



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA**

**ALINE DE SANTANA CARVALHO**

**CONCEITOS DE QUÍMICA QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO UTILIZANDO  
SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS: UM ESTUDO DE CASO NA ESCOLA  
ESTADUAL JOSÉ BARROSO TOSTES**

**MACAPÁ-AP**

**2019**

**ALINE DE SANTANA CARVALHO**

**CONCEITOS DE QUÍMICA QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO UTILIZANDO  
SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS: UM ESTUDO DE CASO NA ESCOLA  
ESTADUAL JOSÉ BARROSO TOSTES**

Monografia de Graduação apresentado à disciplina TCC II ministrada pelo Prof. Dr. Alexandro Cezar Florentino, do curso de graduação em Química, da Universidade do Amapá, como requisito necessário para a obtenção de grau em Licenciatura em Química.

Orientador:

Prof. Me. Daniel Sousa dos Santos

**MACAPÁ-AP**

**2019**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Biblioteca Central da Universidade Federal do Amapá  
Elaborada por Cristina Fernandes– CRB-2/1569

---

Carvalho, Aline de Santana.

Conceitos de química quântica no ensino médio utilizando simulações computacionais: um estudo de caso na Escola Estadual José Barroso Tostes. / Aline de Santana Carvalho; orientador, Daniel Sousa dos Santos. – Macapá, 2019.

33 f.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Fundação Universidade Federal do Amapá, Coordenação do Curso de Licenciatura em Química.

1. Química - Estudo e ensino. 2. Química quântica. 3. Simulação computacional. I. Santos, Daniel Sousa dos, orientador. II. Fundação Universidade Federal do Amapá. III. Título.

541.28 C331c  
CDD. 22 ed.

---

**ALINE DE SANTANA CARVALHO**

**CONCEITOS DE QUÍMICA QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO UTILIZANDO  
SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS: UM ESTUDO DE CASO NA ESCOLA  
ESTADUAL JOSÉ BARROSO TOSTES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a  
Disciplina de TCC II da Universidade Federal do Amapá  
- UNIFAP, no Curso de Licenciatura em Química, como  
requisito para obtenção do diploma de Licenciado em  
Química.

Orientador: Prof. Me. Daniel Sousa dos Santos

Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Ma. Joaquina Barboza  
Malheiros.

. DATA DE APROVAÇÃO: 02 / 07 / 2019



---

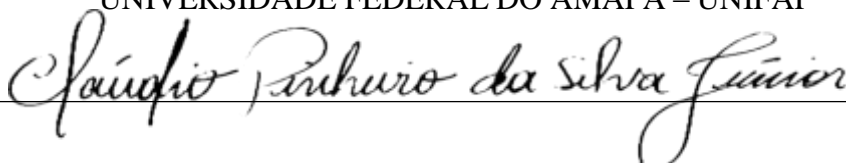
Orientador: Prof. Me. Daniel Sousa dos Santos

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ – UNIFAP



---

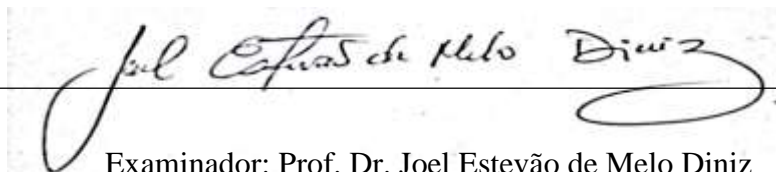
Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Ma. Joaquina Barboza Malheiros  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ – UNIFAP



---

Examinador: Prof. Me. Cláudio Pinheiro da Silva Junior

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ – UNIFAP



---

Examinador: Prof. Dr. Joel Estevão de Melo Diniz

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ – UNIFAP

*Dedico esse trabalho á minha mãe e meu avô por sempre acreditarem em mim, até mesmo quando eu mesma deixei de acreditar.*

## AGRADECIMENTOS

*Primeiramente agradeço a Deus, por ser essencial em minha vida, me dando força e saúde para continuar;*

*A minha mãe Celina Assis, pelo seu amor e carinho, jamais conseguiria sem você do meu lado todos os dias me dando suporte e segurando minha mão, se hoje posso realizar meus sonhos é graças a você e meu avô Francisco, amo vocês;*

*A toda minha família (não vou escrever o nome de todo mundo porque é muita gente) que sempre esteve do meu lado em especial: Ivana Santos, Manoel Francisco, Rogério Santos o amor de vocês me fortalece;*

*Aos meus amigos que são os melhores do mundo, e sempre estão do meu lado, amo muitos cada um de vocês: Harlyson, Eduardo, Shirlene, Ju, Edy, Luana, Larissa e Luca.*

*A minha melhor amiga Luciane Barros que nem é amiga é uma irmã que me ajuda e me apoia sempre, 9 anos me aturando não foi fácil. Te amo muito;*

*A todos os meus professores pelos ensinamentos, vocês são minha fonte de inspiração;*

*Ao meu orientador Daniel Sousa dos Santos, muito obrigado pela sua paciência, dedicação, disponibilidade e por acreditar no meu potencial, eu admiro muito seu trabalho.*

## RESUMO

A química quântica descreve o comportamento fundamental da matéria na escala molecular, e devido seu caráter abstrato não é surpresa que seja um assunto difícil para os alunos aprenderem. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo apresentar uma metodologia de ensino de conceitos de química quântica no ensino médio a partir da utilização de simulações computacionais. Para subsidiar este trabalho, recorreu-se à pesquisa qualitativa e quantitativa, que se consolidou em um estudo de caso, voltado para uma turma de 1<sup>a</sup> ano do Ensino Médio, da Escola Estadual Professor José Barroso Tostes. Foram realizadas simulações de atividades experimentais com conteúdos já vistos em aulas expositivas pelos alunos, onde foram avaliados com base nas participações e conhecimentos demonstrados nas práticas. Sabendo da dificuldade dos alunos em assimilar e aprender química, é que sugerimos à utilização da Tecnologia da Informação e Comunicação nas aulas desta disciplina. Após análise dos resultados das atividades propostas, pode-se concluir que o uso de simulações computacionais pode contribuir de maneira decisiva para o processo de ensino e aprendizagem, propiciando um ambiente motivador, estimulando a participação dos alunos e promovendo uma aprendizagem significativa de conceitos. Como resultado relevante do trabalho desenvolvido destacou-se a experiência de sucesso em introduzir conceitos de química quântica para os alunos, com uma abordagem que permitiu participação ativa dos mesmos. À análise dos dados por meios de pré e pós-questionários nos mostrou que é possível obter uma aprendizagem satisfatória e significativa, com o uso de simulação computacional.

**Palavras-chaves:** Ensino de Química. Química Quântica. Simulação Computacional.

## ABSTRACT

Quantum chemistry describes the fundamental behavior of matter on the molecular scale, and due to its abstract character, it is no surprise that it is a difficult subject for students to learn. In this context, the present work aims to present a methodology for teaching quantum chemistry concepts in high school through the use of computational simulations. To support this work, we used qualitative and quantitative research, which was consolidated in a case study, aimed at a class of 1st year of High School, State School Professor José Barroso Tostes. Simulations of experimental activities with contents already seen in lectures by the students were carried out, where they were evaluated based on the participation and knowledge demonstrated in the practices. Knowing the difficulty of students in assimilating and learning chemistry, we suggest the use of Information and Communication Technology in the classes of this discipline. After analyzing the results of the proposed activities, it can be concluded that the use of computational simulations can contribute decisively to the teaching and learning process, providing a motivating environment, stimulating student participation and promoting a meaningful learning of concepts. As a relevant result of the work developed, the successful experience in introducing concepts of quantum chemistry for students was highlighted, with an approach that allowed their active participation. The analysis of the data by means of pre and post-questionnaires showed that it is possible to obtain a satisfactory and significant learning, with the use of computational simulation.

**Keywords:** Teaching Chemistry. Quantum Chemistry. Computational Simulation.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Simulação da propagação ondulatória de luz através de um laser.....	23
<b>Figura 2</b> – Interferência Quântica.....	24
<b>Figura 3</b> – Efeito Fotoelétrico.....	25
<b>Figura 4</b> – Quantitativo de alunos que já ouviram falar em Química Quântica (No pré-teste a resposta sim, está representada na cor verde e o não, representada em vermelho e no pós-teste as respostas sim, estão representadas na cor cinza).....	27
<b>Figura 5</b> – Assuntos que os alunos já ouviram falar no pré-teste (representando as alternativas sim na cor verde e não na cor vermelha) e no pós-teste (a alternativa sim na cor cinza).....	28
<b>Figura 6</b> – Respostas dos alunos sobre o que é uma partícula (pré-teste e pós-teste) .....	29
<b>Figura 7</b> – Respostas dos alunos sobre o conceito de onda (pré-teste e pós-teste) .....	29
<b>Figura 8</b> – Respostas dos alunos sobre a natureza do elétron (pré-teste e pós-teste) .....	30
<b>Figura 9</b> – Respostas dos alunos sobre quantização (pré-teste e pós-teste) .....	31
<b>Figura 10</b> - Explicação da Simulação “Efeito Fotoelétrico” .....	42
<b>Figura 11</b> - Alunos Manipulando a Simulação “Efeito Fotoelétrico” .....	42
<b>Figura 12</b> - Alunos Manipulando a Simulação “Interferência Quântica” .....	43
<b>Figura 13</b> - Alunos Manipulando a Simulação “Interferência de Onda” .....	43

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>11</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	11
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>12</b>
3.1 A QUÍMICA QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO .....	12
3.2 A IMPORTÂNCIA DE ATIVIDADES EXPERIMENTAIS NO ENSINO DE QUÍMICA .....	13
3.3 O PAPEL DO PROFESSOR DE QUÍMICA EM ATIVIDADES EXPERIMENTAIS NO ENSINO MÉDIO .....	15
3.4 QUÍMICA QUÂNTICA .....	16
3.5 ELÉTRONS E FÓTONS .....	18
3.6 TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO (TIC'S) APLICADAS AO ENSINO DE QUÍMICA QUÂNTICA .....	19
3.7 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL .....	20
<b>4 METODOLOGIA.....</b>	<b>22</b>
4.1 COLETAS DE DADOS .....	22
4.2 ETAPAS DA PESQUISA.....	22
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>25</b>
5.1 ANÁLISE E INVESTIGAÇÃO DO CONHECIMENTO .....	25
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>32</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>33</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>37</b>
<b>APÊNDICE A – Pré e Pós-Questionários .....</b>	<b>38</b>
<b>APÊNDICE B – Plano de Aula.....</b>	<b>39</b>
<b>APÊNDICE C - Fotos da Intervenção Pedagógica.....</b>	<b>42</b>

## 1 INTRODUÇÃO

De forma geral, quando pensamos no ensino percebe-se um número bem elevado de reprovações na disciplina de química, estas reprovações mostram bem as dificuldades que os alunos encontram na aprendizagem dos conteúdos de química. No primeiro ano do ensino médio, os professores costumam abordar a introdução à química trabalhando suas transformações e propriedades.

Neste cenário, geralmente os conteúdos de química são trabalhados em sala de aula de forma convencional, utilizando o quadro e o livro texto dos alunos. Todavia, estes recursos não são suficientes para preencher a lacuna entre a teoria apresentada pelo professor e o contexto que o aluno vivencia no seu cotidiano. Isto está relacionado ao fato de que os recursos normalmente utilizados não permitem a manipulação e a visualização de diferentes combinações e elementos, tão necessários ao aprendizado dos estudantes, com isso, há uma distância entre as linguagens que são empregadas pelos professores ao conduzirem suas aulas, e o que de fato acontece em nível microscópico de fenômenos químicos e físicos.

Dessa maneira, atualmente com os avanços da tecnologia e sua incorporação nos contextos educacionais, a sociedade não aceita mais um procedimento de ensino exclusivamente expositivo. Nas aulas em quadro negro e giz, o professor é visto pelos alunos como o detentor da informação e o senhor do conhecimento, o que acaba desestimulando a criatividade e o envolvimento dos aprendizes. Destarte, é de particular interesse para a química do ensino médio ou até mesmo em nível universitário, a inserção de modelos que estabelecem alguma relação entre conceitos e fenômenos que permitem ao aluno a visualização destas interações.

Neste contexto, o uso de simuladores computacionais na sala de aula pode ser uma possibilidade de transição dos modelos tradicionais de ensino para a construção de formas alternativas de ensinar química. Os simuladores ainda podem propiciar uma interação entre conceitos novos e os já existentes na estrutura cognitiva dos alunos, buscando, dessa forma, uma aprendizagem significativa. Neste âmbito, o presente trabalho propõe a experimentação de simulação interativa apropriada para a aprendizagem de conceitos de química quântica.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Utilizar simulações computacionais como proposta metodológica no ensino de conceitos de química quântica no ensino médio.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver uma estratégia didática para o ensino de química com o auxílio de simuladores computacionais, buscando uma aprendizagem significativa de Ausubel.
- Aplicar a estratégia desenvolvida com coleta de dados por meio de questionários, para verificar o nível da aprendizagem dos conceitos trabalhados.
- Avaliar as contribuições da estratégia no contexto de sua aplicação, sua capacidade de promover a aprendizagem nos pressupostos do referencial adotado.
- Avaliar os resultados do uso do simulador em um contexto educacional e a relação da teoria com a prática dos conteúdos trabalhados em sala de aula com a aprendizagem dos alunos.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 A QUÍMICA QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO

A inserção de conteúdos científicos atuais na sala de aula de ensino médio pode: atrair os jovens para as carreiras científicas; despertar a curiosidade dos estudantes e ajudá-los a reconhecer as ciências como um empreendimento humano, próximo a eles; reconhecer que uma boa formação científica faz parte de um pleno exercício da cidadania (OSTERMANN; CAVALCANTI, 2000).

Segundo Greca (2001) apontam a necessidade de o estudante compreender conceitos relacionados à teoria quântica por ser esta a base de conhecimentos atuais, com aplicações em diferentes áreas, o que pode ser requerido na vida profissional futura, daí ser preciso a sua inclusão no ensino médio de escolaridade.

Contudo, deve-se considerar que há dificuldades a enfrentar na transposição didática da teoria quântica, quais sejam: formalismo matemático inerente à descrição quântica; novidades conceituais que se distanciam da física de forma ainda mais acentuada do que esta da física do senso comum; tratamento experimental dos temas quânticos (PINTO; ZANETIC, 1999). Sendo assim, a pouca investigação sobre o ensino de temas relacionados à teoria quântica contribui para retardar a necessária inserção de temas científicos contemporâneos na educação básica.

Ostermann (2000) apresenta os resultados obtidos a partir das respostas de 61 físicos, professores de Física e pesquisadores em ensino de Física sobre a inserção da Mecânica Quântica no Ensino Médio. No estudo evidencia-se o consenso para assuntos, que podem ser explorados e compartilhados no ensino de Química, com possível inclusão: efeito fotoelétrico, átomo de Bohr, leis de conservação, radioatividade, forças fundamentais, dualidade onda-partícula, fissão e fusão nuclear, origem do universo, raios X, metais e isolantes, semicondutores, laser, supercondutores, partículas elementares, relatividade restrita, Big Bang, estrutura molecular e fibras ópticas.

Lobato e Greca (2005), por exemplo, enfatizam que o debate sobre o ensino de Teoria Quântica já é de relevância mundial. Assim, esta introdução ao mundo quântico, possivelmente promoverá uma alteração no conhecimento prévio, o subsunção, do aprendiz, dando-lhe melhores condições para entender mais e melhor os fenômenos não explicados

pelos modelos clássicos e ao mesmo tempo ligar este conhecimento específico ao seu cotidiano.

Outros estudiosos do ensino de ciências compartilham da necessidade de incluir conhecimentos atualizados na formação geral do cidadão dada a sua importância na Química e na Física, bem como em aplicações tecnológicas cada vez mais presentes nas sociedades industrializadas (GRECA, MOREIRA; HERSCOVITZ, 2001).

De acordo com Terrazan (1992) a inserção da Física Quântica no Ensino Médio é importante porque leva o aluno a um melhor entendimento do mundo que o cerca, assim o autor esclarece que:

A influência crescente dos conteúdos de Física Moderna e Contemporânea para o entendimento do mundo criado pelo homem atual, bem como a inserção consciente, participativa e modificadora do cidadão neste mesmo mundo define, por si só, a necessidade de debatermos e estabelecermos as formas de abordar tais conteúdos na escola de 2º grau (Terrazan, 1992, p.210).

Sendo também de fundamental importância para o autor uma participação efetiva dos professores do atual Ensino Médio e as metodologias a serem empregadas durante as aulas para conseguir-se uma aprendizagem mais eficaz.

Para Rocha (1999) os alunos não podem ficar alheios às mudanças conceituais do nosso século, sendo este conhecimento parte da alfabetização científica da sociedade contemporânea; estes pesquisadores concluíram após resultados parciais de testes aplicados, que os estudantes apresentaram dificuldades idênticas no aprendizado de Física Clássica e de Física Moderna. Portanto, as dificuldades apresentadas pelos alunos durante o aprendizado de Física Quântica não são fatores que desautorize a necessidade e a possibilidade desta introdução.

### 3.2 A IMPORTÂNCIA DE ATIVIDADES EXPERIMENTAIS NO ENSINO DE QUÍMICA

A ciência Química, enquanto área de conhecimento construído historicamente possui em sua estrutura conceitos que, uma vez apreendidos, permitem ampliar a concepção de natureza e dos processos tecnológicos que permeiam a sociedade, dentro de uma maior criticidade e melhor entendimento dos fatos. Nas palavras de Chassot (2004, p. 91-92),

Entender ciência nos facilita, também, contribuir para controlar e prever as transformações que ocorrem na natureza. Assim, teremos condições de fazer com que essas transformações sejam propostas, para que conduzam a uma melhor qualidade de vida. Isto é, a intenção é colaborar para que essas transformações que envolvem o nosso cotidiano sejam conduzidas para que tenhamos melhores condições de vida.

Segundo Vygotsky, a motivação é a origem do pensamento. A partir desta ideia verifica-se que a motivação é a força motriz do processo de ensino e aprendizagem. A Química é uma ciência que abrange conhecimentos teóricos e experimentais que são essenciais para o desenvolvimento científico da sociedade e são esses conhecimentos que se encontram nos conteúdos programáticos do Ensino Médio das escolas. Como primordialmente, a Química trata de conceitos abstratos, um dos maiores desafios atualmente no ensino desta disciplina na sala de aula é construir uma ponte entre esses conhecimentos específicos do âmbito escolar e a realidade cotidiana dos alunos. Frequentemente, a ausência deste vínculo é responsável por apatia e distanciamento entre alunos e professores (VALADARES, 2016).

Segundo Brasil (2002), os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio descreve que o ensino de Química deve levar o aluno a analisar dados, argumentar, refletir e tirar conclusões, a fim de que se desenvolvam competências e habilidades que promovam a interpretação crítica de problemas reais. Constatamos que o trabalho em grupo vem sendo um recurso muito utilizado por professores para dinamizar e para estimular a participação ativa dos alunos no processo de aprendizagem, com o intuito de promover a interação social entre os membros, beneficiando, com isso, a relação entre aprendizado e desenvolvimento, “de fato, aprendizado e desenvolvimento estão inter-relacionados” (VYGOTSKY, 1998, p.110).

A utilização de métodos diversificados com aulas práticas bem planejadas facilita muito a compreensão da produção do conhecimento em química, podemos incluir demonstrações feitas pelo professor e experimentos realizados pelo próprio aluno buscando a confirmação de informações já adquiridas em aulas teóricas, cuja interpretação leve a elaboração de conceitos, sendo importantes na formação de elos entre as concepções espontâneas e os conceitos científicos, propiciando aos alunos oportunidades de confirmar suas ideias ou então reestruturá-las (SALESSE, 2017).

Nesse sentido, experimentação pode atuar como recurso complementar no ensino de Química, pois contribui para que as aulas tornem-se mais dinâmicas, mobilizando os estudantes para que não sejam meros expectadores nos processos de ensino e aprendizagem. Essa interação promovida pelas atividades experimentais entre o aluno e seu objeto de estudo – fenômeno a ser investigado – contribui para o desenvolvimento de saberes conceituais, procedimentais e atitudinais (OLIVEIRA, 2010, p. 141), proporcionando condições para que a aprendizagem ocorra significativamente.

O potencial didático de um experimento está relacionado mais precisamente com as várias possibilidades de exploração de conceitos às quais a sua interpretação pode nos

conduzir. O uso do experimento como ferramenta didática não está limitado à sua presença concreta na sala de aula, pois tanto sua realização ao vivo, quanto a reconstrução histórica de experimentos clássicos pode contribuir para superar os obstáculos aqui apontados (VILELA et. al., 2007).

A função do experimento é fazer com que a teoria se torne realidade, poderíamos pensar que, como atividade educacional isso poderia ser feito em vários níveis, dependendo do conteúdo, da metodologia adotada ou dos objetivos que se quer com a atividade (BUENO et. al., 2015).

### 3.3 O PAPEL DO PROFESSOR DE QUÍMICA EM ATIVIDADES EXPERIMENTAIS NO ENSINO MÉDIO

A motivação do professor em desenvolver os assuntos de sua disciplina, e principalmente a realização de atividades práticas, é fator preponderante para que os alunos também se sintam motivados e valorizados. Porém diante de algumas adversidades, como baixos salários e falta de apoio administrativo da unidade de ensino (KRASILCHIK, 2012, p.63), torna-se complexa a administração destas dificuldades.

Desse modo, o professor, diante da atividade experimental, deve se comportar como um mediador, pois a sua ajuda pedagógica é fundamental para que ocorram intervenções e proposições durante a realização da prática, proporcionando mais interatividade, dinamismo e reflexão. Extrapolando, dessa forma, a visão externa, quantitativa e empírica, as quais ainda são muito frequentes em salas de aula do Ensino Médio. Nesse contexto, para que ocorra mudança no ensino da Química, as formas avaliativas vivenciadas nessa ciência também precisam mudar. Uma vez que não é possível inovar o ensino se a sua avaliação se prende aos moldes tradicionais, quantitativos, classificatórios e excludentes. (VIANA, 2014).

Hodson (2014) aponta que os professores deveriam levar ao conhecimento dos alunos a existência de uma relação interativa e interdependente entre a teoria e o experimento, podendo fazer com que os alunos passem a compreender o que realmente estão executando, pois muitas vezes, eles não sabem o porquê ou acabam não chegando aos resultados esperados pelo professor.



### 3.4 QUÍMICA QUÂNTICA

O primeiro passo em direção à introdução da quantização da energia foi dado a partir da consideração feita por Max Planck (1858 – 1947) de que as paredes do corpo negro eram constituídas por osciladores, que seriam os responsáveis pela emissão e absorção de radiação (DIONÍSIO, 2005). Planck sugeriu que a energia total de tais osciladores poderia estar distribuída entre uma quantidade  $n$  de osciladores de maneira descontínua. A fim de dar suporte à sua afirmação, Planck teve que admitir uma distribuição dessa energia em um número definido de partes, cada parte com uma energia mínima determinada pela relação:  $\varepsilon=h.v$  (em que  $\varepsilon$  corresponde ao valor dos elementos de energia distribuídos entre os osciladores;  $h$  é uma constante universal, denominada constante de Planck e;  $v$  é a frequência natural de um dado oscilador).

Vale salientar que Planck introduziu tais elementos de energia  $\varepsilon$  e a constante  $h$  como um artifício matemático a fim de que sua equação para a radiação do corpo negro mantivesse uma concordância com os dados empíricos. No entanto, o relato histórico indica que, pelo menos num período inicial, Planck não supôs que a energia total dos osciladores fosse, de fato, um múltiplo inteiro dos elementos de energia  $\varepsilon$  (ROSA, 2005). Mesmo porque, ele utilizou de equações para a emissão e absorção de energia que eram provenientes da teoria eletromagnética, a qual prevê a continuidade da emissão ou absorção da radiação pelos osciladores e não um comportamento descontínuo para estes fenômenos.

No ano de 1905, ao publicar o artigo intitulado: *Sobre um ponto de vista heurístico referente à produção e conversão da luz*, Albert Einstein (1879 – 1955) relatou suas primeiras considerações sobre a teoria quântica (PAIS, 1982). Neste artigo, Einstein propôs uma solução diferente para o problema da radiação do corpo negro, de forma independente da solução apresentada por Planck em 1900. De fato, comparando os trabalhos de Planck e Einstein, pode-se afirmar que “Em 1900, Planck descobriu a lei da radiação do corpo negro *sem usar os quanta de luz*. Em 1905, Einstein descobriu os quanta de luz sem recorrer à lei de Planck.” (PAIS, 1982, p. 425).

Posteriormente, o próprio Einstein, ao comparar a sua teoria para a luz com a teoria também corpuscular para a luz proposta por Newton no século XVII, apresenta uma definição para o *quantum* de luz:

Para manter a ideia principal da teoria de Newton, devemos admitir que a luz homogênea fosse composta de grãos de energia e substituir os velhos corpúsculos de luz por *quanta* de luz, a que chamaremos de *fótons*, pequenas porções de energia caminhando pelo

espaço vazio com a velocidade da luz. [...] Não apenas a matéria e a carga elétrica, mas também a energia de radiação tem uma estrutura granular, i.e., é constituída de *quanta* de luz. (EINSTEIN; INFELD, 1976, p. 210)

A partir dos trabalhos publicados por Einstein no início do século XX, vários cientistas passaram a considerar a teoria corpusculares da luz na explicação de determinados resultados experimentais. No decorrer do desenvolvimento da teoria quântica, estudos sobre diversos tipos de radiação, em especial as radiações denominadas raios X levaram alguns cientistas e tentarem conciliar as propriedades ondulatória e corpuscular da luz numa mesma relação.

Tais estudos na área de raios X, com os quais estava familiarizado, influenciaram grandemente a Louis de Broglie (1892 – 1987), uma vez que seu irmão, Maurice de Broglie (1875 – 1960) se dedicava a esta área. Foi a partir de diversos resultados experimentais (por exemplo, efeito fotoelétrico e efeito Compton), que pareciam consolidar a interpretação para o comportamento corpuscular da luz, que Louis de Broglie passou a “procurar uma relação que fosse simétrica: se ondas se comportam como partículas, partículas talvez se comportem como ondas.” (BROCKINGTON, 2005, p. 43).

O raciocínio elaborado por de Broglie para estabelecer sua relação, era baseado numa analogia com a hipótese do *quantum* de Einstein para a radiação. Para tanto, sugeriu a existência de uma onda associada a um corpúsculo de massa  $m_0$ , assim como haveria uma partícula associada à onda luminosa. Matematicamente, sua equação foi obtida a partir da igualdade entre as equações que relacionam energia e frequência ( $E = h.v$ ), e energia e massa ( $E = m_0c^2$ ), ou seja:  $h\nu = m_0c^2$ .

De acordo com Rosa (2004), a partir desta relação, de Broglie passou a atribuir movimento oscilatório a qualquer porção de energia sendo esta o *quantum* de luz ou o elétron. Em outras palavras, esta é a introdução de De Broglie para a ideia de dualidade onda/partícula aplicada tanto à radiação quanto à matéria.

A comprovação experimental e o reconhecimento da teoria proposta por de Broglie foi obtida principalmente após a descoberta da difração eletrônica, fenômeno em que o elétron apresenta uma propriedade tipicamente ondulatória, a difração. Assim, “ao introduzir [...] relações matemáticas que expressavam a dualidade onda-partícula para a matéria, ele [de Broglie] impulsionou [...] o desenvolvimento da Física Moderna.” (RIBEIRO FILHO, 2002, p.325).

De fato, foi o trabalho de De Broglie que “estimulou Erwin Schrödinger a deduzir sua famosa equação de onda para o elétron ao perceber a sua importância para a compreensão da

matéria.” (BROCKINGTON, 2005, p. 44). Este veio a ser identificado como o início da formulação matemática da Mecânica Quântica.

A primeira versão da mecânica quântica chama-se “mecânica matricial” e foi formulada em 1925 pelo físico alemão Werner Heisenberg (1901-1976). Esta teoria recebeu tal nome por se utilizar de matrizes para representar grandezas físicas. A segunda versão da mecânica quântica apareceu no início de 1926, quando o físico austríaco Erwin Schrödinger (1887-1961) formulou a chamada “mecânica ondulatória”. Teoria que é uma generalização do postulado de Broglie e recebeu esse nome por possuir fortes analogias com a teoria clássica da luz, a óptica ondulatória; é a versão mais utilizada pelos físicos em geral. Ainda no ano de 1926, o inglês Paul Dirac (1902-1984) desenvolveu uma terceira versão da mecânica quântica.

O sucesso da mecânica quântica foi uma grande conquista científica do século XX pelo fato de prever o comportamento observado dos sistemas físicos microscópicos, isto é, desenvolve conceitos consistentes e adequados para descrever o mundo em escala microscópica e para fazer previsões a respeito, confirmando-as ou não em experimentos de grande precisão.

### 3.5 ELÉTRONS E FÓTONS

O efeito fotoelétrico se resume na emissão de elétrons de certo material quando este está exposto à luz (composta por radiação eletromagnética). Hertz descobriu em seus estudos que “uma descarga elétrica entre dois eletrodos é facilitada quando radiação ultravioleta incide em um deles, fazendo com que os elétrons sejam emitidos de sua superfície.” (VILELA et al, 2012, p.1).

Em 1905, Einstein percebeu que a energia luminosa estava concentrada e percorria o espaço em pacotes, os chamados fótons, do qual ao incidirem em um material metálico cada fóton liberava um elétron. O que explicou o efeito fotoelétrico a partir da incidência de luz como Partícula. A princípio o efeito fotoelétrico ocorre com qualquer tipo de radiação eletromagnética, desde que cada fóton possua energia suficiente para superar a energia de ligação dos elétrons contidos na superfície metálica, logo existe um limite mínimo de energia que a luz deve conter para que o fenômeno ocorra (HELERBROCK, 2019).

### 3.6 TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO (TIC'S) APLICADAS AO ENSINO DE QUÍMICA QUÂNTICA

A mecânica quântica desafiou muitas das maiores mentes da física, por isso não é surpresa que seja um assunto difícil para os alunos aprenderem. Além do padrão com os rigores associados a qualquer tópico da Química e Física, a mecânica quântica apresenta seus desafios únicos, que conspiram para tornar extraordinariamente difícil e frustrante para a maioria dos alunos construir modelos mentais (FALKENBURG, 2006).

É contra intuitivo e surpreendente descobrir que o mundo microscópico não se comporta da maneira que esperávamos, pois, as intuições que construímos ao interagir com nosso ambiente cotidiano não se sustentam. Como a maioria dos fenômenos que estudamos na mecânica quântica não pode ser observada diretamente é frequentemente difícil construir modelos mentais pelos quais visualizar tais fenômenos ilusórios. Ele também é matematicamente desafiador, envolvendo cálculos demorados para analisar os fenômenos mais simples, com a maioria dos fenômenos do mundo real ficando fora do âmbito da nossa capacidade de calcular. Finalmente, pelo menos na forma que é frequentemente ensinada, a mecânica quântica é desconectada da vida cotidiana, enfocando, na pior das hipóteses, modelos abstratos simplificados e fenômenos com os quais não temos experiência direta na melhor das hipóteses (PESSOA JR, 2005).

Uma das vantagens que a Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) é a utilização de simuladores virtuais que exibem uma ambientação realística onde é apresentado ao aluno um problema para tomar uma decisão perfazendo assim com que execute ações. As simulações educacionais por computador, através da Química Computacional, são ferramentas promissoras que se mostraram eficazes em ajudar os alunos a aprender muitos tópicos sobre a natureza dos Elétrons (AHUJA, 2016). Devido aos problemas adicionais de visualizar e construir uma intuição para os princípios abstratos da mecânica quântica, o poder das simulações de fornecer interação, visualização e contexto tem o potencial de ser ainda mais útil nesse assunto. Muitos professores e pesquisadores estão utilizando simulações computacionais para auxiliar os alunos no aprendizado de Química Quântica, visto que muitas dessas simulações possam ser úteis para fornecer modelos visuais de fenômenos quânticos, pesquisas em interface de usuário e eficácia para a aprendizagem (STANGHERLIN; UHMANN; BREEM, 2014).

### 3.7 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL

A teoria da aprendizagem significativa foi proposta por David Paul Ausubel (psicólogo da educação estadunidense). Para o desenvolvimento do seu modelo de aprendizagem e a estruturação das suas ideias ele fundamentou-se na corrente cognitivista da aprendizagem. Em 1963, no livro “The Psychology of Meaning Verbal Learning”, Ausubel apresentou a sua Teoria da Aprendizagem Significativa e, posteriormente, desenvolveu as suas ideias no livro “Educational Psychology: A Cognitive View”, publicado em 1968 (PRAIA, 2000).

De acordo com Praia (2000):

A teoria de Ausubel tem o seu enfoque, principalmente, na aprendizagem cognitiva, segundo a qual as informações são armazenadas de um modo organizado, na mente do indivíduo que aprende, sendo esse complexo organizado a estrutura cognitiva. A base da sua teoria é que a aprendizagem deve ser significativa, isto é, o sujeito aprende e está aberto a aprender quando integra a nova informação nos conhecimentos previamente adquiridos.

Metodologias clássicas podem ter um enfoque construtivista com uma perspectiva de aprendizagem significativa sem alterar seus fundamentos, porém são necessárias as condições de tal abordagem (LEITE; CUNHA, 2009). A aprendizagem significativa pressupõe seu fundamento na psicologia cognitiva, que por sua vez compreende, converte e mantém o conhecimento convoluto na cognição (MOREIRA; MASINI, 2006).

Aprendizagem Significativa é o processo pelo qual um novo conhecimento se relaciona de maneira não arbitrária e não literal à estrutura cognitiva do estudante, de modo que o conhecimento prévio do educando interage, de forma significativa, com o novo conhecimento que lhe é apresentado, provocando mudanças em sua estrutura cognitiva. (AUSUBEL, et al., 1978).

A experiência adquirida ao longo da vida trata-se de uma base que fundamenta o significado para novos conhecimentos. Esta aprendizagem pressupõe uma estrutura hierárquica, em que os conhecimentos prévios e as vivências anteriores tangem sua aprendizagem.

Moreira e Masini (2006) descrevem esses conhecimentos prévios como pontos de ancoragem, sendo pontos de partida para novas aprendizagens significativas, que constroem a estrutura cognitiva. Portanto, levam-se em consideração os conhecimentos prévios a fim de estabelecer conexão do conhecimento passado com o conhecimento futuro.

Segundo Ausubel (1982), a aprendizagem mecânica é inevitável quando o educando está pela primeira vez tendo contato com conceitos novos, mas posteriormente ela poderá se transformar em significativa. Dessa forma, que a aprendizagem significativa consiste na antítese da aprendizagem mecânica ou arbitrária que desconsidera a relação entre um conceito anterior com novos conceitos para a construção do conhecimento cognitivo.

Portanto, a o uso de novas metodologias de ensino de química no ensino médio aponta para uma discussão sobre o potencial que esta ferramenta na construção do processo de aprendizado significativa. Nesse contexto, o uso de simulações computacionais Phet apresentam-se como ponte para a interação entre o conteúdo e o aluno, possibilitando meios para a investigação e compreensão de fenômenos quânticos. Dessa forma, a utilização simulação computacional neste trabalho será apresentada como uma sequência de atividades, baseada na teoria da aprendizagem significativa descrita por Ausubel (1982).

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 COLETAS DE DADOS

A pesquisa de campo foi realizada com uma turma de primeiro ano do ensino médio, na escola estadual da rede pública de ensino a Escola Estadual José Barroso Tostes, Endereço: Av. Sete de Setembro, 186 - Central Santana - Amapá, 68925-222 no ano de 2019. E realizou-se em duas etapas, com aplicação de dois questionários, um antes e um depois das aulas, com o intuito de avaliar o desempenho dos alunos através da comparação estatística sobre o conhecimento de química quântica.

Para a realização deste estudo, propôs-se uma pesquisa de abordagens quantitativa e qualitativa, dessa forma, pretendeu-se analisar a relação entre os alunos e seus processos de aprendizagem, neste sentido, de um estudo qualitativo. Contudo, também ocorreu o uso da abordagem quantitativa para comparar os resultados decorrentes dos testes iniciais e final realizados com os discentes. Logo, as duas abordagens estão presentes nesta pesquisa.

Ainda com relação à abordagem quantitativa, seu uso, neste estudo, também foi utilizado para fins de apresentação gráfica e comparação de resultados dos pré e pós-questionário.

### 4.2 ETAPAS DA PESQUISA

Esta etapa consistiu em dois momentos avaliativos, um antes e um após a apresentação dos temas que foram abordados. Uma análise quantitativa acerca das discussões trabalhadas nos experimentos a partir da observação dos alunos por meio de aplicação do questionário. Nesse tópico está descrita toda a sequência didática realizada na aula ministrada referente aos conceitos de química quântica através do uso de simuladores computacionais.

**Aula 01** – A Aplicação do pré-questionário, que se encontra no Apêndice I, buscou evidenciar os conhecimentos preexistentes dos alunos, pois, de acordo com a teoria de aprendizagem de Ausubel, os conhecimentos preexistentes na estrutura cognitiva do indivíduo são utilizados como âncoras para aquisição de novas informações. Este questionário foi respondido individualmente e sem consulta. Nele não buscamos resposta corretas, apenas foi aplicado na intenção de detectar os conhecimentos adquiridos em anos anteriores ou na vivência de cada um dos alunos.

Na sequência uma aula foi ministrada que teve como objetivo o esclarecimento sobre conceitos relacionados aos elétrons presentes na eletrosfera de um átomo. Para essa aula foi

utilizado o projetor de slides e trabalhado os conceitos básicos de ondulatória e alguns fenômenos de natureza ondulatória, dando enfoque para a difração das ondas e assuntos sobre a natureza do elétron. Essa ciência tem como base os princípios da mecânica quântica.

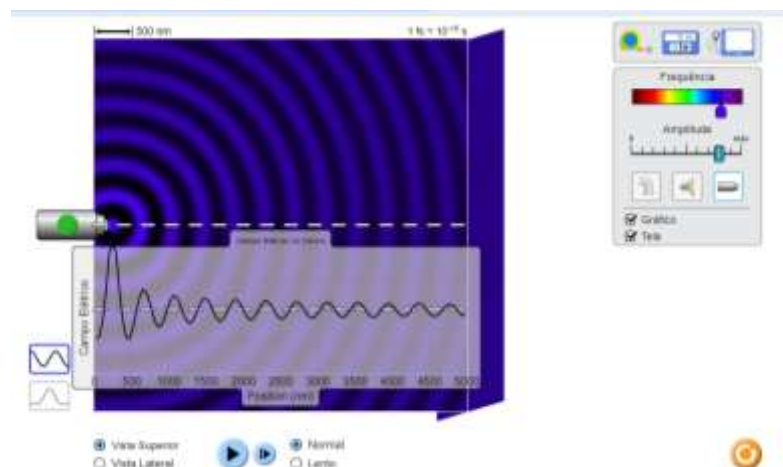
Seguintes tópicos abordados:

- I. Aspectos históricos dos modelos atômicos;
- II. Introdução à Química Quântica, Radiação de corpo negro, Efeito Fotoelétrico, Princípio da Incerteza de Heisenberg, o Átomo de Bohr, Ondas de matéria (Hipótese de De Broglie);

**Aula 02** – Os alunos foram encaminhados ao laboratório de informática com o intuito de utilizar o simulador para assimilação e apropriação dos conteúdos trabalhados. Assim, abriu-se a possibilidade de eles encontrarem sentido e se familiarizar com o tema.

Para assimilação dos conceitos ondulatórios, a simulação utilizada foi a “*Interferência de Onda*”, disponível nos arquivos do projeto Phet e que pode ser obtida no link <[https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-interference/latest/wave-nterference\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-interference/latest/wave-nterference_pt_BR.html)> (PHET INTERACTIVE SIMULATIONS, 2002). Ao executar a modelagem existe a opção de simular ondas na água, sonora ou luz. As ondas foram simuladas a partir de um laser como fonte. Iniciando a simulação com a luz, observou-se a propagação da onda no espaço e a sua existência relacionada à oscilação dos elétrons. Nesta simulação foi evidenciada a relação da Luz como uma composição de campos elétricos e magnéticos. Uma segunda fonte ou um par de fendas podem ser utilizados para criar um padrão de interferência.

**Figura 1** – Simulação da propagação ondulatória de luz através de um laser.



Fonte: [https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-interference/latest/wave-nterference\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-interference/latest/wave-nterference_pt_BR.html)



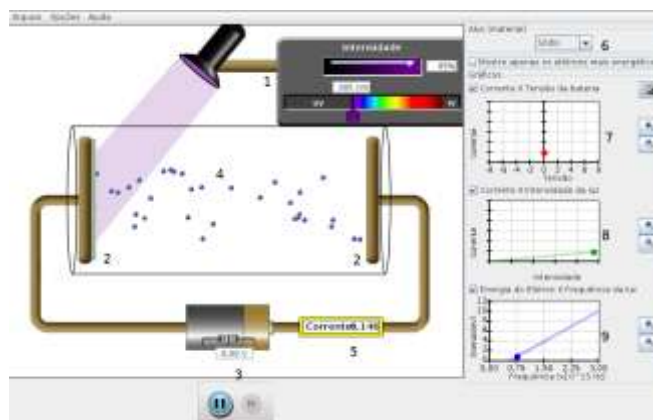
Para mostrar as propriedades ondulatória e corpuscular para partículas quânticas, foi usado a simulação “Interferência Quântica”, disponível nos arquivos do projeto Phet e que pode ser obtida no link < [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/legacy/quantum-wave-interference](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/quantum-wave-interference)> (PHET INTERACTIVE SIMULATIONS, 2002). De acordo com esse princípio é impossível detectar as características ondulatórias e corpusculares no mesmo experimento para uma partícula quântica. Dessa forma, se é possível em um experimento evidenciar o comportamento ondulatório, neste mesmo experimento não se poderá detectar o comportamento corpuscular. Quando fótons, elétrons e átomos se comportam como partículas e quando eles se comportam como ondas, quando espalham-se e interferem à medida que passam através de uma fenda dupla, e então serem detectadas em uma tela como pequenos pontos. Use detectores quânticos para explorar como as medições mudam as ondas e os padrões que produzem na tela.

**Figura 2** – Interferência Quântica



Fonte: [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/legacy/photoelectric](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/photoelectric)

Para discussão deste fenômeno utilizando a simulação “Efeito Fotoelétrico”, disponível nos arquivos do projeto Phet e que pode ser obtida no link < [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/legacy/photoelectric](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/photoelectric)> (PHET INTERACTIVE SIMULATIONS, 2002). Apresentou-se a definição de efeito fotoelétrico: fenômeno que consiste na emissão de elétrons de metais após incidência de radiação eletromagnética sobre sua superfície e explicou-se que parte da energia da radiação é transformada em energia cinética dos elétrons emitidos.

**Figura 3– Efeito Fotoelétrico**

Ao final das simulações foi aplicado o pós-questionário com objetivo de coletar informações sobre o aprendizado dos estudantes sobre intervenção e consolidar informações.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico, foram analisados os dados relacionados às respostas dos alunos ao questionário aplicado antes e depois das aulas ministradas (pré-teste e pós-teste). O questionário (disponível no Apêndice A) foi aplicado em uma turma de 35 alunos de forma individual e sem consulta. Em adição, também foi analisado os resultados referentes a um segundo questionário (Apêndice A) aplicado após a aula ministrada, com o objetivo de avaliar o desempenho dos alunos após o contanto com o produto educacional.

Após a intervenção pedagógica, realizou-se uma análise descritiva das respostas dos alunos, obtidas através de questionários e observações em sala de aula, e pelas quais se analisou as evoluções conceituais, a compreensão de tópicos e fenômenos da química quântica. Os questionários utilizados foram de perguntas fechadas. O uso desse tipo de questionário justifica-se pela complexidade de alguns tópicos de química quântica que dificulta para os alunos formular respostas, e, portanto, perguntas fechadas são mais convenientes para esses tópicos, assim como, facilitam a análise dos resultados.

### 5.1 ANÁLISE E INVESTIGAÇÃO DO CONHECIMENTO

A escolha destas duas categorias foi fundamentada no propósito de conhecer sobre a aprendizagem significativa de Ausubel e a importância que os alunos do Ensino Médio demonstram a respeito do conhecimento e da investigação da aula através da simulação

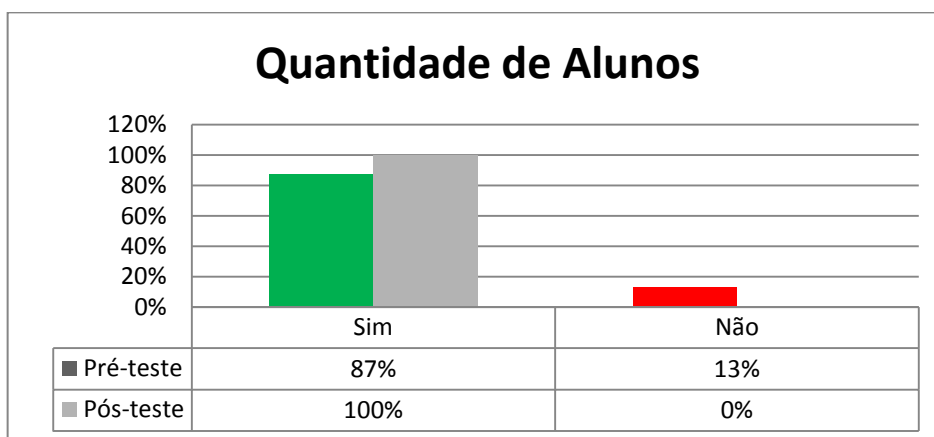
experimental. As questões e as respostas obtidas na categoria Análise do conhecimento estão apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1** – Resultados obtidos no pré-teste e pós-teste

QUESTÃO	RESPOSTA	NÚMERO DE ALUNOS (%)	
		PRÉ-TESTE	PÓS-TESTE
<b>01.</b> Você já ouviu falar sobre Química Quântica?	Sim	87 %	100%
	Não	13%	0%
<b>02.</b> Você já ouviu falar de algum desses assuntos: Atomística Radiação de Corpo Negro, Princípio da Incerteza, Efeito Fotoelétrico e Dualidade Onda Partícula.	Sim	53%	100%
	Não	47%	0%
<b>03.</b> Uma partícula é o fragmento menor de matéria que mantém as propriedades químicas de um corpo, os átomos e as moléculas são partículas.	Sim	31%	99%
	Não	69%	1%
<b>04.</b> Não podemos observar o comportamento ondulatório de um objeto macroscópico como uma bola de ping-pong?	Sim	9%	96%
	Não	91%	4%
<b>05.</b> Os elétrons são as partículas que constituem o átomo. Sendo que os elétrons estão localizados na eletrosfera do átomo, se movimentando ao redor do núcleo em órbitas circulares.	Sim	25%	95%
	Não	75%	5%
<b>06.</b> O efeito fotoelétrico ocorre quando há emissões de elétron num material, esse efeito é produzido em materiais metálicos expostos a uma radiação eletromagnética, como a luz.	Sim	7%	87%
	Não	93%	14%

Sondou-se a quantidade de alunos que já ouviram falar em Química Quântica. A figura 4 mostra, respectivamente, os resultados do pré-teste e pós-teste.

**Figura 4**– Quantitativo de alunos que já ouviram falar em Química Quântica (No pré-teste a resposta sim, está representada na cor verde e o não, representada em vermelho e no pós-teste as respostas sim, estão representadas na cor cinza).



Fonte: Aatoria própria

No pré-teste aproximadamente 87% dos alunos (cor em verde, ver Figura 4) afirmaram que já ouviram falar de química quântica, enquanto era um tópico completamente desconhecido para 13% dos estudantes (cor em vermelho, ver Figura 4). Na aplicação pós-teste, todos os alunos (cor em cinza, ver Figura 4) afirmaram que já tinham ouvido falar sobre Química Quântica, o que era obviamente o resultado esperado após a aplicação do produto educacional durante a aula ministrada.

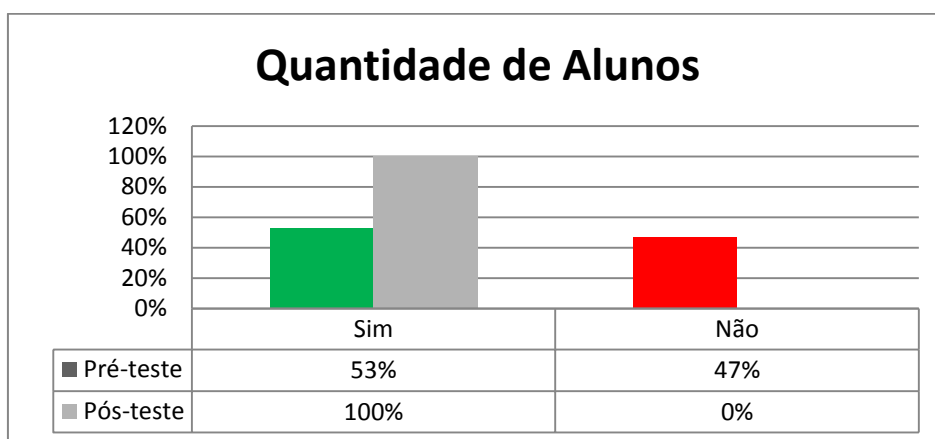
Um ponto interessante para ser investigado, seria a fonte de conhecimento sobre a Quântica daqueles 87% (ver Figura 4) que declaram ter conhecimento deste tema. Muito provavelmente, a fonte das informações foram mídias não especializadas e sem qualquer enfoque científico. Assim sendo, é provável que o percentual daqueles que ouviram algo de fonte científica sobre Quântica ou sobre a natureza do elétron se reduza drasticamente.

Continuando com nossa análise da coleta de dados, na Figura 5 foi quantificado o número de estudantes que já tinham ouvido ou conheciam sobre cada um dos assuntos relacionados à Quântica. Os alunos foram instruídos a marcarem todos aqueles que tinham conhecimento e em caso de desconhecerem todos os tópicos listados poderiam informar marcando a opção “Não”. No pré-teste, os assuntos relacionados à *Atomística* foram os assuntos que os alunos mais reconheceram. Enquanto que os temas: Radiação de Corpo

Negro, *Princípio da Incerteza de Heisenberg, Efeito Fotoelétrico e Dualidade Onda Partícula* foram poucas vezes reconhecidos pelos alunos. Um dos motivos de grande parte dos alunos terem familiaridade com assuntos relacionados à atomística por serem temas bastante abordados na disciplina de Química.

Outro fator que se destaca no pré-teste é a quantidade de alunos (47%) que marcaram a opção “Não”. Assim como foi destacado na primeira pergunta, em que 13% dos alunos nunca ouviram falar em Química Quântica, fica evidente que os currículos escolares não dão prioridades para assuntos relacionados à natureza do elétron, ver Figura 5. No pós-teste, todos os temas foram massivamente reconhecidos, pois uma vez que todos esses tópicos foram abordados no produto educacional e discutidos no decorrer das aulas.

**Figura 5** – Assuntos que os alunos já ouviram falar no pré-teste (representando as alternativas sim na cor verde e não na cor vermelha) e no pós-teste (a alternativa sim na cor cinza).



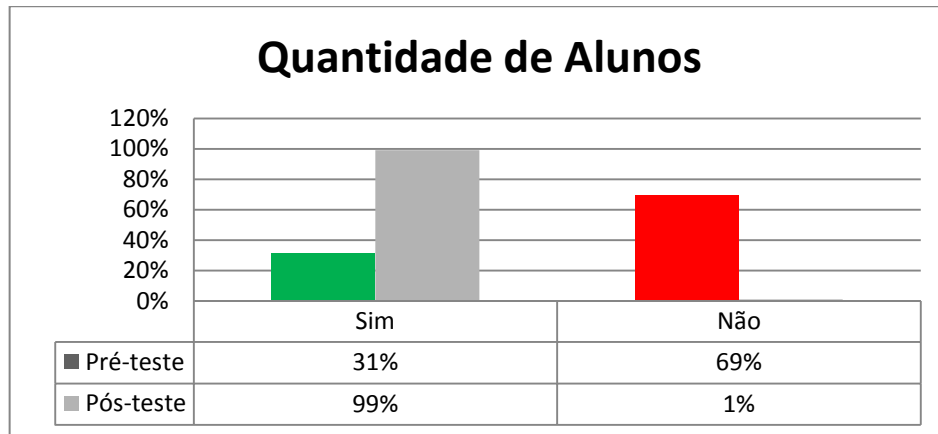
Fonte: Autoria própria

A pergunta de número três (ver Tabela 1) referia-se ao conhecimento de partícula. Na cinemática, de acordo Ramalho, Ferraro e Soares (2007) partícula é todo objeto onde as dimensões (tamanho) são desprezíveis quando comparadas com o movimento estudado. Nesse sentido, podemos tratar a terra como partícula se está sendo estudando o movimento em torno do sol, mas não podemos fazer esta aproximação se estamos estudando o movimento de rotação da terra com período de 24 horas.

Dessa forma a definição de Ramalho, Ferraro e Soares (2007) foi considerada dada uma definição para partícula, ligeiramente mais abrangente. Dessa forma, a afirmativa do enunciado seria correta: “Uma partícula é o fragmento menor de matéria que mantém as

propriedades químicas de um corpo”. A Figura 6 corresponde, respectivamente, as respostas do pré-teste e pós-teste para essa questão.

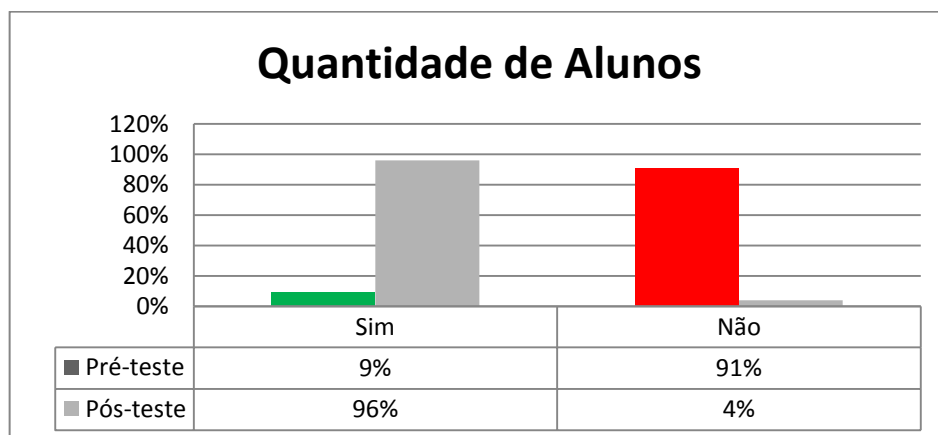
**Figura 6** – Respostas dos alunos sobre o que é uma partícula (pré-teste e pós-teste)



Fonte: Autoria própria

A quarta pergunta (ver tabela 1) foi utilizada para sondagem sobre o conceito de onda e também estava em formato fechado. De acordo com Ramalho, Ferraro e Soares (2007), denomina-se onda uma perturbação que se propaga transferindo energia de um ponto a outro sem o transporte de matéria. As respostas dos alunos foram agrupadas com “Sim” ou “Não”. O quantitativo de cada um dos grupos ( Figura 7) referem-se aos dados coletados para o pré-teste e pós-teste, respectivamente.

**Figura 7** – Respostas dos alunos sobre o conceito de onda (pré-teste e pós-teste)

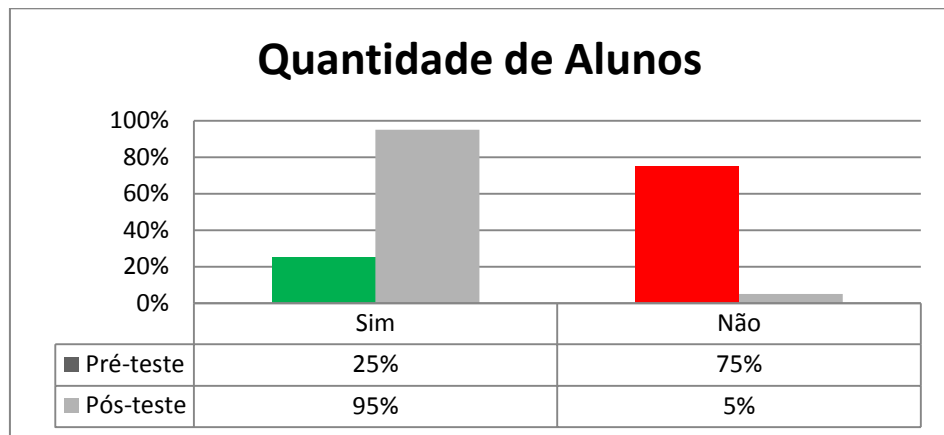


Fonte: Autoria própria

O percentual da fase pós-teste subiu para, aproximadamente, 96%. Já a quantidade de alunos que não souberam responder ou responderam incorretamente corresponde a 4% no pré-teste e caiu para 4% no pós-teste, ver Figura 7.

Dando sequência à coleta de dados, é apresentado na figura 8 o resultado obtido para a sondagem sobre a natureza do elétron. O tema foi à quinta pergunta apresentada para os estudantes e eles deveriam escolher entre as seguintes opções: “sim” ou “não”.

**Figura 8** – Respostas dos alunos sobre a natureza do elétron (pré-teste e pós-teste)



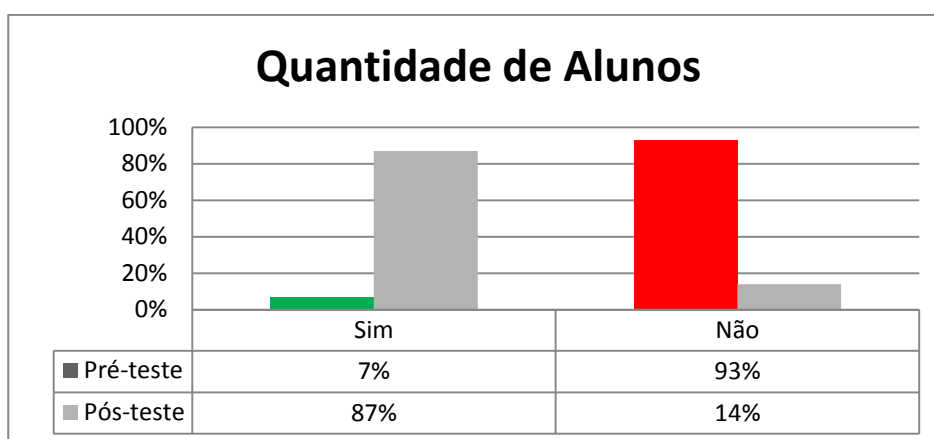
Fonte: Autoria própria

O conceito de dualidade foi discutido com auxílio da simulação para o experimento da dupla fenda e, nesta ocasião, foi apresentado aos alunos o comportamento tanto ondulatório quanto corpuscular de objetos quânticos, ou seja, o elétron poderia em determinadas situações exibir comportamento ondulatório ao passo que em outras circunstâncias se observaria comportamento característico do que associamos à natureza corpuscular. Assim sendo, a natureza tem comportamento dual (dualidade onda partícula). Podemos observar na imagem 8 que no pós-teste 27 alunos (95%) responderam que o elétron tem natureza dual, evidenciando, portanto, mudança de postura dos alunos quanto ao entendimento do conceito de dualidade.

Na sexta questão sondamos sobre a definição dos o conceito de quantização foi discutido em detalhes durante as aulas sobre “radiação de corpo negro”, “efeito fotoelétrico”, “átomo de Bohr” e “átomo de Schrödinger”. A construção deste novo conceito ocorreu de forma progressiva e utilizando-se de simulações computacionais. Os eventos históricos relevantes sempre foram abordados.

De acordo com a imagem 9 podemos concluir que a estratégia foi eficiente porque antes das aulas tínhamos apenas (7%) de respostas corretas, e (93%) respostas incorretas. Na fase pós-teste, estes números foram, respectivamente: (87%), e (14%). Certamente temos um excelente resultado com a estratégia adotada. As respostas para o pré-teste e pós-teste estão representadas, respectivamente, na figura 9.

**Figura 9** – Respostas dos alunos sobre quantização (pré-teste e pós-teste)



Fonte: Autoria própria

A Teoria do Aprendizado Significativo de Ausubel colaborou muito na eficiência do educador ao conduzir suas aulas de forma fundamentada, trabalhando objetivamente e variando suas ações em razão da diversidade de conhecimento prévio dos seus educandos. Esta teoria disciplina o professor a ser fiel a aula proposta, “explora” e exige do educador profissionalismo, estudo, atualização, empenho, ética e fidelidade ao seu plano de aula com qualidade de informações. A Teoria do Aprendizado Significativo de Ausubel reestruturou a ação do professor na sala de aula e mostrou aos educandos outra forma de aprendizado menos “burocrático” deixando-os com conhecimentos prévios bem alicerçados.

Por outro lado, a Teoria de Ausubel permitiu aos educandos demonstrar seus conhecimentos prévios, redescobrir informações, aperfeiçoar e corrigir seus subsunçores, e absorver novos conhecimentos de forma que este se torne interessante e seja retido na sua memória. Além disso, também tornou o aprendizado de Química mais próxima da sua realidade, garantindo assim a assimilação do conhecimento científico.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo, através dos resultados obtidos com o Phet Simulations, em conjunto com o experimento feito em sala foi possível demonstrar a utilização da Química Computacional mostrou-se como uma ferramenta facilitadora para o ensino e aprendizado no estudo da experiência de interferência por uma fenda dupla com partículas quânticas onde foi possível elucidar o conceito de dualidade onda-partícula do elétron. Diante disso, verificou-se de que o uso da tecnologia da informação e experimentação contribuiu para os conhecimentos teóricos e práticos do aluno e, bem como surgiu como metodologia importante para a interdisciplinaridade.

As dificuldades dos alunos na compreensão de conceitos químicos e de muitos professores em ensiná-los é uma realidade, dessa forma, destaca-se aqui a necessidade da inserção de novas concepções pedagógicas na prática educativa nas escolas. Neste contexto é possível afirmar que os objetivos foram alcançados, uma vez que a turma submetida à intervenção pedagógica obteve melhor rendimento, sendo demonstrado nos dados apresentados e analisados ao longo deste estudo.

Assim, percebe-se que as estratégias utilizadas facilitaram a aprendizagem dos conceitos estudados nas aulas, visto que se mostraram eficazes como alternativas de melhoria no processo de aprendizagem de conceitos químicos, conforme se almejou nos objetivos deste trabalho. As estratégias estimularam o engajamento dos aprendizes no processo de construção do conhecimento, mesmo diante de situações as quais os discentes não estavam acostumados dada a habitual falta de oportunidade nas aulas tradicionais.

Por fim o uso desta metodologia possibilitou ainda, a construção de novos conceitos ou modificação daqueles já existentes no cognitivo dos alunos. De modo que nos dados estatísticos obtidos durante o estudo é evidente a importância da aprendizagem significativa no processo de assimilação/construção de conceitos de química quânticas e da ressignificação dos previamente existentes no conhecimento dos alunos.

## REFERÊNCIAS

AHUJA, A. Integration of information and communication technology in school curriculum, **Learning Community: An International Journal of Educational and Social Development**, 7(1): 1-8, 2016. <https://doi.org/10.5958/2231-58X.2016.00001.4>

ALMEIDA, W. B; SANTOS, H. F. Modelos teóricos para compreensão da estrutura da matéria. **Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola**, n.4, p.6-13, 2001.

ANDREU, F. J. El uso de textos originales de los científicos y sus dificultades en el caso de la enseñanza de la mecánica cuántica. **Didáctica de las Ciências Experimentales y Sociales**, n. 10, p. 93-100, 2015.

ARANHA, Maria Lúcia de Arruda. **História da Educação**. São Paulo: Moderna, 1993. 42 p. (370.9-A662)

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

AUSUBEL, D. P. **A aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Moraes, 1982.

AUSUBEL, D.P. (1976). **Psicología educativa: um ponto de vista cognoscitivo**. México, Editorial Trillas. Traducción al español de Roberto Helier D., de la primera edición de Educational psychology: a cognitive view.

AUSUBEL, D.P.; NOVAK, J.D. and HANESIAN, H. (1978). **Educational psychology: a cognitive view**. 2nd. ed. New York, Holt Rinehart and Winston.

AUSUBEL, D.P.; NOVAK, J.D. e HANESIAN, H. (1980). **Psicologia educacional**. Rio de Janeiro, Interamericana. Tradução para português, de Eva Nick et al., da segunda edição de Educational psychology: a cognitive view.

AUSUBEL, D.P.; NOVAK, J.D. y HANESIAN, H. (1983). **Psicología educativa: um ponto de vista cognoscitivo**. México, Editorial Trillas. Traducción al español, de Mario Sandoval P., de la segunda edición de Educational psychology: a cognitive view.

BRASIL. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais + Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais - ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. Brasília: MEC; SEMTEC, 2002.

BROCKINGTON, G. **A realidade escondida: A dualidade onda-partícula para estudantes do Ensino Médio**. 2005. 268 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

BROCKINGTON, G.; PIETROCOLA, M. São as regras da transposição didática aplicáveis aos conceitos de física moderna?. **Investigação em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v.10, n. 3, 2005.

BUENO, L.; MOREIRA, K. C.; SOARES, M.; WIEZZEL, A. C. S.; TEIXEIRA, M. F. S.; DANTAS, D. J. **O ensino de química por meio de atividades experimentais: a realidade do ensino nas escolas**. In: NOBRE, S. L.; LIMA, J. M. de. (Org.). Livro Eletrônico do Segundo Encontro do Núcleo de Ensino de Presidente Prudente São Paulo: Unesp, 2015.

CHASSOT, A. **A ciência através dos tempos**. 2 ed. São Paulo: Moderna, 2004.

DIONÍSIO, P. H. Albert Einstein e a física quântica. **Cadernos Brasileiros de Ensino de Física**, Santa Catarina, v.22, n. 2, 2005.

FALKENBURG, B. **Particle Metaphysics: a critical account of subatomic reality**. Heidelberg: Springer, 2007.

FERREIRA, Naura Syria Carapeto. Supervisão Educacional para uma escola de qualidade. 4. ed. São Paulo: Cortez, 2003. de 2018. do 3º ano do ensino médio. **Química Nova na Escola**, 31(4), 2009. p. 275-82.

FRANÇA, A. DA C. G.; MARCONDES, M. E. R.; DO CARMO, M. P. Estrutura Atômica e Formação dos Íons: Uma Análise das Ideias dos Alunos do 3º Ano do Ensino Médio. **Química nova na escola**, vol. 31, n. 4 , novembro, 2009.

GASPAR, A. **Atividades experimentais no ensino de física**. Uma nova visão baseada na teoria de Vigotski. São Paulo: LF Editorial, 2014.

GRECA, I. M.; MOREIRA, M. A.; HERSCOVITZ, V. E. Uma proposta para o ensino de mecânica quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.23, n.4, p.444-457, 2001.

HELERBROCK, Rafael. "**O que é efeito fotoelétrico?**"; *Brasil Escola*. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-efeito-fotoeletrico.htm>. Acesso em 23 de junho de 2019.

HODSON, D. "Experimentos em Ciências e Ensino de Ciências". **Educational Philosophy and Theory**. v. 20, p. 53–66, 1988.

KRASILCHIK, M. O professor e o currículo das ciências. São Paulo: EPU, 1987.

LEITE, R. F.; CUNHA, M. B. **O ensino da função orgânica álcool numa abordagem construtivista**. I Simpósio Nacional de Ensino de Ciência e Tecnologia, ISBN: 978-85-7014-

LOBATO, T; GRECA, I. M. Análise da Inserção de conteúdos de Teoria Quântica nos currículos de Física do Ensino Médio. **Ciência e Educação**, (UNESP), São Paulo, 2005.

MOREIRA, M. A (1999). **Teorias de aprendizagem**. São Paulo: EPU.

MOREIRA, M. A (2006). **Aprendizagem significativa: da visão clássica à visão crítica**. V Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa. Madrid, 1-15.

OLIVEIRA, J. S. R.; Contribuições e abordagens das atividades experimentais no ensino de ciências: reunindo elementos para a prática docente. **Acta Scientiae**, v.12, n.1, p.139-153, Jan/Jun, 2010.

OSTERMANN, F. e MOREIRA M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física moderna e Contemporânea no Ensino Médio”. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.5, n. 1, 2000.

OSTERMANN, Fernanda; CAVALCANTI, Cláudio J. H. Física moderna e contemporânea no ensino médio: elaboração de material didático, em forma de pôster, sobre partículas elementares e interações fundamentais. **Cadernos Catarinense de Ensino de Física**. v.16, n.3, p. 267-286, 1999.

PAIS, A. *Subtle is the Lord. The science and the life of Albert Einstein*. Oxford: Clarendon Press, 1982.

PESSOA JR, Osvaldo. A representação pictórica de entidades quânticas da química. **Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola**, n.7, p.25-33, 2007.

PESSOA, JR. O. **Conceitos de física quântica**. São Paulo: Livraria da Física, v. 1, 2005.

PhET Interactive Simulation. Disponível em: [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/](https://phet.colorado.edu/pt_BR/). Acesso em: 25 maio. 2018.

PINTO, A. Custódio; ZANETIC, João. É possível levar a física quântica para o ensino médio? **Cadernos Catarinense de Ensino de Física**. v. 16, n. 1, p.7-34, 1999.

PRAIA, J. F. Aprendizagem significativa em d. ausubel: contributos para uma adequada visão da sua teoria e incidências no ensino. *Teoria da aprendizagem significativa*. Peniche, Portugal, p. 121–134, 2000.

RIBEIRO FILHO, A. **Os Quanta e a Física Moderna**. In: José Fernando Moura Rocha. (Org.). *Origens e Evolução das Idéias da Física*. 1 ed. Salvador: EDUFBA, 2002, v. 1, p. 301-372.

ROCHA J. F. M. e Filho A. R. **Aspecto Histórico-conceituais da Física no Ensino Pré e Universitário – O caso do eletromagnetismo da Mecânica Quântica**. Ideação, Feira de Santana, n.3, p.101-129 jan./ jun. 1999. 048-7,p. 209-308, 2005.

ROSA, P. S. Louis de Broglie e as ondas de matéria. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Física Gleb Wataghin, Campinas - SP, 2004. Citado na página 55.

SALESSE, A. T. **A experimentação no ensino de química: importância das aulas práticas no processo de ensino aprendizagem**. Monografia de especialização, Medianeira-PR, 2017.

SANTOS, W. L. P. et al. Química e Sociedade: Uma experiência de abordagem temática para o desenvolvimento de atitudes e valores. **Química nova na escola**, n. 20, 2004.

SERIN, O. The effects of the computer-based instruction on the achievement and problem solving skills of the science and technology students. **The Turkish Online Journal of Educational Technology**, v. 10, n. 1, p. 183- 201, 2011.

SOUZA, L. A. de. Química quântica, **Brasil Escola**. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/quimica-quantica.htm>. Acesso em 22 de junho de 2019.

STANGHERLIN, D. H.; UHMANN, R. I. M.; BREEM, C. **Compreendendo o balanceamento de equações químicas por meio da utilização de um simulador virtual 34o EDE: Inovação no Ensino de Química: Metodologias, Interdisciplinares e politecnia.** Anais, 2014.

TERRAZAN, Eduardo A. A Inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino de Física na Escola de 2º Grau. **Caderno Catarinense do Ensino de Física**, Florianópolis, v.9, n.3: p.209-214, dez.1992.

VALADARES, E. C. Propostas de Experimentos de Baixo Custo Centradas no Aluno e na Comunidade. **Química Nova na Escola**, n. 13, p. 38-40, maio, 2016.

VIANA, K. S. L. **Avaliação da experiência: uma perspectiva de avaliação para o ensino das ciências da natureza.** 2014. 202 f. Tese (Doutorado em Ensino das Ciências) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.

VILELA, Ezequiel Figueiredo, et al. **Uma proposta para o Ensino do Efeito Fotoelétrico.** II Seminário de Socialização do PIBID- UNIFAL-MG.


VILELA, M. L. et al, **Reflexões sobre abordagens didáticas na interpretação de experimentos no ensino de ciências.** Revista da SBEnBIO – n.1. Santa Catarina, ago/2007.

VYGOTSKY. L.S. **Interação entre aprendizado e desenvolvimento.** In: Cole, M.; Scribner, S. e Souberman, E.(org). A formação social da mente. São Paulo: Martins Fontes, p.110, 1998.

## ANEXO

	MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ COORDENAÇÃO DO CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA	
 <b>SOLICITAÇÃO DE CONSENTIMENTO</b>  		
Macapá-AP, <u>11</u> de <u>Junho</u> de 2019.		
Prezado Diretor (a) da Escola Estadual Professor José Barroso Tostes.		
<p>Solicito a V.S.ª. Autorização para o levantamento de dados do Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado "A IMPORTÂNCIA DE ATIVIDADES EXPERIMENTAIS COMO METODOLOGIA NO ENSINO DE CONCEITOS DE QUÍMICA QUÂNTICA EM ESCOLAS PÚBLICAS", que deverá ser realizada com os alunos do primeiro ano do ensino médio, pela acadêmica ALINE DE SANTANA CARVALHO, MATRÍCULA 201522470002, do Curso Licenciatura em Química da Universidade Federal do Amapá (UNIFAP), que terá acesso às dependências desta Escola.</p> <p>O estudo tem como objetivo realizar uma experiência inserindo uma metodologia diferenciada, a fim de observar e quantificar alguns dados sobre a receptividade e o desempenho dos alunos quanto ao uso de simuladores virtuais na disciplina de química.</p> <p>A seleção desta instituição foi determinada por ser um local de grande demanda de alunos. Dessa forma solicito o consentimento para realização do estudo.</p> <p>Saliento que serão garantidos a ética e o sigilo das informações e a total liberdade dos participantes, conforme a resolução <b>Lei Federal 196/96</b> (pesquisa com seres humanos).</p> <p>Ao término do estudo, os resultados serão repassados a esta instituição.</p> <p>Desde já agradecemos,</p> <p>Atenciosamente.</p>		
 <hr/> <b>DANIEL SOUSA DOS SANTOS</b> PROFESSOR ORIENTADOR DO TCC	 <hr/> <b>ALINE DE SANTANA CARVALHO</b> ACADÊMICA DO CURSO DE QUÍMICA	 Recebido em 11/06/19
Campus Universitário Marco Zero, Bloco de Farmácia, Rod. Rodovia Jucelino Kubitschek, Km 02 - Bairro Jardim Marco Zero, Macapá - AP, CEP 68.903-419. - <a href="http://www2.unifap.br/quimica/">http://www2.unifap.br/quimica/</a> - E-mail <a href="mailto:quimica@unifap.br">quimica@unifap.br</a>		

**APÊNDICE A – Pré e Pós-Questionários**

	<p style="text-align: center;"><b>Escola Estadual Professor José Barroso Tostes</b></p> <p>Aluno: _____</p> <p>Turma: 1º ano _____</p> <p>Data:     /     /</p>
---	---

Responda as questões propostas no questionário abaixo:

1. Você já ouviu falar sobre Química Quântica? ( ) Sim ( ) Não
2. Você já ouviu falar de algum desses assuntos: Atomística Radiação de Corpo Negro, Princípio da Incerteza, Efeito Fotoelétrico e Dualidade Onda Partícula.  
( ) Sim ( ) Não
3. Uma partícula é o fragmento menor de matéria que mantém as propriedades químicas de um corpo, os átomos e as moléculas são partículas.  
( ) Sim ( ) Não
4. Não podemos observar o comportamento ondulatório de um objeto macroscópico como uma bola de ping-pong?  
( ) Sim ( ) Não
5. Os elétrons são as partículas que constituem o átomo. É possível considerar que os elétrons estão localizados na eletrosfera do átomo, se movimentando ao redor do núcleo em órbitas ‘circulares’. ( ) Sim ( ) Não
6. O efeito fotoelétrico ocorre quando há emissões de elétron num material, esse efeito é produzido em materiais metálicos expostos a uma radiação eletromagnética, como a luz.  
( ) Sim ( ) Não

## APÊNDICE B – Plano de Aula

### PLANO DE AULA

<b>I – IDENTIFICAÇÃO</b>	
<b>Tema:</b>	Natureza do Elétron
<b>Disciplina:</b>	Química
<b>Ano Letivo:</b>	2019
<b>Bimestre:</b>	2º
<b>Turno:</b>	Vespertino
<b>Turma:</b>	111
<b>Professora:</b>	Aline de Santana Carvalho

<b>II – OBJETIVO GERAL</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Promover uma visão geral e introdutória sobre a Química Quântica e suas aplicações em ferramentas tecnológicas. Despertar nos alunos a consciência da importância da química, através de uma abordagem do assunto sobre a natureza do elétron através do uso de simuladores computacionais.</li> </ul>

<b>III – CONTEÚDO PROGRAMÁTICO</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Aspectos históricos dos modelos atômicos;</li> <li>Introdução à Química Quântica,</li> <li>Radiação de corpo negro, Efeito Fotoelétrico, Princípio da Incerteza de Heisenberg, o Átomo de Bohr, Ondas de matéria (Hipótese de De Broglie);</li> </ul>
<b>IV – MÉTODOS E ESTRATÉGIAS:</b>
<p>Os conceitos inerentes aos assuntos serão abordados de forma expositiva, através de aulas teóricas, e utilização de simulação computacional. Com o uso do PhET Simulações Interativas, que é uma ferramenta de aprendizado independente, que cria simulações computacionais interativas baseadas em pesquisa para ensinar e aprender física e química e</p>



torna-os disponíveis gratuitamente no site da PhET (<http://phet.colorado.edu>). Embora existam muitas simulações sobre interferência de elétrons em fenda dupla, nenhuma aborda o que observamos ser o maior problema para os alunos entenderem este fenômeno: visualizando o comportamento dos elétrons entre as fendas e a tela. Os alunos serão encaminhados ao laboratório de informática com o intuito de utilizar o simulador para assimilação e apropriação dos conteúdos trabalhados.

Para assimilação dos conceitos ondulatórios, a simulação utilizada será a “*Interferência de Onda*”;

Para mostrar as propriedades ondulatória e corpuscular para partículas quânticas, será usado a simulação “*Interferência Quântica*”;

Para discussão deste fenômeno utilizando a simulação “*Efeito Fotoelétrico*”.

## V- AVALIAÇÃO

A avaliação será através da análise do pré e pós-questionário.

## VI- RECURSO DIDÁTICO

Quadro Branco; Pincel; Apagador; projetor; Laboratório de informática (LIED).

## VII – REFERÊNCIA

### **Básica:**

ATKINS, P.W. Físico-Química. Vol. 1. 6ª edição. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1996.

ATKINS, P e JONES, L. Princípios de Química: questionando a vida moderna e o meio ambiente. Porto Alegre: Bookman. 2001.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos de Física. V. 4 – Ótica e Física

Moderna. 8ª. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

**Complementar:**

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos de Física. V. 2 – Gravitação, Ondas e Termodinâmica. 8ª. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

ATKINS, P. Princípios de Química: Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente; 3ª ed.; Porto Alegre: Bookman, 2006.

**Profª Aline de Santana Carvalho**

**Assinatura do coordenador pedagógico**

## APÊNDICE C - Fotos da Intervenção Pedagógica

**Figura 10-** Explicação da Simulação “Efeito Fotoelétrico”



Fonte: Autoria Própria

**Figura 11-** Alunos Manipulando a Simulação “Efeito Fotoelétrico”



Fonte: Autoria própria

**Figura 12-** Alunos Manipulando a Simulação “Interferência Quântica”



Fonte: Autoria própria

**Figura 13-** Alunos Manipulando a Simulação “Interferência de Onda”



Fonte: Autoria própria