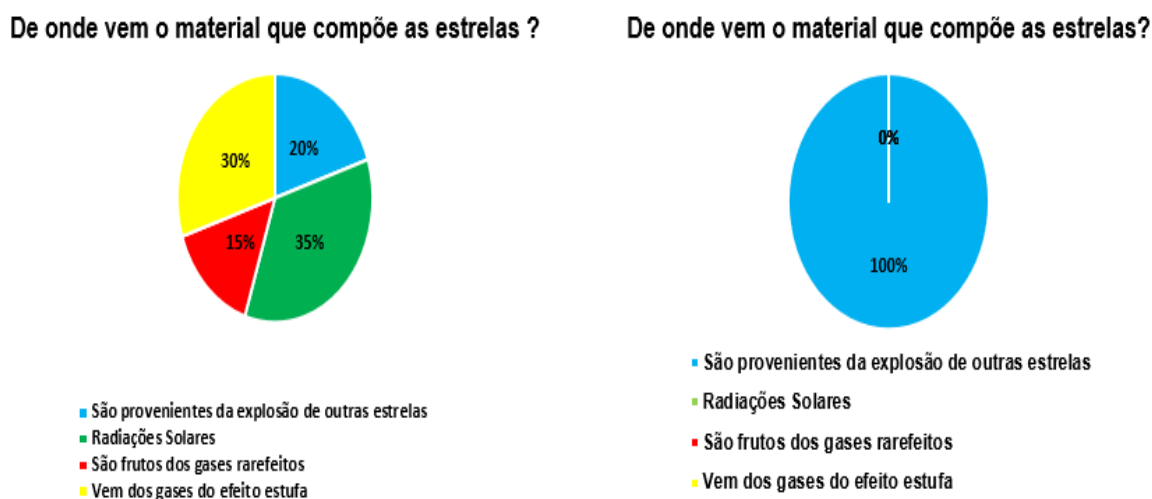
Fonte: Produção do próprio autor

Neste mesmo contexto, procurou-se saber dos alunos em ambos questionários de onde vem o material que compõe as estrelas. Assim como nas respostas dadas no gráfico 3, foi visto que, inicialmente, os alunos divergiram muito

entre si com relação às respostas. Mas, levando em consideração de que se tratava de um conteúdo que até então eles não haviam visto com frequência nas aulas de Física, é compreensível que haja essa diferença entre as respostas.

Pode-se observar no Gráfico 4, as concepções iniciais e finais em relação à pergunta sobre de onde vem o material que compõe as estrelas.

Gráfico 4 - Concepção pré e pós dos alunos, respectivamente, ao serem perguntados sobre de onde vem o material que compõe as estrelas.



Fonte: Produção do próprio autor

Os dados presentes no gráfico 4 inicialmente mostraram que 35% dos alunos achavam que o material que compõe as estrelas vinha das radiações solares, 30% acreditavam que vinha dos gases rarefeitos do efeito estufa, 15% responderam que eram frutos dos gases rarefeitos e somente 20% responderam corretamente, que esse material é proveniente da explosão de outras estrelas.

O conhecimento sobre as estrelas foi um dos assuntos que no questionário inicial houve maior número de respostas sem bases científicas.

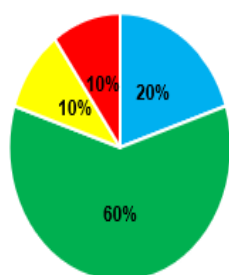
Levando em consideração que, no ensino de Física, os alunos ainda encontram muitas dificuldades para assimilar certos conteúdos e, em se tratando do ensino de ensino de Astronomia, pode-se ver que este é pouco difundido na Educação Básica.

Ainda sobre as estrelas, foi perguntado como se chama o processo físico responsável pelo brilho emitido pelas estrelas, conforme mostra o gráfico 5. Nessa pergunta, a resposta correta prevaleceu, pois 60% responderam corretamente ao dizer que o nome desse processo é fusão nuclear; 10% disseram que o nome desse processo se chama fusão gravitacional e também 10% responderam emissão

nuclear; e 20% disseram que o processo se chama fissão nuclear. No questionário pós, a resposta correta foi ampliada, mostrando assim que 100% dos alunos responderam corretamente o nome do processo físico.

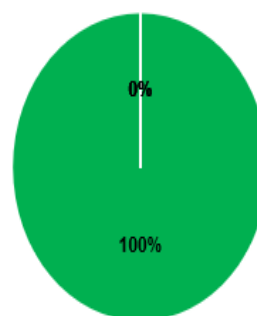
Gráfico 5 - Respostas iniciais e finais dos alunos em relação ao brilho emitido pelas estrelas.

Como se chama o processo físico responsável pelo brilho emitido pelas estrelas ?



■ Fissão Nuclear ■ Fusão Nuclear
■ Fusão Gravitacional ■ Emissão Nuclear

Como se chama o processo físico responsável pelo brilho emitido pelas estrelas?



■ Fissão Nuclear ■ Fusão Nuclear ■ Fusão Gravitacional ■ Emissão Nuclear

Fonte: Produção do próprio autor

Ao se tratar da composição química das estrelas, no teste inicial, muitas das respostas observadas não convergiam com o real sentido. Porém, no teste final, foram obtidas respostas mais consistentes e que iam de acordo com os conhecimentos instruídos nas duas aulas anteriores à aventura, em que foram feitas abordagens deste tema, que é a espectroscopia estelar. No quadro 14, é possível comparar as concepções iniciais e finais dos alunos em relação a quais seriam as técnicas para se identificar a composição química de uma estrela.

Quadro 14 - O quadro mostra uma comparação entre as respostas dos alunos em relação as técnicas de análises usadas para identificar a composição química de uma estrela.

Aluno(a)	Concepção Inicial	Concepção Final
J.D	<i>“Somente a partir de análises”</i>	<i>“A partir da espectroscopia”</i>
W.N	<i>“Com ajuda de sondas topográficas, que medem a massa de uma determinada estrela”</i>	<i>“E feita a partir de um aparelho de espectroscopia”</i>
W.G	<i>“Acredito que pela massa da estrela”</i>	<i>“E por meio da espectroscopia que é a análise do espectro da luz da estrela.”</i>
L.S	<i>“Através de microscópio ou até mesmo pedaço que cai na terra talvez.”</i>	<i>“Por meio de estudos aprofundados sobre a estrela é experiências feitas em laboratórios.”</i>
I.G	<i>“Isso é feito através da técnica chamada</i>	<i>“Através da análise do "espectro" visual. Método de</i>

	<i>espectroscopia.”</i>	<i>espectroscopia”.</i>
K.C	<i>“Formados primordialmente. Estrelas de segunda geração, como nosso Sol, são constituídas de matéria remanescente da explosão de outras estrelas e possuem outros elementos químicos mais pesados.”</i>	<i>“São constituídas de matéria remanescente da explosão de outras estrelas e possuem outros elementos químicos mais pesados.”</i>
W.S	<i>“Através de microscópio”</i>	<i>“Por meio do seu espectro”.</i>
A.T	<i>“Pela coloração”</i>	<i>“O estudo de sua composição, assim coletando amostras”.</i>
A.L	<i>“Acredito que pela massa da estrela.”</i>	<i>“Bom, que a maior parte das estrelas contém metade da massa do Sol e são compostas de Hélio e hidrogênio e diversos elementos diferentes.”</i>
S.B	<i>“Com base em estudos teorias experimentos entre demais maneiras (metade da massa do sol) compostas de Hélio e hidrogênio.”</i>	<i>“Por meio de estudos aprofundados sobre a estrela é experiências feitas em laboratórios.”</i>

Fonte: Produção do próprio autor

Outra questão abordada no questionário pós foi a relação dos átomos com as estrelas, conforme mostra o quadro 15. Vale lembrar que esse assunto foi abordado nas aulas da sequência didática, sendo que foi falado sobre cada modelo atômico em um contexto histórico e científico, mas a ênfase foi em relação ao modelo de Bohr e a relação deste com a espectroscopia estelar. Durante a aula, foi possível esclarecer para os alunos várias dúvidas em relação a esse tema. No entanto, com relação às respostas dadas no questionário em relação a essa pergunta, eram respostas que se referem aos átomos, porém soltas e com pouca convergência no sentido correto.

Quadro 15 - O quadro apresenta as respostas dos alunos sobre o átomo e seus componentes e a relação com as estrelas.

Aluno (a)	Respostas
J.D	<i>“Tem a relação de os átomos de diferentes elementos formam tudo na natureza”</i>
I.G	<i>“Os átomos de hidrogênio e o principal elemento que forma as estrelas.”</i>
W.G	<i>“A partir da gravidade faz com que eles se unem e formam uma estrela.”</i>
W.N	<i>“É porque estão interligadas entre si.”</i>

L.S	<i>“Há uma relação de equilíbrio entre os átomos é os componentes da estrela é envolvendo a temperatura para colorir”</i>
S.B	<i>“As moléculas um agrupamento de dois ou mais átomos eletricamente neutros e unidos por ligações covalentes. As moléculas possuem duas características.”</i>
K.C	<i>“Os átomos são as partículas de uma matéria, são indestrutíveis e não se dividem.”</i>
W.S	<i>“Os átomos estão presentes nos componentes que formam uma estrela como seus gases hélio e hidrogênio. ”.</i>
A.T	<i>“Os elementos químicos e a composição das estrelas , como ocorrem alguns processos nos átomos e entre seus núcleos atômicos.”</i>
A.L	<i>“As cores das estrela estão relacionadas com os átomos.”</i>

Fonte: Produção do próprio autor

O conteúdo trabalhado através das aulas foi essencial, no sentido de que o aluno viesse compreender a respeito dos assuntos que envolvem a espectroscopia estelar, a relação entre os átomos e os componentes químicos presentes nas estrelas, a cor das estrelas, processos físicos ocorridos nas estrelas, além do modelo de estrutura física da nave em que estavam a bordo e sua relação com o átomo de Bohr e os números quânticos.

Foi pedido também que os estudantes indicassem os principais conceitos de Física, que eles consideraram que foram essenciais para o ensino e aprendizagem e como eles os utilizaram no momento do jogo. No quadro 16, são mostradas as respostas dadas por eles a essa pergunta.

Quadro 16 - O quadro apresenta as respostas dos alunos sobre os principais conceitos de Física, considerados essenciais utilizados na aventura de RPG.

Aluno (a)	Respostas
J.D	<i>“O essencial que achei foi ser comentado sobre a distribuição eletrônica que é usado tanto na física como na química. ”</i>
I.G	<i>“Como eu disse, não participei muito. Mas achei o modelo de Bohr essencial para o ensino de aprendizagem. ”</i>
W.G	<i>“Foram os conceitos do modelo da nave e os por que estávamos naquela nave, eu utilizei os conhecimentos de distribuição eletrônica.”</i>
W.N	<i>“A utilização de números atômicos, porém não pude participar do jogo.”</i>
L.S	<i>“Momento de separar os componentes de falar sobre o hidrogênio Hélio sobre os raios que mudam de cor dependendo da variação da temperatura e pode mudar para vermelho amarelo ou até o violeta essas coisas.”</i>
S.B	<i>“Diagrama de Linnus eu achei ótimo ”</i>
K.C	<i>“Espectro e modelos atômicos, eu usei explicando aquilo que havia estudado e aprendido nas aulas.”</i>

W.S	“ <i>Conhecimento sobre as estrelas, temperaturas, curiosidade</i> ”
A.T	“ <i>Espectroscopia estelar</i> .”
A.L	“ <i>Átomo de Bohr e o teste de chamas</i> .”

Fonte: Produção do próprio autor

No jogo, foi possível observar isso. Por exemplo, em um dado momento da aventura, no diálogo entre o personagem que faz o piloto e o Físico, o piloto pergunta ao físico: “**por que as estrelas emitem brilhos diferentes umas das outras?**”. Diante da resposta dada pelo físico, acerca das transições eletrônicas, ficou evidente que os alunos conseguiram compreender boa parte daquilo que foi trabalhado nas duas aulas anteriores à aventura.

A relação entre a cor de uma estrela e temperatura, eram temáticas que estavam presentes tanto na narrativa quanto nos questionários. De início, os alunos responderam que havia sim uma convergência entre elas, porém, não souberam explicar em que ponto um fenômeno explicava o outro, ou seja, não sabiam relacionar cor e temperatura. Posteriormente às aulas teóricas veio a aventura, onde foi possível notar o quanto eles estavam bem informados sobre o assunto, de tal modo que, durante a narrativa, o raciocínio dos alunos era correto a cada desafio proposto pelo mestre.

Entende-se que através do RPG o aluno pode estimular a imaginação e a criatividade, e, por ser um jogo de cooperação, todos podem ajudar uns aos outros para se alcançar determinados objetivos, a partir das interações entre os personagens. Neste sentido, foi perguntado quais pontos os alunos consideravam negativos em relação ao método de ensino e aprendizagem de Física por meio do jogo de RPG. Diante da pergunta, todos disseram que não há, ou não veem pontos negativos em relação ao uso do jogo.

Para confirmar as afirmativas dadas na pergunta anterior, os participantes ainda disseram estar dispostos a jogar outra aventura de RPG com o objetivo de aprender ou reforçar os conteúdos estudados em Física ou outras disciplinas.

Nessa perspectiva, procurou-se saber dos participantes se os conhecimentos em relação aos modelos atômicos obtiveram melhoras durante o RPG, e quais novos conhecimentos foram adquiridos por eles. No quadro 17, é possível observar as respostas dadas.

Quadro 17 - Opiniões dos alunos em relação aos novos conhecimentos adquiridos com a aplicação do RPG.

Aluno (a)	Respostas
J.D	<i>“O RPG me ajudou a aprofundar meus conhecimentos sobre a física e também a aprender um pouco mais sobre astronomia”.</i>
I.G	<i>“Sim. Consegui absorver um pouco de cada assunto como o modelo de Bohr, a composição das estrelas, a temperatura das mesmas, entre outros.”</i>
W.G	<i>“Sim meus conhecimentos em relação aos modelos atômicos tiveram melhorias no jogo. Aprendi muito sobre os modelos atômicos.”</i>
W.S	<i>“Sim, sobre o espectro os modelos atômicos números quânticos e composição da estrela.”</i>
W.N	<i>“Principalmente no cálculo dos números atômicos”</i>
K.C	<i>“Vida completamente diferentes da gente eles vivem floresta e a gente mora na cidade cheio de barulho.”</i>
A.T	<i>“Sim, aprendi a não ficar só na teoria e ir pra prática.”</i>
A.L	<i>“Sim, e descobri mais sobre os modelos e de diferentes formas.”</i>
L.S	<i>“Sim, sim pois aprendi um pouco sobre as estrelas e os átomos.”</i>
S.B	<i>“Sim já disse que ele conhecimento sobre o átomo hidrogênio Hélio que compõem a densidade de uma estrela aprende mais sobre os anéis de uma nave espacial e outras coisas de queridas.”</i>

Fonte: Produção do próprio autor

Dessa forma, foi possível permitir aos alunos um modo de aprendizado interativo, explorando diferentes assuntos da Física, sendo eles os protagonistas da construção do saber, mostrando assim o RPG como uma metodologia ativa, que pode ser utilizada pelos educadores na intenção de se ensinar Astronomia de uma maneira lúdica e didática.

Outra característica que foi observada a partir do uso do RPG, enquanto metodologia de ensino, é que na visão dos alunos, esse tipo de estratégia deveria ser utilizada em outras disciplinas, além da Física. Neste sentido, é possível desenvolver diferentes habilidades com os alunos, em variados contextos e situações.

Portanto, entende-se que o RPG pode ser utilizado como recurso didático para o ensino de Física, levando em consideração suas vantagens ora ressaltadas na aplicação do produto educacional, observando assim os aspectos cognitivos e atitudinais. Entretanto, é necessário que haja sempre essa característica de se mesclar o lúdico com o saber científico, levando o aluno a aprender a Física de um modo divertido.

CAPÍTULO 7

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do que foi proposto, entende-se o RPG como metodologia ativa de ensino, pois esta é capaz de atender algumas das necessidades dentro do ensino de Física e promover uma aprendizagem significativa, levando assim ao desenvolvimento de habilidades dos alunos, que tende a aprender os conteúdos aplicados discutindo com seus colegas, e, através desta interação pode se notar o engajamento dos alunos com relação aos conteúdos aplicados, que faz com eles venha instigar sua curiosidade em ler e pesquisar, além também de ser um método que prenda a atenção dos discentes.

Os ganhos em termos de aprendizagem alcançados com a aplicação do RPG em sala de aula, trouxe resultados satisfatórios, não apenas em relação aos conceitos e temas trabalhados como Astronomia e Física Moderna, mas também foi possível notar uma certa maturidade crítica, de maneira com que eles formulavam suas perguntas e resposta, agregando informações e expondo ideias precisas. Por mais que se tratasse de um jogo, eles levaram a sério aquilo que estava sendo tratado, compreendendo que aquele momento seria essencial para seu aprendizado.

Toda essa versatilidade pode ser confirmada por meio dos relatos dos próprios alunos na aplicação da sequência didática, considerando assim o RPG como uma estratégia didática bem sucedida nas aulas para abordagem de tópicos de Física Moderna, podendo também se estender a outros campos de conhecimentos.

Durante a realização deste trabalho foi possível notar nas revisões bibliográficas que tratam do assunto RPG no ensino de Física, que ainda há poucas produções escritas fazendo esse tipo abordagem, embora o RPG seja considerado uma estratégia didática de sucesso, ainda é pouca as produções voltadas a atender essa demanda. Portanto, fica aberta a possibilidade de futuramente haver mais produções escritas com essa perspectiva.

Sobre à aplicação do RPG Educacional nas aula de Física, fica evidente este tipo de metodologia não apresenta nenhum tipo de problema que possa atrapalhar sua implementação, mas no entanto tem que haver um certo preparo para elaborar uma narrativa que esteja de acordo com os conteúdos trabalhados e

isto requer disposição por parte do professor, no sentido em que se faça a diversão da turma com finalidades pedagógicas.

Em relação aos conceitos de Física moderna e Astronomia, abordados no jogo, pode-se dizer que foram elencados de forma bem sucedida, sendo até sugerido pelos participantes da aventura que esse mesmo recurso (RPG) fosse também aplicado em outras disciplinas. Portanto, ressalta-se a possibilidade de experimentá-lo em uma perspectiva interdisciplinar, na intenção de percebê-lo como uma metodologia capaz de permitir, efetivamente, esse tipo de atividade no cotidiano escolar.

Tendo em vista que o RPG se apresenta como um recurso pedagógico importante no ensino de Física Moderna e Astronomia, espera-se que este venha utilizado com mais frequência pelos professores, e que também possa melhorar seu acesso a esse tipo de jogo, uma vez que nem todos os educadores o conhecem. Sendo assim, faz-se necessário a elaboração de aventuras básicas, que possam ser adaptadas pelos docentes a fim de atender ao perfil dos alunos e alcançar os objetivos que se esperam atingir.

É importante mencionar, levando em consideração que imprevistos podem acontecer, já que o RPG não é um roteiro fechado, isto exige que o educador (mestre), tenha sempre consigo alternativas no sentido de sanar certos contratempos.

Durante a aplicação da sequência didática, bem como na aventura de RPG foi possível verificar que os alunos passaram a ter mais interesses e motivação em aprender sobre Astronomia, espectroscopia estelar e atômica, ao serem inseridos nas situações-problema da aventura, mesmo que na fantasia (nave espacial), era exigido deles, saber científico, bem como o envolvimento com relação aos conteúdos trabalhados no sequenciamento didático.

Pensando-se também na aplicação para outros cenários, ressalta-se aqui que esta não é adequada para grandes públicos. Neste trabalho, foram criados 10 personagens para 10 alunos; não sabemos como seria a aplicação em uma turma tradicional, de cerca de 30 ou 40 alunos.

Portanto considera-se o Produto Educacional de RPG para o Ensino de Física como uma ferramenta útil para a abordagem de temas e conceitos que

envolvem a Física, de forma lúdica e ao mesmo tempo educativa sendo assim capaz de promover uma aprendizagem com resultados significativos

Por fim, é importante também destacar aqui que, apesar de ter sido uma metodologia muito bem aceita pelos estudantes, e ter sido uma experiência muito interessante aplicá-la, esta demanda um grande trabalho para a confecção.

Devido a isso, emerge a necessidade que mais aventuras como a deste trabalho sejam criadas, de modo que possam ser utilizadas por professores, sem a necessidade de que estes tenham que criar as suas próprias, e espera-se, também, que esta aventura possa ser utilizada em outros contextos educacionais.

REFERÊNCIAS

ALGATTI, Mauricio Antônio. **Estudo do Espectro Visível do Átomo de Hidrogênio**. 2009. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" Campus de Guaratinguetá - Faculdade de Engenharia Departamento de Física e Química, 2009. Disponível em: <http://macbeth.if.usp.br/~gusev/espectroH.pdf>. Acesso em: fev. 2020.

AMARAL, R.R.; BASTOS, H.F.B. O Role playing Game na sala de aula: uma maneira de desenvolver atividades diferentes simultaneamente. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 11, n. 1, p. 103-122, 2011.

ATKINS, P.W.; JONES, Loretta. **Princípios de química**: questionando a vida moderna e o meio ambiente. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006, 965 p.

BAGNATO, Vanderlei Salvador; MUNIZ Sergio Ricardo. **Os modelos atômicos**. São Paulo: Univesp., 2010.

BASTOS, Heloisa Flora Brasil Nóbrega; AMARAL, Ricardo Ribeiro. O Role playing Game na sala de aula: uma maneira de desenvolver atividades diferentes simultaneamente. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 11, n.1, p. 103-122, 2011.

BARROS, Lucas Guimarães; ASSIS, Alice; LANGHI, Rodolfo. Proposta de construção de espectroscópio como alternativa para o ensino de Astronomia. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 33, n. 3, p. 1026-1046, dez. 2016.

BIGGS, John Burville; COLLIS, Kevin F. **Evaluating the quality of learning: the SOLO taxonomy**. New York: Academic Press, 2003. 238p.

BRABRAND, Claus; DAHL, Bettina. Constructive alignment and the solo taxonomy: a comparative study of university competences in computer science vs. mathematics. *In*: AUSTRALIAN COMPUTER SOCIETY, INC. **Proceedings of the Seventh Baltic Sea Conference on Computing Education Research**, v. 88, p. 3-17. Darlinghurst, Austrália, 2007.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação. **Base Nacional Comum Curricular**: educação é a Base. Brasília, 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/abase/>. Acesso em: 17 set. 2020.

CARUSO, Francisco; OGURI, Vitor. **Física Moderna**: origens clássicas e fundamentos quânticos. Rio de Janeiro: Campus, 2006.

CAVALCANTI, Eduardo Luiz Dias; SOARES, Márlon Herbert F. Barbosa. O uso do jogo de roles (Role Playing game) como estratégia de discussão e avaliação do conhecimento químico. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 8, n. 1, p. 255-282, 2009.

COELHO, Luana; PISONI Silene. Vygotsky: sua teoria e a influência na educação. **Revista e-Ped**, v. 2, n. 1, p.145-152, 2012.

CUSTÓDIO, José Francisco; ALVES FILHO, José de Pinho; CLEMENT, Luiz; RICHETTI, Graziela Piccoli; FERREIRA, Gabriela Kaiana. Práticas didáticas construtivistas: critérios de análise e caracterização. **Revista TED**, n. 33, p. 11 – 35, 2013.

DE PAULA, Camila Salgado. **Modelos atômicos**. 2015. Disponível em: <http://educacao.globo.com/quimica/assunto/estrutura-atomica/modelos-atomicos.html>. Acesso em: mar. 2020.

DINIZ, Farnésio Vieira da Silva; SANTOS, Carlos Alberto dos. Ensinando atomística com o jogo digital “Em busca do Prêmio Nobel”. **Rev. Bras. Ensino Fís**, v. 41, n. 3, p. e20180268-1 a e20180268-8, 2019.

EISBERG, Robert; RESNICK, Robert. **Física quântica. átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas**. 23. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1979.

FABRÍCIO, Gabriel Motac *et al.* O RPG como estratégia didática para o ensino de radioatividade. **Enseñanza de las ciencias**. n. extra, p. 5299-5304, 2017.

FIORENTINI, Dario, LORENZATO, Sergio. **Investigação em educação matemática: percursos teóricos e metodológicos**. Campinas- SP: Autores Associados, 2006. (Coleção Formação de professores).

FREITAS, L. C.; SITKO, C. M.; CHAGAS, M. L. Panorama do RPG (Role-Playing Game) no Ensino de Física no período de 2015-2019. **Ensino & Pesquisa**, v. 18, n. 3, 2020, p. 53-64.

GASPAR, A. Alberto. **Atividades experimentais no ensino de Física: uma nova visão baseada na teoria de Vygotsky**. São Paulo: Livraria da Física, 2014, 252 p.

GERALDO, Antônio Carlos Hidalgo. **Didática das Ciências naturais na perspectiva histórico- crítica**. 2. ed. São Paulo: Ática, 2014.

GOMES, Gerson G.; PIETROCOLA, Maurício. O experimento de Stern-Gerlach e o spin do elétron: um exemplo de quase-história - The Stern-Gerlach experiment and the electron spin: a quasi history example. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 2, 2011.

GONZALEZ-TEJERO, José Manuel Serrano; PONS PARRA, Rosa Maria. El constructivismo hoy: enfoques constructivistas en educación. **Revista Electrónica de Investigación Educativa**, v.13, n.1, jan. 2011.

HETEM; Gregório; PEREIRA, Jatenco. **Observatórios virtuais: fundamentos de astronomia**. 2009. Cap. 5 Notas de aula. Disponível em: <http://www.astro.iag.usp.br/~jane/aga215/index.html>. Acesso em: fev. 2020.

IVIC, Ivan. **Lev Semionovich Vygotsky**. Recife: Massangana, 2010. 140p (Coleção Educadores).

LABURÚ, C.E.; CARVALHO, M.A.; BATISTA, I.L. Controvérsias construtivistas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.18, n.2, p.152-181, ago. 2001.

MARRANGHELLO, Guilherme F.; PAVANI, Daniela B. Fotografia digital para distinguir as cores das estrelas. **Física na Escola**, v. 12, n. 1, 2011.

MINAYO, Maria Cecília de Souza. **Pesquisa Educacional: teoria, método e criatividade**. Petrópolis-RJ: Vozes, 1994.

MOREIRA, Marco Antônio. **Teorias de Aprendizagem**. 2. ed. ampl. São Paulo: EPU, 2011, 242p.

MOREIRA, M. A. **Mapas conceituais e aprendizagem significativa**. (Concept maps and meaningful learning) Instituto de Física – UFRGS. Porto Alegre – RS, 2012. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/~moreira/mapasport.pdf>. Acesso em: set. 2020.

NASCIMENTO JÚNIOR, Francisco de Assis; PIETROCOLA, Mauricio. O papel do RPG no ensino de física. **Anais...** Bauru, SP: ABRAPEC, 2005.

NASCIMENTO JÚNIOR, Francisco de Assis; PIASSI, Luís Paulo. Role-Playing Games nas Aulas de Física. **Revista Enseñanza de La Física**, v. 27, n. Extra, p. 675-681, 2015.

OLIVEIRA FILHO, Kepler de Sousa; SARAIVA, Maria de Fatima Oliveira. **Astronomia e astrofísica**. 3. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2005.

OLIVEIRA, Ótom Anselmo de; FERNANDES, Joana D'arc Gomes. **Arquitetura atômica e molecular**. Natal (RN): EDUFRN, 2006. 280 p.

OSELAME, Pedro dos Santos; OLIVEIRA, Luciano Denardin de. RPG e Física: um ambiente para transição entre o senso comum e o conhecimento científico. **Boletín das ciências**, v. 31, n. 85, p. 51-60, 2018.

PARENTE, F.A.G.; SANTOS, A.C.F. dos; TORT, A.C. Os 100 anos do átomo de Bohr (One hundred years of Bohr's atom). **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 4, 2013.

PENA. Christopher do Vale; MATTOS. Daniela Fernandes. **Análise do índice de reprovação dos alunos na disciplina de física no ensino médio da rede estadual dos municípios do norte do estado do Espírito Santo**, 2012. Disponível em: <http://www.anpae.org.br>. Acesso em: set. 2020.

PORTAL de química. Modelo de Thompson. Disponível em: <https://www.soq.com.br/conteudos/em/modelosatomicos/p2.php>. Acesso em: mar. 2020.

PRIGOL, Edna Liz. Pesquisa estado do conhecimento: uma visão para a prática pedagógica e a formação de professores. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO- Educere, 11., Curitiba-Paraná, 2013.

RAMOS, Kayro Ravel Costa. **Método de ensino-aprendizagem gamificado: aplicando mapas conceituais e alinhamento construtivo**. 2017. 53 f. TCC (graduação em Sistemas de Informação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Quixadá, Quixadá, 2017.

RODRIGUES, Sônia. **Roleplaying game e a pedagogia da imaginação no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

ROMANOWSKI, J. P.; ENS, R. T. As pesquisas denominadas do tipo “estado da arte”. **Diálogo Educacional**, Curitiba, v. 6, n. 19, p. 37-50, set. 2006.

SALA, Oswaldo. Uma introdução à espectroscopia atômica: o átomo de hidrogênio. **Química Nova**, v. 30, n. 7, pp. 1773-1775, 2007. UFPR - Setor de Exatas. **Experiência B1 - As Linhas de Balmer**. Departamento de Física.

SANTOS, Anderson Oramisio; OLIVEIRA, Guilherme Saramago de; JUNQUEIRA, Adriana Mariano Rodrigues. Relações entre aprendizagem e desenvolvimento em Piaget e Vygotsky: o construtivismo em questão. **Revista Itinerarius Reflectionis**, v. 10, n. 2, 2014.

SANTOS, Marden Eufrásio dos; MENDONÇA, Andréa Pereira. Aplicação da Robótica Educacional no Ensino das Relações Métricas do Triângulo Retângulo. **CINTED-UFRGS Novas Tecnologias na Educação**, v. 14, n. 2, 2016.

SANTOS, Renato P. dos; DAL-FARRA, Rossano André. A saga da Física: um RPG (role-playing game) para o ensino e aprendizagem de história da Física. **Revista NUPEM**, v. 5, n. 8, p. 33-51, 2013.

SCHMIT, Wagner Luiz. **RPG e Educação: alguns apontamentos teóricos**. 2008. 284 f. Dissertação (Mestrado em Educação) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

SILVA, Wilker Solidade da. A pesquisa qualitativa em educação. **Horizontes – Revista de Educação**, v. 2, n.3, 2014.

SITKO, Camila Maria; DALL POZZO, Bryan Rafael; COSTA-LOBO, Cristina. Jornada a Marte: adaptação do RPG para o ensino de Física/Astronomia. **Revista EDaPECI - Educação a Distância e Práticas Educativas Comunicacionais e Interculturais**, v. 19 n. 2, 2019.

SOUSA, Monique Anara Siqueira de; SILVA, Boniek Venceslau da Cruz. Calor, temperatura, poções e magias: o uso do RPG como ferramenta avaliativa em aulas de Física no ensino médio. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 9, n. 1, p. 73-98, 2014.

TOLEDO, Elizete da Aparecida Toledo. **O RPG como estratégia de ensino: uma proposta para o ensino de profissões**. Programa de Desenvolvimento educacional - Guarapuava – Paraná, 2015. Disponível em http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/cadernospede/pdebusca/producoes_pde/2014/2014_unicentro_ped_artigo_elizete_da_aparecida_toledo.pdf. Acesso em:

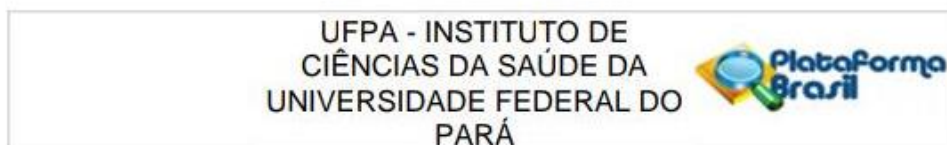
VASCONCELOS, Yumara Lúcia; MANZI, Suely Maria Silva. Processo ensino-aprendizagem e o paradigma construtivista. **Interfaces Científicas – Educação**, v.5, n.3, p. 66-74, 2017.

VIANNA, Heraldo Marelím. **Pesquisa em Educação: a observação**. Brasília: Plano, 2003.

VILAS BOAS, Anderson Camatari; MACÊNA JÚNIOR, André Gonçalves; PASSOS, Marinez Meneghello. RPG pedagógico como ferramenta alternativa para o ensino de Física no Ensino Médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 2, p. 372- 403, ago. 2017.

VILLATORRE, Aparecida Magalhães; HIGA, Ivanilda; TYCHANOWICZ, Silmara Denise. **Didática e avaliação em Física**. São Paulo: Saraiva, 2009.

ZEICHNER, K. M. **A formação reflexiva de professores: ideias e práticas**. Lisboa: Educa, 1998.

ANEXO A – COMPROVANTE DE APROVAÇÃO NO COMITÊ DE ÉTICA**PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP****DADOS DO PROJETO DE PESQUISA**

Título da Pesquisa: ENSINO DE FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO: CONTEXTUALIZAÇÃO COM A ESPECTROSCOPIA ESTELAR

Pesquisador: LEANDRO CARLOS LIMA FREITAS

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 31435820.7.0000.0018

Instituição Proponente: UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ - UNIFESSPA

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 4.085.813

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO PRÉ-DIDÁTICA

QUESTIONÁRIO PRÉ APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA

1)^a Numa escala de importância como você classificaria o ensino da Física?

() Não tem () pouca () muita

2)^a Onde e de que forma você acredita que para estudar os conteúdos de Física, haveria um aprendizado mais significativo?

3)^o Que tipo de metodologias você acha que seriam bem empregadas no sentido de facilitar sua aprendizagem em Física?"

4)^a Quando o professor ministra os conteúdos de Física Moderna, você consegue enxergar a teoria ensinada em fatos que acontecem no seu dia a dia?

() Sim () sim, às vezes () Não, nunca relaciona

5)^o Você já ouviu falar, ou tem algum conhecimento, ou saberia explicar o que é um jogo de RPG?

6)^o Você já teve alguma experiência com algum tipo de RPG? (eletrônico, de cartas, tabuleiro, ou outros) Se sim, como foi? O que achou?

7)^o Já participou de algum projeto de ensino que usou uma abordagem diferenciada em física, utilizando métodos de ensino não tradicionais? Fale um pouco sobre como foi e o que você achou

8)^a Você sabe quais elementos químicos são predominantes em uma estrela?

9)^a De onde vem o material que compõe as estrelas?

a) () radiações solares

b) () são provenientes da explosão de outras estrelas

c) () são frutos de gases rarefeitos

d) () Vem dos gases do efeito estufa

10ª) De acordo com a coloração das estrelas pode se dizer que as estrelas vermelhas, são?

- a) () Quentes
- b) () Apresentam excesso de Hidrogênio
- c) () Frias
- d) () Apresentam menores magnitudes

11ª) A abundância de um elemento químico presente em uma estrela depende de qual fator?

- a) () Densidade
- b) () Massa
- c) () Magnitude
- d) () Idade

12ª) Como você imagina que podemos saber qual é a composição de uma estrela?

13ª) Que tipo de relação você acha que há entre o átomo, seus componentes, e a composição de uma estrela?

14ª) Existe relação entre temperatura da estrela e sua cor?

15ª) Como se chama o processo físico responsável pelo brilho emitido pelas estrelas?

- a) () Fissão Nuclear
- b) () Fusão Nuclear
- c) () Fusão gravitacional
- d) () Emissão nuclear

APÊNDICE B - QUESTIONÁRIO PÓS-APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA

1º) Qual a sua opinião em relação às experiências pedagógicas vividas na aplicação do RPG na área de espectroscopia estelar?

2º) Quais pontos você considera positivos em relação ao método de ensino e aprendizagem de Física por meio do jogo de RPG?

3º) Você sabe quais elementos químicos são predominantes em uma estrela?

4ª) De onde vem o material que compõe as estrelas?

- a) () radiações solares
- b) () são provenientes da explosão de outras estrelas
- c) () são frutos de gases rarefeitos
- d) () Vem dos gases do efeito estufa

5ª) De acordo com a coloração das estrelas pode se dizer que as estrelas vermelhas, são?

- a) () Quentes
- b) () Apresentam excesso de Hidrogênio
- c) () Frias
- d) () Apresentam menores magnitudes

6º) Como você imagina que podemos saber qual é a composição de uma estrela?

7º) Que tipo de relação você acha que há entre o átomo, seus componentes, e a composição de uma estrela?

8º) Existe relação entre temperatura da estrela e sua cor?

9º) Como se chama o processo físico responsável pelo brilho emitido pelas estrelas?

- a) () Fissão Nuclear
- b) () Fusão Nuclear
- c) () Fusão gravitacional
- d) () Emissão nuclear

10º) Quais pontos você considera negativos em relação ao método de ensino e aprendizagem de Física por meio do jogo de RPG?

11º) No momento das aulas em que o RPG foi utilizado, você encontrou alguma dificuldade para fazer o uso dos conhecimentos e conteúdos de Física para assim aplicá-los durante a aventura?

12º) Na resolução de situações-problema propostas durante a aventura, ao avaliar seu conhecimento em Física, você sentiu a necessidade de aprofundar seus estudos dentro dos conceitos que estavam envolvidos naquela situação? Relate o momento em que isto aconteceu.

13º) Você estaria disposto a jogar outra aventura de RPG com o objetivo de aprender ou reforçar os conteúdos estudados em física ou outras disciplinas?

14º) Seus conhecimentos em relação aos modelos atômicos obtiveram melhoras durante o RPG? E Quais novos conhecimentos você adquiriu?

15º) Durante o desenvolvimento da aventura (RPG), indique os principais conceitos de Física você considera que foram essenciais para o ensino aprendizagem e como você os utilizou no momento do jogo.

APÊNDICE C – O PRODUTO EDUCACIONAL



PREFÁCIO

Prezado (a) Professor (a), este roteiro didático constitui o Produto Educacional desenvolvido no Programa de Pós-Graduação Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF), da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA). Dessa forma, este guia apresenta-se como uma metodologia ativa no ensino de física. Ao trabalhar o ensino de Astronomia dentro da Física, podemos introduzir elementos norteadores do cotidiano dos alunos para exemplificar as suas abordagens e contextualizações.

Entretanto, muitos alunos ainda têm muitas dificuldades na compreensão conteúdos que envolvem Física Moderna e Astronomia, e foi com esse pensamento que levou à elaboração do RPG, com o objetivo de que este possa ser um instrumento facilitador na construção da aprendizagem pelos alunos.

Neste sentido, foi elaborado um roteiro que traz uma sequência de passos dos processos de aplicação do jogo, o qual aborda as principais temáticas que serão inseridas na aventura de RPG, para o professor utilizar em suas aulas.

Lembrando que a presente aventura de RPG (Aventura Estelar), não se trata de uma narrativa fixa, as falas presente na mesma são apenas sugestões, sendo que o professor (mestre) da aventura, pode, portanto, modificar de acordo com o contexto que esteja sendo trabalhado nas aulas de Física.

Portanto, esse material é direcionado, principalmente, aos professores do Ensino Médio que trabalham com a disciplina de Física. No entanto, o mesmo oferece a proposta de interdisciplinaridade, podendo também auxiliar na compreensão de conteúdos que envolvem a Química e Astronomia, numa perspectiva metodológica alternativa.

Introdução

Em 2090, 10 tripulantes se preparam para fazer uma viagem interestelar a procura de um novo sistema planetário. Com a tecnologia avançada, foi possível construir uma espaçonave capaz de realizar a maior viagem já vista na história da raça humana.

Objetivo

- Viajar para um sistema que possui uma estrela gêmea solar, ou seja, que guarda muitas similaridades com o Sol, e que pode possuir um planeta com condições habitáveis. O nome da estrela é 54 piscium, e fica na constelação de peixes.
- Manter atualização constante entre a espaçonave e a Terra, a respeito de todo o material analisado ao longo da missão.
- Mapear um caminho rápido e seguro entre a Terra e o novo sistema.

Obstáculos

Zonas de meteoros, possível atração gravitacional de buracos negros ainda desconhecidos, falhas no sistema, como perda de comunicação ou qualquer fator que prejudique o progresso da missão.

Estrutura da Espaçonave

A nave é composta por 7 anéis: K, L, M, N, O, P e Q. O primeiro anel K é responsável pela energia da nave, no anel L é o centro de comando da nave, o anel M é a horta da nave, onde são cultivados os alimentos para a viagem. Nos anéis N, O, P e Q, estão comunicação, laboratório multifuncional, laboratório de análises e amostras espaciais e o alojamento, respectivamente.

Tripulação

2 pilotos, 1 químico, 2 físicos e 2 astrônomos, 1 engenheiro mecânico.

Aqui, professor, você distribui as profissões conforme os alunos as escolherem. Nesta aventura, foram dados nomes fictícios, mas você pode substituir pelos nomes dos seus alunos, ou nomes que eles escolham para os seus personagens.

Físico 1: Pedro

Piloto 1: Daniel

Piloto 2 – comandante: Luciano

Engenheira mecânica: Aurora

Astrônomo 1: Roberto

Astrônoma 2: Jane

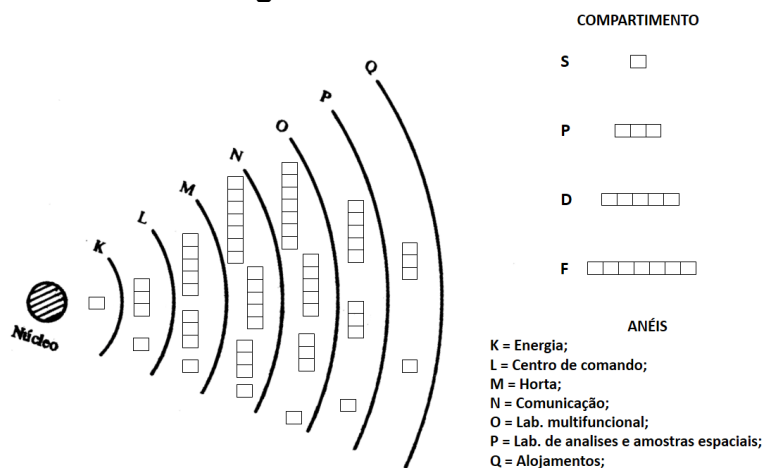
Química: Marina

Depois da distribuição, é interessante pedir para que cada personagem se apresente, para que os alunos façam um “aquecimento” de suas interpretações.

É importante mencionar que a aventura foi remodelada para a quantidade de alunos que queriam falar durante a aventura. Dessa forma, tivemos 8 personagens com fala, e duas figurantes, que optaram por não aparecer na trama.

Antes de começar a aventura, o professor mostra o esquema de funcionamento da nave, conforme a figura 1.

Figura 1 - Modelo da nave.



Obs. A nave está viajando próximo à velocidade da luz.

Narrador: Depois de um ano de missão, um piloto ajudante chamado Daniel começa a notar uma paixão do físico Dr. Pedro pelas estrelas. Ele decide pedir para Pedro lhe explicar algumas coisas.

Narrador: Dr Pedro, por que as estrelas emitem brilhos diferentes umas das outras? **(Observe a curiosidade dos alunos, e tente ver as respostas que eles reformulam por conta dessa nova pergunta).**

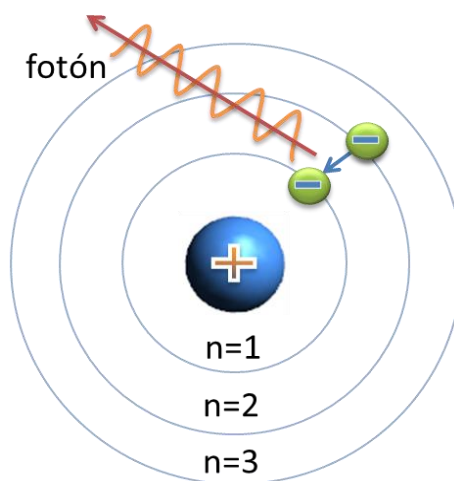
Professor (fora da narrativa): Se você joga um pedaço de fio de cobre no fogo, a coloração da chama muda de cor? **(Pergunte aos alunos se isso é verdade).**

Professor (fora da narrativa): Se você joga algum outro objeto em outra chama, a coloração dela será diferente da chama com o fio de cobre? Por que isso acontece? **(Tente seguir as perguntas anteriores como linha de pensamento, caso os alunos formulem uma resposta incorreta).**

Obs. O professor deverá perguntar se a turma consegue associar algum modelo atômico, que possua uma relação com a questão que está sendo tratada entre o físico Pedro e o piloto Daniel.

Professor (fora da narrativa): “Em ambas as chamas, o elétron presente em um determinado nível de energia recebe energia na forma de calor, e essa excitação lhe possibilita saltar de um nível menos energético para um nível mais energético, ou seja, de um nível para outro. E para retornar ao nível de origem, ele emite toda a energia absorvida na forma de luz”. Esse é o modelo atômico de Bohr.

Figura 2 - Modelo atômico de Bohr.



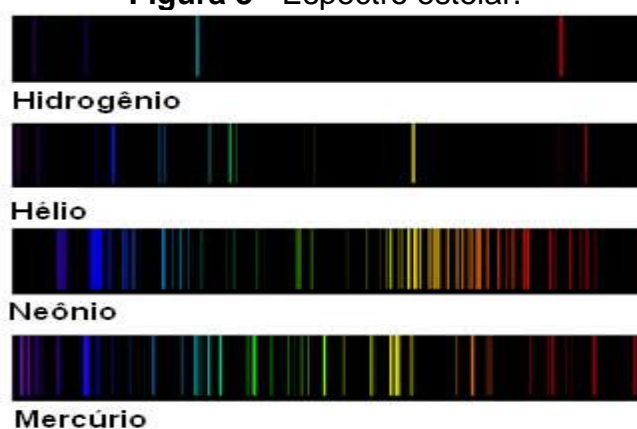
Professor (fora da narrativa): Podemos então fazer um raciocínio similar para as estrelas. Cada estrela é composta por elementos químicos que possuem suas características definidas e, a partir disso, cada elemento também acaba possuindo um espectro. Assim, a quantidade de elementos pode ser observada pela superposição de espectros de diferentes elementos na estrela.

É importante também deixar claro que a quantidade de determinados tipos de elementos ditará a temperatura da estrela, e assim, cores diferentes podem ser observadas. **(Pergunte aos alunos se eles já viram um espectro).**

Professor (fora da narrativa): Cada linha é como um código de barras de um elemento químico. Então, juntando todas as linhas, é possível saber a composição da estrela.

(Apresentar para os alunos imagens de diferentes estrelas acompanhadas do Espectro Estelar. Deixar os alunos investigarem quais são os espectros de cada estrela, enquanto participam da narrativa).

Figura 3 - Espectro estelar.



(É essencial que o professor observe se os alunos realmente conseguiram entender o que foi tratado até aqui).

Professor (fora da narrativa): Essa composição também determina o calor liberado por ela?

Perguntar isso aos alunos, e interagir com eles

Professor (fora da narrativa): Por meio das linhas espectrais, é possível diferenciar os tipos de estrelas, como é o caso das estrelas muito quentes e azuis, que têm poucas linhas de absorção, e as mais proeminentes são de H e He. E já as estrelas vermelhas, que são menos quentes, apresentam muitas linhas de absorção.

Avanço no tempo

Narrador: Após alguns anos de viagem, o pessoal continuava a se questionar. Dessa vez, foi a engenheira mecânica Aurora, que foi perguntar à astrônoma Jane e ao físico Pedro, sobre a estrela estudada.

Aurora então pergunta: Dra Jane, estamos à procura de um novo sistema solar. No relatório geral é mencionado que estamos estudando um sistema... uma estrela semelhante ao Sol. Por que estamos estudando a 54 piscium em específico?

Jane: Estamos tratando de uma estrela com as mesmas semelhanças do Sol, talvez tenham até a mesma idade... como irmãos que cresceram em sistemas diferentes. E ela tem um planeta girando em torno dela, assim como o Sol. Se a Terra tem capacidade de abrigar vida, estando orbitando ao redor do Sol, o que nos impede de ver se é possível que a mesma coisa aconteça nesse outro sistema?

Aurora: E, Dr Pedro, a estrutura da nave? Por que ela é assim, em formato de anéis? Nunca vi isso antes.

Pedro: Aurora, o que você nota quando observa cada um dos anéis? Eu faço uma analogia com a ideia dos números quânticos.

Número quântico principal (n): 1 a 7;

Número quântico secundário (l): subnível de 0 a 3;

Número quântico magnético (m): distribuição dos elétrons nos orbitais de cada subnível;

Número quântico spins (s): posição que o elétron está dentro do orbital;

Aurora, você gosta de jogos? Vamos jogar um jogo sobre números quânticos, e você vai entender como funciona a nave.

(O professor pode perguntar a turma se eles gostam de jogos).

Pedro: Já notou que todos os dias eu estudo as estrelas? Vamos supor que uma das estrelas que eu estudei seja um elétron. A partir disso, supomos que esse elétron esteja perdido pela nave. A nave é grande demais para sairmos procurando detalhadamente em cada anel, e a nave possui compartimentos. Não seria mais fácil se fôssemos exatamente no anel onde esse suposto elétron está?

Aurora: Suponho que seja difícil de encontrar um elétron.

Pedro: A olho nu, é como procurar uma agulha num palheiro, mas... e se eu lhe fornecesse as coordenadas para encontrá-lo? Vou chamar a química Marina para nos ajudar nessa missão de te explicar melhor.

Professor (fora da narrativa): Existem quatro números quânticos, o número quântico principal (n), vai de 1 a 7, exatamente igual a nave. Dentro da nave, esses números representam os anéis.

(O professor pode relembrar a estrutura da nave novamente).

Figura 4 - Números quânticos principais (n).

				1s	
			2s	2p	
			3s	3p	3d
$n =$	K, L, M, N, O, P, Q	4s	4p	4d	4f
	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	5s	5p	5d	5f
		6s	6p	6d	
		7s	7p		

(O professor pode fixar essa parte da explicação, realizando a distribuição eletrônica de algum elemento químico).

Professor (fora da narrativa): Também temos os números quânticos secundários (l), que vai de 0 a 3, seguindo a ordem dos subníveis S, P, D, F respectivamente. Dentro da nave, esses subníveis são os compartimentos.

O subnível S tem a capacidade máxima de suportar dois elétrons, enquanto o subnível P suporta até seis. O subnível D suporta no máximo dez elétrons e o subnível F suporta até quatorze elétrons.

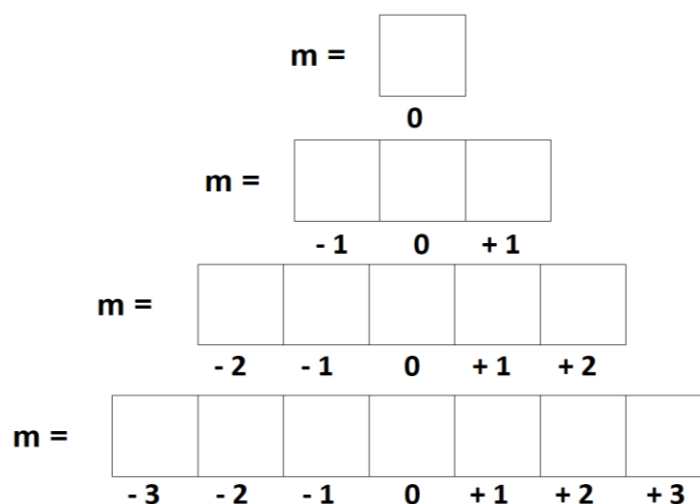
Figura 5 - Números quânticos secundários (l).

			0	S				
$l =$		1		P				
	2			D				
	3			F				

Obs.: O professor deve mostrar como funciona a distribuição dos elétrons em cada orbital.

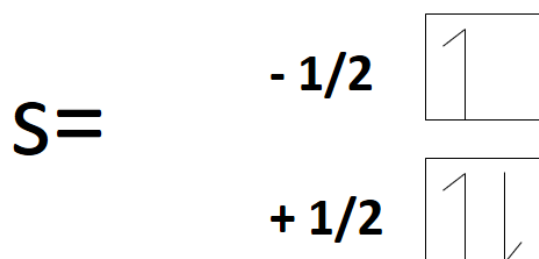
Professor (fora da narrativa): Existem os números quânticos magnéticos (m), que mostra a localização do elétron dentro de um orbital dos subníveis S, P, D ou F. Dentro da nave, significa como funciona a divisão dentro dos compartimentos.

Figura 6 - Número quântico magnético (m).



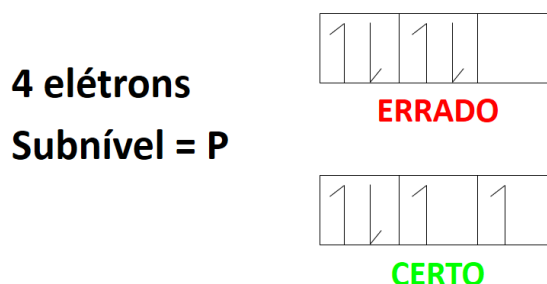
Professor (fora da narrativa): E, por fim, temos o número quântico spins (s), que mostra a posição que o elétron está dentro do orbital. Dentro da nave, significa como organizar as coisas dentro do compartimento.

Figura 7 - Número quântico spins (s).



Obs. (O professor deverá falar sobre a Regra de Hund, e principalmente a forma que os orbitais devem ser preenchidos, ou seja, o elétron só vai poder preencher o orbital como “seta virada para baixo”, depois que todo o subnível estiver com os elétrons na forma de “setas viradas para cima”).

Figura 8 - Regra de Hund.



Retornando à narrativa

Narrador: A química Marina mostra para Aurora como funciona a distribuição eletrônica, e principalmente a forma que devem ser preenchidos os orbitais de cada subnível. Em seguida, faz uma breve demonstração com o elemento oxigênio, de número atômico 8, apresenta as coordenadas $n= 2, l= 1, m= -1, s= +1/2...$ e ensina Aurora a encontrar a posição do elétron.

Marina: Onde você acha que o último elétron está?

Aurora: Dentro do anel 2, no primeiro orbital do compartimento P.

Marina: Isso mesmo.

(É fundamental que o professor faça uma breve demonstração do passo a passo antes de apresentar as coordenadas para a turma).

Retornando à narrativa

Narrador: Por fim, Marina pede que Aurora encontre a posição do último elétron seguindo as coordenadas dos números quânticos para o elemento cloro, que possui 17 elétrons.

Marina: Coordenadas... $n= 3, l= 1, m= 0, s= +1/2$

Professor (fora da narrativa): Atenção, turma! Nossa função é encontrar o elétron seguindo as coordenadas dos números quânticos.

(Só retorne ao diálogo entre Marina e Aurora, após a turma encontrar a posição do elétron).

Marina: Onde o último elétron está?

Aurora: Dentro do anel da horta, no segundo orbital do compartimento P.

Marina: Agora você sabe como funciona a estrutura da nave?

Aurora: Sim.

(É essencial que o professor consiga notar se a turma conseguiu entender a função dos números quânticos durante a aplicação).

Avanço no tempo

Narrador: Após dez anos de missão, a equipe já possui análises cada vez mais concretas, indicando a impossibilidade de vida no planeta do sistema da 54 Piscium, capaz de abrigar vida, devido à elevada temperatura.

Narrador: Faltando três semanas para o fim da missão, a tripulação é convocada até o centro de comando. Os estudos a respeito da 54 Piscium já haviam sido concluídos, e a tripulação estava prestes a ajustar a rota rumo à Terra.

Luciano: Prezados tripulantes. O astrônomo Roberto concluiu as análises, e acredito que o mais viável, após os resultados, seja retornar à Terra.

Roberto: A estrela 54 Piscium, é uma anã laranja, da constelação de peixes. Ela tem classificação espectral K0V, estando na classe de luminosidade V, o que indica que esta estrela se encontra na sequência principal, gerando energia em seu núcleo através da fusão termonuclear do Hidrogênio (H) e do Hélio (He). Sua temperatura efetiva da fotosfera é aproximadamente 5062K, fator este que lhe dá tonalidade laranja. Os planetas próximos da estrela são quentes, tão quentes que seria impossível viver lá. Em outras palavras, a 54 Piscium não possui planetas com condições habitáveis.

Narrador: A tripulação fica em silêncio por um tempo, e a comandante nota a reação negativa da tripulação

Luciano: Chegamos até o fim da missão. O sistema não é promissor, mas isso não significa que a missão tenha sido um fracasso. Em hipótese alguma perdemos tempo vindo até aqui, ao contrário, nós entramos para a história. Finalizamos a missão com antecedência, e agora estamos nos preparando para voltar para casa.

Narrador: Assim, os jovens seguiram novamente a Terra e, anos depois, conseguiram retornar ao planeta de origem.