

O ENSINO DE FÍSICA MODERNA ATRAVÉS DAS CIÊNCIAS FORENSES



PRODUTO EDUCACIONAL

Renan Costa Loyola

Prof. Dr. Breno Rodrigues Segatto



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

RENAN COSTA LOYOLA

PRODUTO EDUCACIONAL

O ENSINO DE FÍSICA MODERNA ATRAVÉS DAS CIÊNCIAS FORENSES

VITÓRIA ES, 2022.

APRESENTAÇÃO

Caro professor, o material aqui apresentado foi desenvolvido como uma sequência didática, ancorada numa Unidade de Ensino Potencialmente Significativa – UEPS (MOREIRA, 2011), que se propõem auxiliar na aprendizagem de conceitos relativos à níveis de energia, transições eletrônicas, emissão e absorção da luz, fótons e o átomo de Bohr, utilizando como ferramenta as ciências forenses, para alunos do Ensino Médio.

A UEPS desenvolvida está estruturada em oito etapas investigativas de modo que na sequência proposta de atividades buscou-se favorecer o emprego de várias ferramentas e estratégias didáticas, onde podemos destacar: utilização de vídeos, atividade experimental e aulas expositivas dialogadas.

Vale destacar que este produto didático aqui desenvolvido e descrito fez parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física do curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

Com essa sequência didática, espera-se que seja um auxílio aos professores que desejem desenvolver temas referentes à Física Moderna aplicando as ciências forenses como ferramenta motivadora para introduzir tais conceitos.

Você professor, como mediador do processo de ensino aprendizagem, poderá fazer todas as alterações que julgar necessárias nessa sequência didática para que ela fique mais bem adaptada ao seu ambiente de ensino e ao público com que você trabalha.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1– Resumo das etapas da UEPS.....	25
Quadro 2 – Resumo da 1ª etapa da UEPS	27
Quadro 3 – Resumo da 2ª etapa da UEPS.	28
Quadro 4 – Resumo da 3ª etapa da UEPS.	30
Quadro 5 – Resumo da 4ª etapa da UEPS.	33
Quadro 6 – Resumo da 5ª etapa da UEPS.	36
Quadro 7 – Resumo da 6ª etapa da UEPS.	39
Quadro 8 – Resumo da 7ª etapa da UEPS.	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelo atômico de Dalton, chamado de “bola de bilhar”.....	8
Figura 2 - John Dalton (1766-1844).	8
Figura 3 - Diagrama do tubo catódico de J. J. Thomson.....	9
Figura 4 - Diagrama do tubo catódico de J. J. Thomson.....	10
Figura 5 - Modelo Atômico de Thomson – “Pudim de Passas”.	10
Figura 6 - Esquema do experimento de Rutherford.	11
Figura 7 - Ernest Rutherford (1871-1937).	12
Figura 8 - Modelo atômico proposto por Rutherford (1871-1937).	12
Figura 9 - Linhas escuras observadas por Fraunhofer no espectro solar.	13
Figura 10 - Os três tipos de espectros na classificação de Kirchhoff: o contínuo, o de emissão e o de absorção.	14
Figura 11 - Espectro do hidrogênio atômico na região do visível.	15
Figura 12 - A teoria clássica propunha que um elétron acelerado deveria emitir radiação continuamente, o que faria com ele caísse no núcleo.	17

Figura 13 - Três dos níveis de energia de um átomo.	19
Figura 14 - Órbita circular de um só elétron em torno do núcleo.....	20
Figura 15 - Recortes do Vídeo: “Experimento com Luzes Forenses”.....	29
Figura 16 - Recorte do Vídeo: “Polícia mostra como identifica documento e dinheiro falsos”.....	30
Figura 17 - Recorte do Vídeo: “Tudo se Transforma, História da Química, História dos Modelos Atômicos”.....	32
Figura 18 - Recorte do Vídeo: “O átomo de Bohr Estrutura eletrônica de átomos Química Khan Academy”.....	32
Figura 19 - Simulador Phet: Modelos do Átomo de Hidrogênio.....	33
Figura 20 - Recorte do Vídeo: “Níveis de Energia Atômica – Física - KhanAcademy”.....	35
Figura 21 - Simulador Phet: Moléculas e Luz.....	35
Figura 22 - Simulador Phet: Moléculas e Luz.....	37
Figura 23 - Recorte do Vídeo: “COMO FUNCIONA A LÂMPADA FLUORESCENTE?”.....	38
Figura 24 - Recorte do Vídeo: “CSI 1T E21 Efeito Luminol”.....	38
Figura 25 - Recorte do Vídeo: “CSI 3T EP15 Efeito LuminolAgain”.	38

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	6
2 BREVE HISTÓRICO DA EVOLUÇÃO DOS MODELOS ATÔMICOS: DE DALTON AO ÁTOMO DE BOHR.	7
2.1 MODELO ATÔMICO DE DALTON	7
2.2 MODELO ATÔMICO DE THOMSON.....	9
2.3 MODELO ATÔMICO DE RUTHERFORD	11
2.4 ESPECTROS ATÔMICOS	13
2.5 MODELO ATÔMICO DE BOHR.....	17
3 A CIÊNCIA FORENSE	22
3.1 FÍSICA FORENSE	23
4 DESENVOLVIMENTO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	25
4.1 DESENVOLVIMENTO AULA A AULA DA UEPS.....	26
4.1.1 1º Passo – Definição dos tópicos específicos a serem abordados, apresentação da pesquisa e levantamento dos conhecimentos prévios sobre ciências forenses.	26
4.1.2 2º Passo – Situação inicial: Levantando os conhecimentos prévios dos alunos sobre os conceitos de física moderna e contemporânea.	28
4.1.3 3º Passo – Situação-problema inicial.....	29
4.1.4 4º Passo – Apresentação dos conceitos físicos.....	31
4.1.5 5º Passo – Aprofundando os conhecimentos	34
4.1.6 6º Passo – Diferenciação Progressiva e Reconciliação Integradora	36
4.1.7 7º Passo – Avaliação somativa individual e Avaliação da UEPS.....	40
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
ANEXO I.....	44
ANEXO II.....	45

1 INTRODUÇÃO

O Produto Educacional implementado é constituído por uma sequência didática desenvolvida em oito etapas, constando meios de mediação e atividades que encaminham o aluno a uma aprendizagem significativa do tema proposto. A estruturação dessa sequência se deu de tal modo que cada aula apresenta conteúdos que serviram como ancora para aquisição de novos elementos que serão apresentados na aula subsequente.

Neste contexto, as concepções iniciais a respeito dos conceitos físicos, escolhidos a serem trabalhados neste produto, poderão ser contempladas e confrontadas com as concepções que as sucederão no transcorrer da aplicação da sequência.

Vale ressaltar, que este Produto Educacional trás como ferramenta auxiliadora, no processo de ensino-aprendizagem, a aplicação das ciências forenses como meio para despertar no aluno o interesse em aprender, favorecendo assim na introdução dos conteúdos de física. Para tal, este trabalho dispõe de textos preparatórios, roteiros experimentais, um pré-teste, um teste final e uma avaliação da sequência aplicada para que os alunos respondam suas percepções a respeito do trabalho desenvolvido.

2 BREVE HISTÓRICO DA EVOLUÇÃO DOS MODELOS ATÔMICOS: DE DALTON AO ÁTOMO DE BOHR.

A busca pela compreensão da constituição da matéria pela humanidade é algo que vem sendo, há séculos, objeto de estudos filosóficos e científicos. Uns dos precursores a definir que a matéria só poderia dividir-se em porções cada vez menores até um limite, denominado de Átomo, como sendo essa partícula minúscula e indivisível que compõem a matéria, foram os filósofos gregos Demócrito e Leucipo, por volta do século V a.C.

A evolução do conhecimento da constituição da matéria recebeu, ao longo do tempo, inúmeras contribuições. Através de observações e experiências, como as advindas dos espectros de emissão atômica, que, além de oferecerem informações sobre a constituição e a temperatura das estrelas, também foram propulsores de grandes avanços relativos ao conhecimento humano sobre a composição da matéria, o que levou a um gigantesco passo na formulação dos modelos atômicos.

Vamos neste capítulo nos ater a descrever a evolução histórica dos modelos atômicos de John Dalton, J.J. Thomson e Ernest Rutherford, espectros atômicos de emissão e absorção e o modelo atômico de Bohr.

2.1 MODELO ATÔMICO DE DALTON

John Dalton (1766-1844), químico Inglês que propôs sua teoria sobre a estrutura atômica da matéria baseado em seus experimentos e estudos que o levaram a concluir: 1) que a matéria apresenta partículas (átomos) que possuem massa; 2) que a combinação de diferentes átomos forma átomos compostos, que seriam as substâncias; 3) que átomos diferentes apresentam massas e tamanhos diferentes; 4) que os átomos não sofrem transformações, são imutáveis; e 5) que os elementos químicos diferentes apresentam massas diferentes porque seus átomos são diferentes. Em suma, ele postulou para seu modelo atômico que o átomo é uma esfera maciça, homogênea, indestrutível, indivisível e de carga elétrica neutra. O modelo de Dalton ficou também conhecido como “bola de bilhar” (OLIVEIRA e FERNANDES, 2006, Pág. 4), como apresentado na Figura 01.

Figura 1 - Modelo atômico de Dalton, chamado de “bola de bilhar”.



Fonte: Site Toda Matéria¹.

John Dalton (Figura 02) obteve o mérito por consolidar a ideia do átomo como unidade elementar da matéria, valendo-se para isso de dados experimentais quantitativos. Entretanto, o seu modelo apresentava vários erros, que a partir da segunda metade do século XIX foram demonstrados.

Figura 2 - John Dalton (1766-1844).



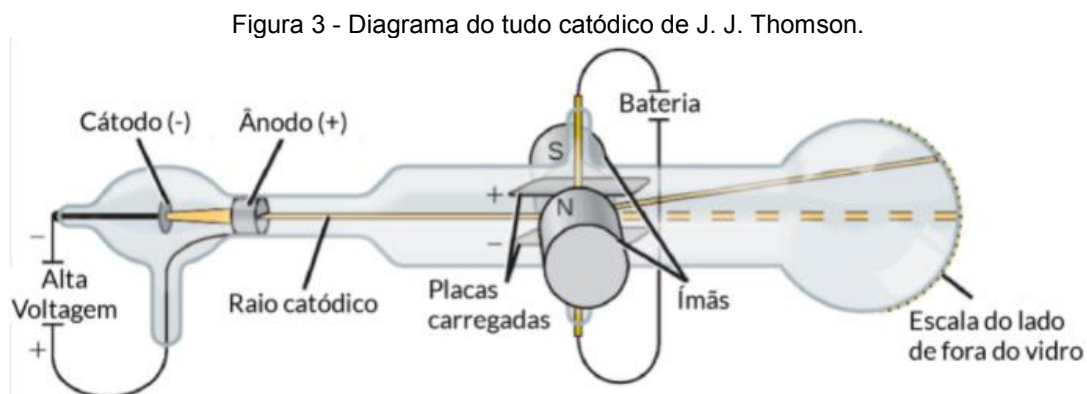
Fonte: Wikipedia².

¹ Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/modelo-atomico-de-dalton/>>. Acessado em 12 de Nov. de 2021.

²Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/John_Dalton#/media/Ficheiro:Dalton_John_desk.jpg>. Acessado em 12 de Nov. de 2021.

2.2 MODELO ATÔMICO DE THOMSON

O físico inglês Joseph John Thomson (1856-1940), em um de seus experimentos, submeteu a voltagens elevadíssimas um tubo com gases, produzindo raios catódicos. Quando se aplicava um campo elétrico externo, estes raios se desviavam em direção à uma placa positiva (Figura 03), o que significava que o átomo teria partículas negativas, que foram denominadas como sendo os elétrons. Mas, tendo em vista que a natureza da matéria é neutra, uma explicação plausível para tal fato seria de que existiria uma parte positiva que neutralizaria os elétrons.

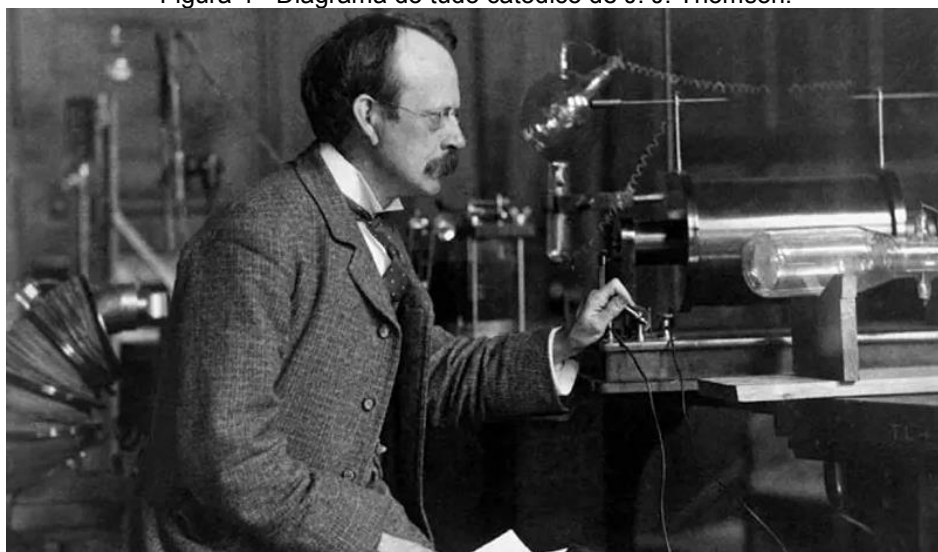


Fonte: Repositório da Khan Academy³.

Em 1903, apoiando-se nessa premissa, Thomson (Figura 04) modificou o modelo de Dalton, afirmando que o átomo não seria maciço nem indivisível, estabelecendo assim o seu modelo, onde propôs que o átomo é uma esfera de carga elétrica positiva, não maciça, incrustada de elétrons (que são as partículas negativas), de modo que sua carga total seja nula.

³ Disponível em: <<https://pt.khanacademy.org/science/chemistry/electronic-structure-of-atoms/history-of-atomic-structure/a/discovery-of-the-electron-and-nucleus>>. Acessado em 12 de Nov. de 2021.

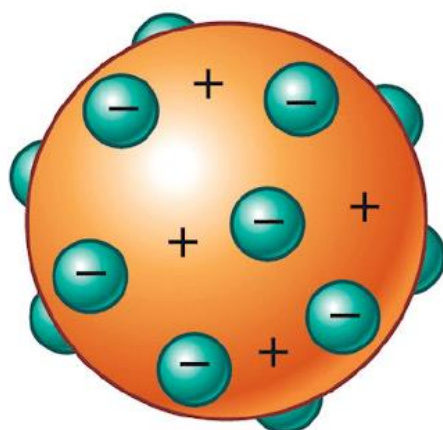
Figura 4 - Diagrama do tubo catódico de J. J. Thomson.



Fonte: Mundo Educação⁴.

O modelo de Thomson ficou conhecido como “pudim com passas” (Figura 05) e teve vida curta, pois foi logo notada sua incompatibilidade com os resultados encontrados com novos experimentos que foram realizados por outros cientistas (OLIVEIRA e FERNANDES, 2006, Pág. 14).

Figura 5 - Modelo Atômico de Thomson – “Pudim de Passas”.



Fonte: Site Entendendo Química⁵.

⁴ Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/o-atomo-thomson.htm>. Acessado em: 12 de Nov. de 2021.

⁵ Disponível em: <http://entendendoquimica.blogspot.com/2012/06/modelo-atomico-de-thomson-e-rutherford.html>. Acessado em: 12 de Nov. de 2021.

2.3 MODELO ATÔMICO DE RUTHERFORD

O físico Ernest Rutherford (1871-1937), natural da Nova Zelândia, em 1911 realizou um experimento em que foi bombardeada uma lâmina muito fina de ouro com partículas Alfa (Figura 06).

Figura 6 - Esquema do experimento de Rutherford.



Fonte: Site Prepara Enem⁶.

Foi observado durante o experimento que a maioria das partículas atravessou a lâmina, o que se levava a acreditar que existiam espaços vazios no átomo. Outras partículas eram desviadas, o que poderia ser explicado considerando que o núcleo do átomo fosse pequeno e denso. Por fim, algumas partículas Alfa sofreram desvios de trajetória, o que demonstrava que o núcleo seria positivo, pois as partículas Alfa são positivas e sofreram repulsão ao passar próximas ao núcleo do átomo. Rutherford (Figura 07) então defendeu que o seu modelo atômico seria descrito de modo que o átomo seria composto por um núcleo muito pequeno e de carga elétrica positiva, equilibrado por cargas elétricas negativas, que seriam os elétrons, estes ficariam girando ao redor do núcleo, numa região denominada eletrosfera.

⁶ Disponível em: <<https://www.preparaenem.com/quimica/experimento-rutherford.htm>>. Acessado em: 12 de Nov. de 2021.

Figura 7 - Ernest Rutherford (1871-1937).

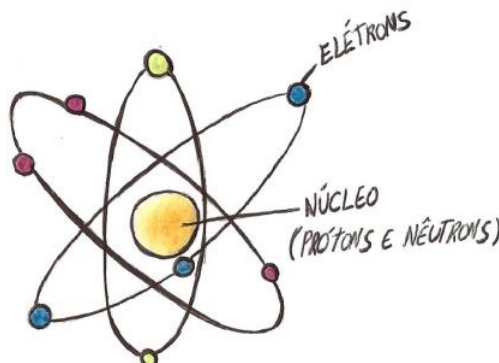
Fonte: Site Brasil Escola⁷.

Segundo Pires e Carvalho (2014):

O experimento de Rutherford levou à conclusão de que o átomo seria composto de um núcleo positivo, que ocuparia uma região muito pequena, comparada ao tamanho do átomo, e de cargas negativas que orbitavam em torno desse núcleo. O movimento dos elétrons seria então um movimento circular, com uma aceleração centrípeta, devido à atração elétrica entre as cargas. No entanto, havia uma falha em seu modelo: uma carga em movimento acelerado emite radiação eletromagnética; ao se mover com aceleração centrípeta, o elétron deveria emitir radiação e perder energia. Com isso, o raio de sua órbita deveria diminuir gradativamente até que ele colidisse com o núcleo. Não haveria, portanto, átomos estáveis, que formassem a matéria tal como a conhecemos (PIRES; CARVALHO, 2014, p. 24).

A proposta de Rutherford compara a estrutura atômica com o sistema solar, onde o sol seria o núcleo do átomo e os elétrons seriam os planetas orbitando em volta do núcleo. Por tal semelhança, seu modelo ficou conhecido como modelo “planetário” ou “sistema solar” (Figura 08, LOPES, 2009).

Figura 8 - Modelo atômico proposto por Rutherford (1871-1937).

Fonte: Revista IFES Ciência⁸.

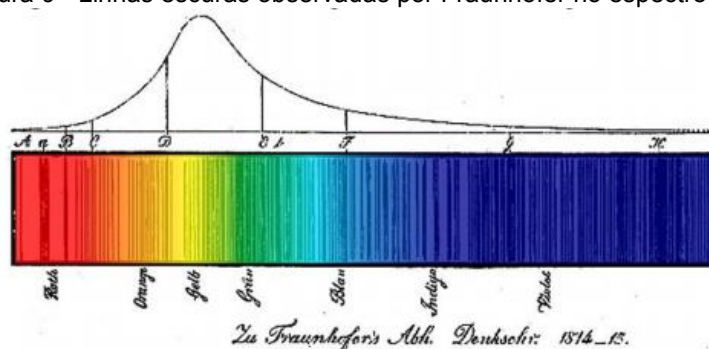
⁷ Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/ernest-rutherford.htm>>. Acessado em: 12 de Nov. de 2021.

O modelo proposto por Rutherford, apesar de muito utilizado para explicar alguns fenômenos físicos existentes, apresentava algumas incongruências que comprometeram sua total aceitação (LOPES e GOMES, 2018, pág. 13). O modelo, por exemplo, não explicava a estabilidade do átomo uma vez que, de acordo com a eletrodinâmica clássica, partículas carregadas em movimento emitem radiação e, portanto, o elétron deveria colapsar no núcleo.

2.4 ESPECTROS ATÔMICOS

O alemão Joseph Von Fraunhofer, no início do século XIX, obteve a primeira evidência experimental relevante sobre os espectros atômicos ao fazer observações referentes ao espectro do Sol, descobrindo que apresentava uma série de linhas escuras sobre ele (Figura 09). Tais linhas ou raias passaram a ser chamadas mais tarde de linhas ou raias de Fraunhofer (NUSSENZVEIG, 1998, p. 260).

Figura 9 - Linhas escuras observadas por Fraunhofer no espectro solar.



Fonte: Página Segredos da Luz e da Matéria⁹.

Dois outros pesquisadores, o químico alemão Robert Bunsen (1811-1899) e o físico prussiano Gustav Kirchhoff (1824-1887), tiveram grande importância no desenvolvimento da espectroscopia (NUSSENZVEIG, 1998, p. 260). Durante seus estudos, eles observaram os espectros de diversos elementos que, colocados numa chama, formavam uma série de linhas brilhantes, não contínuas, que variavam de elemento para elemento. Assim, cada elemento

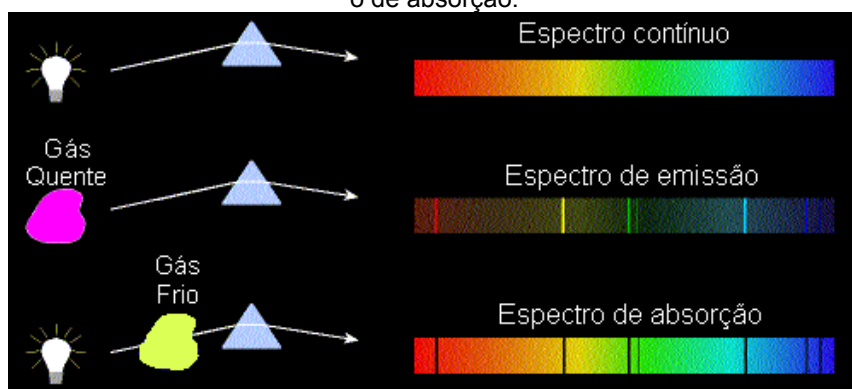
⁸ Disponível em: <<https://ojs.ifes.edu.br/index.php/ric/article/download/349/311/1304>>. Acessado em: 12 de Nov. de 2021.

⁹ Disponível em: <<https://sites.google.com/site/segredosluzmatéria/home/os-espetros-com-codigos-de-barras-dos-elementos>>. Acessado em: 12 de Nov. de 2021.

apresentava uma série de linhas espectrais bem definidas e características, que é o espectro de emissão do elemento analisado. Ao contrário, quando as linhas aparecem escuras, caracteriza-se o espectro de absorção do elemento. Através dos experimentos, Kirchhoff formulou empiricamente três leis que definem os tipos básicos de espectros (Figura 10) que, segundo Filho e Saraiva (2020), são:

- 1) Um corpo opaco quente, sólido, líquido ou gasoso, emite um espectro contínuo.
- 2) Um gás transparente produz um espectro de linhas brilhantes (de emissão). O número e a posição dessas linhas dependem dos elementos químicos presentes no gás.
- 3) Se um espectro contínuo passar por um gás à temperatura mais baixa, o gás frio causa a presença de linhas escuras (absorção). O número e a posição dessas linhas dependem dos elementos químicos presentes no gás.

Figura 10 - Os três tipos de espectros na classificação de Kirchhoff: o contínuo, o de emissão e o de absorção.



Fonte: Site Astronomia e Astrofísica¹⁰.

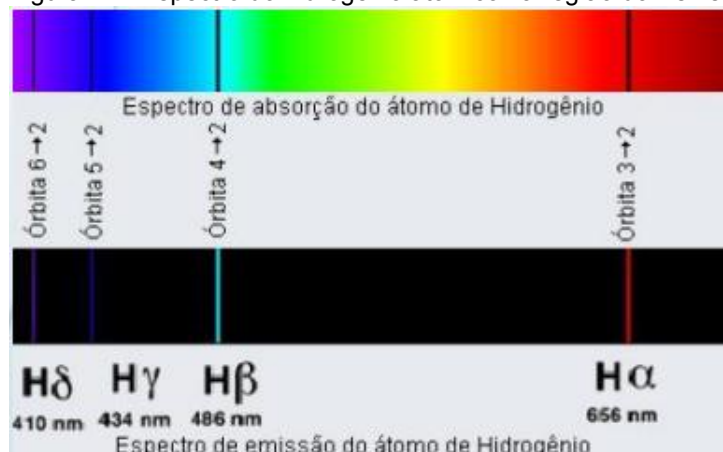
Podemos observar que as linhas de absorção produzidas por um gás estão nas mesmas posições das linhas de emissão que esse gás produz. As raias de absorção são escuras não porque não tenham luz nenhuma, mas sim porque são mais fracas do que o espectro contínuo presente no seu entorno.

Sabe-se que os espectros emitidos pelos átomos possuem características distintas, podendo-se assim realizar a caracterização e diferenciação dos elementos químicos que constituem a matéria presente na natureza através da análise das linhas espectrais produzidas. Assim, o espectro atômico pode ser entendido como uma impressão digital dos elementos constituintes da matéria.

¹⁰ Disponível em: <<http://astro.if.ufrgs.br/rad/espec/espec.htm>>. Acessado em: 12 de Nov. de 2021.

Nessa perspectiva, um dos espectros que tiveram considerável interesse em ser estudado pelos cientistas foi o espectro de emissão do hidrogênio atômico (Figura 11). Isso se deu devido ao fato dele possuir apenas um elétron, sendo o “átomo mais simples” (EISBERG e RESNICK, 1979, pg. 136), com maior abundância no universo e por aparecer com parte do seu espectro dentro da região de comprimentos de onda da luz visível.

Figura 11 - Espectro do hidrogênio atômico na região do visível.



Fonte: USP – Apoio as disciplinas¹¹.

Um grande desafio existente para os cientistas era como obter empiricamente uma representação matemática do comprimento de onda das raias do espectro de emissão do hidrogênio atômico.

Nesse contexto, em 1885 o professor secundarista, físico e matemático suíço, Johann Jakob Balmer consegue desenvolver uma fórmula empírica para descrever com “grande precisão (dentro de 0,02%) as posições desse conjunto de raias” (NUSSENZVEIG, 1998, p. 261). Segue abaixo a equação proposta por Balmer:

$$\lambda = 3646 \frac{n^2}{n^2 - 4}, n = 3, 4, 5, \dots \quad (1)$$

¹¹ Disponível em:

https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fedisciplinas.usp.br%2Fpluginfile.php%2F214290%2Fmod_folder%2Fcontent%2F0%2Faula_6_Atomo_Bohr_mecanica_quantica.pdf%3Fforcedownload%3D1&psig=AOvVaw1SoDkeKrViY2pcKvORil0f&ust=1636840798086000&source=images&cd=vfe&ved=0CAwQjhXqFwoTCJjCsKvpk_QCFQAAAAAdAAAAABAD
Acessado em: 12 de Nov. de 2021.

Onde na equação λ corresponde ao comprimento de onda, n são os níveis de energia para o átomo de hidrogênio e $3646 \text{ \AA}$ é o valor de uma constante “C”. Apresentando o resultado em termos do inverso do comprimento de onda, temos:

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right), n, = 1, 2, 3, \dots \quad (2)$$

Onde $R_H = 4/C$ chama-se constante de Rydberg para o hidrogênio, sendo seu valor correspondente a aproximadamente: $R_H = 109,677 \text{ cm}^{-1}$. Tal constante indica a “precisão possível em medidas espectroscópicas” (EISBERG e RESNICK, 1979, pg. 137).

Após a formulação empírica de Balmer, outras séries foram também obtidas (Tabela 1), possuindo a mesma estrutura geral, ou seja:

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left[\frac{1}{(m-a)^2} - \frac{1}{(n-b)^2} \right] \quad (3)$$

Tabela 1 - Séries do hidrogênio.

Nomes	Faixas de comprimento de onda	Fórmulas	Valores de n
Lyman	Ultravioleta	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	$n = 2, 3, 4, \dots$
Balmer	Ultravioleta próximo e visível	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	$n = 3, 4, 5, \dots$
Paschen	Infravermelho	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	$n = 4, 5, 6, \dots$
Brackett	Infravermelho	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	$n = 5, 6, 7, \dots$
Pfund	Infravermelho	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	$n = 6, 7, 8, \dots$

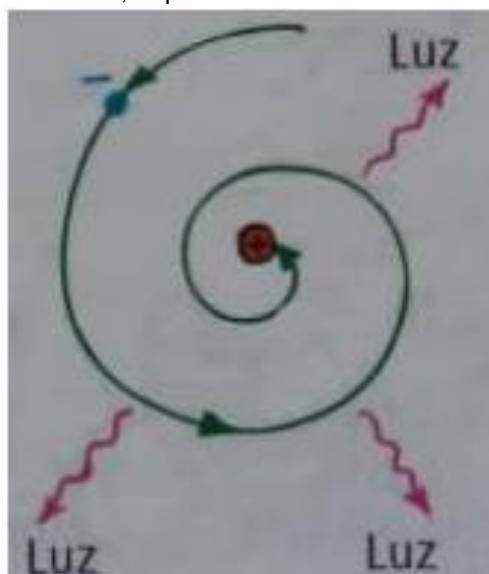
Adaptado pelo autor (Fonte: EISBERG e RESNICK, 1979, pg. 137).

Os resultados apresentados pelas descobertas dessas séries eram “incompreensíveis pela física clássica” (NUSSENZVEIG, 1998, p. 262). Dessa forma, se fez necessário a construção de um modelo atômico que conseguisse dialogar com as características específicas apresentadas pelos espectros atômicos. Nesse contexto, aparece o modelo proposto por Niels Bohr.

2.5 MODELO ATÔMICO DE BOHR

Devido aos resultados apresentados por Rutherford sobre a estrutura atômica da matéria, as propostas anteriores, como a de J.J. Thomson tornaram-se incompatíveis com os resultados experimentais. Entretanto, o modelo planetário de Rutherford, onde os elétrons ficam orbitando em torno do núcleo, apresentava também problemas para explicar a estabilidade do átomo, pois, conforme o eletromagnetismo clássico, uma carga acelerada girando em torno do núcleo deve emitir radiação. Ao perder energia, o elétron entraria em movimento espiralado até chocar-se com o núcleo (Figura 12), o que levaria ao colapso do átomo (NUSSENZVEIG, 1998, p. 262). Caso fosse assim, para uma órbita na escala atômica, o átomo colapsaria em tempo inferior a 10^{-9} s, o que não permitiria que a matéria fosse estável.

Figura 12 - A teoria clássica propunha que um elétron acelerado deveria emitir radiação continuamente, o que faria com ele caísse no núcleo.



Fonte: Hewitt (2011, p. 576).

No final do século XIX, mesmo os físicos maravilhados com a unificação da eletricidade e do magnetismo por meio das equações de Maxwell, ainda pairavam dúvidas sobre a realidade de alguns fenômenos que não podiam ser explicados pela teoria das ondas eletromagnéticas, como era o caso da radiação térmica emitida por um corpo negro. Em 1900, o cientista alemão Max Planck, apresentou um estudo teórico sobre a radiação de um corpo negro e verificando matematicamente uma equação que demonstrava compatibilidade com os resultados experimentais. Para tanto, Planck considerou que na superfície do corpo negro existissem “cargas elétricas oscilantes”¹², que emitiriam energia de forma não contínua, que por sua vez transportavam uma quantidade bem definida de energia, que denominou-se chamar de Fótons. Essa energia E de cada fóton foi chamada de quantum de energia, que é expressa matematicamente pela equação:

$$E = h \cdot \nu \quad (4)$$

Já em 1905, Albert Einstein, pesquisando sobre o efeito fotoelétrico, fez a utilização da ideia de Planck sobre a quantização e propôs que a luz não somente é emitida na forma de quanta, mas também se propaga no espaço em quanta individuais. Cada quantum de luz, ou fóton, tem uma energia E dada por:

$$E = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda} \quad (5)$$

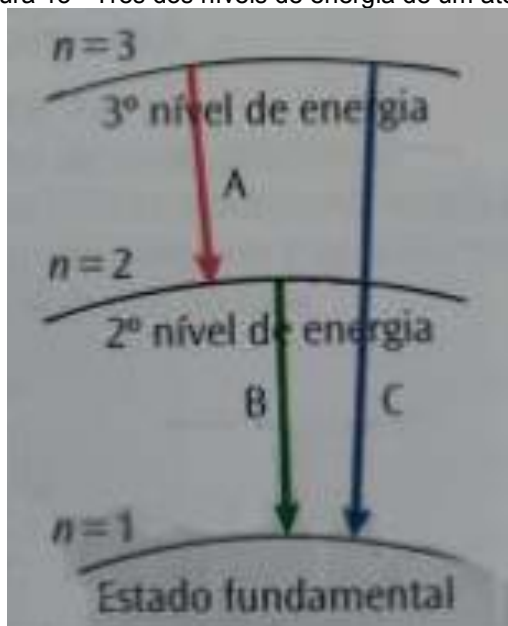
Onde temos que h é a constante de Planck, $h = 6,63 \times 10^{-34}$ J.s, ν é a frequência da luz, λ é o comprimento de onda e c é a velocidade da luz no vácuo da ordem de $3,0 \times 10^8$ m/s.

Em 1913 o físico dinamarquês Niels Henry David Bohr (1885-1962), dando continuidade aos trabalhos de Rutherford, propôs um modelo para o átomo mais simples, tendo como base não somente as teorias clássicas mais também

¹²Fonte: A RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO. Os Fundamentos da Física – Temas Especiais. Disponível em: <https://www.moderna.com.br/fundamentos/temas_especiais/radiacao_corpo_negro.pdf>. Acessado em: 02 de Fev. de 2022.

as ideias de quantização de Planck e Einstein. Bohr postulou então que o elétron não irradiaria luz durante a sua aceleração em torno do núcleo, mas que essa irradiação ocorreria quando o elétron salta de um nível de energia mais alto para um mais baixo (Figura 13, HEWITT, 2011).

Figura 13 - Três dos níveis de energia de um átomo.



Fonte: Hewitt (2011, p. 576).

Para que pudesse explicar onde os modelos anteriores falharam, Bohr estabeleceu alguns postulados, conforme afirma Eisberg e Resnick (1979):

- 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 uma órbita na qual seu momento angular orbital L é um múltiplo inteiro de $\hbar$ (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 pela constante de Planck h .

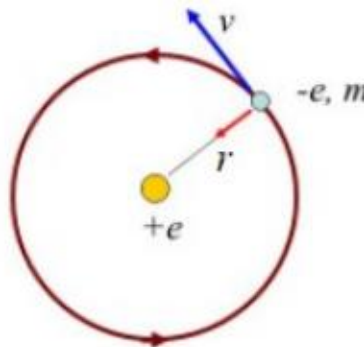
Assim, o elétron estaria no seu “estado fundamental”, onde ele apresenta seu nível mais baixo de energia, quando se encontra na órbita mais próxima do seu núcleo. Dessa forma, se o elétron ocupasse um nível mais alto em relação à

sua posição fundamental ele poderia “cair”, ou ocupar qualquer órbita mais próxima do núcleo (LONDERO, 2014, pg. 05).

Por outro lado, se os elétrons que compõem um átomo recebem energia ou colidem com outros elétrons, eles saltam para camadas mais superiores, entrando no que chamamos de estado excitado. Caso o elétron ceda energia, ele retorna para níveis mais internos, de modo que a “energia liberada sai em forma de quantum de luz ou fóton” (LONDERO, 2014, pg. 05).

Tomando o caso mais simples, que é o do átomo de hidrogênio, e fazendo analogia com o problema de Kepler para gravitação de dois corpos no caso particular de órbita circular, vamos assumir um elétron orbitando em torno do núcleo do átomo de hidrogênio (Figura 14).

Figura 14 - Órbita circular de um só elétron em torno do núcleo.



Fonte: Aula-10 Mais Ondas de Matéria II¹³.

Temos que, no caso em foco, considerando o próton em repouso, a força que atua no elétron é a força Coulombiana, dada em módulo por:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2}, (\text{força coulumbiana}) \quad (6)$$

Para uma órbita circular, temos apenas a força coulombiana atuando, consequentemente a resultante é a força centrípeta, logo:

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2} = m \frac{v^2}{r} \quad (7)$$

¹³ Disponível em: <<https://slideplayer.com.br/slide/3721027/>>. Acessado em: 29/07/2020.

Como a força é central, o torque é nulo e consequentemente o momento angular L é constante, assim temos:

$$L = mvr = \text{constante} \quad (8)$$

Conforme o segundo postulado imposta por Bohr, sobre a quantização do momento angular, podemos descrever que:

$$mvr = n\hbar, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (9)$$

Se isolarmos a velocidade v na equação (9), temos:

$$v = \frac{n\hbar}{mr}, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (10)$$

Ao substituírmos a equação (10) em (7) e simplificando a equação resultante, obtemos os raios possíveis da seguinte forma:

$$r = 4\pi\epsilon_0 \frac{n^2\hbar^2}{me^2}, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (11)$$

Temos que por consequência do segundo postulado de Bohr, a quantização do momento angular L restringe as possíveis órbitas circulares, como observado na equação (11).

Podemos calcular a energia total de um elétron atômico numa dada órbita possível. Para isso, define-se a energia potencial como sendo nula quando o elétron está infinitamente distante do núcleo. Assim, se integrarmos o trabalho realizado pela força coulombiana que atua de r até o ∞ , teremos a energia potencial V a qualquer distância r :

$$V = - \int_r^{\infty} \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} dr = - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (12)$$

Podemos obter a energia cinética K usando a equação (7), conforme temos:

$$K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 2r} \quad (13)$$

Logo, a energia total do elétron, E , é dada pela soma da energia potencial e energia cinética, que obtemos somando as equações (12) e (13), assim temos:

$$E = K + V = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 2r} = -K \quad (14)$$

Substituindo na equação (14) a equação (11), obtemos a expressão da energia total do elétron, como segue:

$$E = -\frac{1}{n^2} \frac{me^4}{(4\pi\epsilon_0)^2 2\hbar^2}, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (15)$$

Assim, “vemos que a quantização do momento angular orbital do elétron implica na quantização de sua energia total” (EISBERG e RESNICK, 1979, pg. 141).

3 A CIÊNCIA FORENSE

O lançamento nos últimos anos de inúmeros filmes e seriados televisivos, abordando a temática da investigação de crimes, onde são aplicadas tecnologias avançadas na resolução de crimes diversos, tem contribuído muito para o aumento na curiosidade sobre o que seria a Ciência Forense. Pois então, o que seria a Ciência forense? Segundo Silva (2020), a Ciência Forense é o conjunto de métodos e técnicas científicas aplicadas para a resolução de crimes. Já para Fachone e Velho (2007, pág. 153), a Ciência forense pode ser entendida como a “classificação dada aos esforços de geração e transferência de tecnologia e ciência com a finalidade de elucidar questões relativas ao âmbito do sistema de segurança pública e justiça criminal”.

Quando se iniciou a estruturação deste campo das ciências, os profissionais que desempenhavam as práticas forenses possuíam formação genérica (BARROS *et al.*, 2021, pág. 56). À medida que os crimes foram se tornando mais complexos, devido à evolução da tecnologia e o seu uso por parte dos criminosos, tornou-se imprescindível que profissionais altamente

especializados nas mais diversas áreas da ciência, participassem dos trabalhos científicos com o intuito de tornar mais eficaz a investigação criminal.

Áreas da ciência como física, química, biologia, matemática, engenharia, medicina, toxicologia, entre outras, são envolvidas, no âmbito da ciência forense, de modo interdisciplinar, objetivando a sustentação científica as investigações criminais, como nos diz Velho, Geiser e Espindula (2017):

“É assim importante frisar que as Ciências Forenses são um grupo de diversas áreas que convergem em um mesmo fim. Não é uma ciência única e visa, em última instância, atender as demandas judiciais. Não se pode falar em uma estrutura ou método específico para as Ciências Forenses, visto que cada campo do conhecimento tem seus próprios métodos”.

Dentre os mais diversos ramos das ciências forenses, como a química forense, toxicologia forense, biologia forense, genética forense, engenharia forense, fonética forense, entre muitas outras áreas (FACHONE; VELHO, 2007, pág. 153), onde podemos apontar também como uma delas a física forense.

3.1 FÍSICA FORENSE

Inúmeros casos de crimes, em que os vestígios deixados dependem de análises físicas ou necessitam de estudo de fenômenos físicos envolvidos, abrem campo de atuação para a área de física forense. Segundo Neto (2002, pág. 124):

“Física Forense é a parte da Física destinada à observação, análise e interpretação dos fenômenos físicos - naturais - de interesse judiciário. Dentre estes se destacam os relativos aos acidentes de trânsito. Tais fenômenos podem ser vistos como parte da dinâmica dos corpos rígidos, sob certas condições, e assim têm sido tratados por especialistas na área”.

Nesta mesma perspectiva, a literatura nos apresenta alguns tópicos de interesse em que a física pode ser aplicada em casos forenses, como em acidentes automobilísticos, trajetórias de projéteis, investigação de incêndio e explosão, identificação de materiais e métodos de imagem (CROSS, 2008, Pág. 1).

Casos de determinação de altura em ocorrências envolvendo queda de uma pessoa, sem uma testemunha que confirme a dinâmica do evento, foram objetos de estudo pelo físico Cross (2008) e publicação na revista American

Journal of Physics, através do trabalho intitulado “Forensic Physics 101: Falls from a height”. Outro trabalho relacionado a estudo de caso de queda de corpos, aplicado a física forense, foi publicado no Journal of Forensic Sciences, também por Cross (2006), este intitulado “Fatal Falls from a Height: Two Case Studies”. Em casos como os citados nestes trabalhos, os físicos forenses podem também valer-se da análise de vídeos que possam ter registrado um trecho da queda para a determinação da altura (SEGATTO, 2019, Pág. 1).

No campo do ensino de física, também verificamos alguns artigos que apresentam a temática forense para cálculo de velocidade de veículos e motocicletas envolvidos em acidentes de trânsito utilizando software para realização de análises. Gurgel et. al. (2015), ao falar do uso do software SCTA (Speed Calculations software for Traffic Accidents), diz que as investigações em ciência forense, tendo como tema gerador a mecânica dos acidentes de trânsito e devido à sua interface amigável, o SCTA pode ser utilizado como ferramenta auxiliar no ensino de física.

Em outra pesquisa publicada também na Revista Brasileira de Ensino de Física, o autor desenvolve uma metodologia, usando projeção de corpos, onde o “método físico proposto no presente trabalho é uma ferramenta alternativa que pode ser empregada no cálculo de velocidade de qualquer modelo de motocicleta” (MATINS et. Al., 2020, pág. 6) envolvida em acidentes de trânsito.

Em terminação de trajetórias balísticas, onde a posição do atirador e da vítima é importante em serem determinadas, também temos a aplicação e uso da física forense como fator de grande relevância nas análises de reconstrução de fatos físicos em criminalística¹⁴ (ZÚÑIGA; MUÑETÓN, 2017, pág. 1).

Como verificamos, a mecânica clássica aplicada nos casos de criminalística é objeto de publicação em vários artigos científicos, inclusive na área de ensino de física. Neste contexto, optamos em fazer uma abordagem onde envolvemos a física moderna, no âmbito da mecânica quântica, aplicada na resolução de crimes.

¹⁴ Disciplina que tem por objetivo o reconhecimento e interpretação dos indícios materiais extrínsecos relativos ao crime ou à identificação do criminoso. STUMVOLI, V. P. Criminalística. Disponível em: <<https://www.editorajuspodivm.com.br/cdn/arquivos/1f373db51b0aea8e5358a82af1678684.pdf>>. Acessado em: 21 de Fev. de 2022.

4 DESENVOLVIMENTO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Este trabalho apresenta como proposta a utilização de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) que, segundo Moreira (2011), é uma sequência didática fundamentada, composta por etapas, que busca a promoção da aprendizagem significativa, visando alcançar o objetivo de favorecer a compreensão de conceitos de física moderna, através do estudo do Átomo de Bohr, níveis de energia e transições eletrônicas, para alunos do Ensino Médio, utilizando como ferramenta as ciências forenses.

No quadro a seguir são descritas, de forma resumida, as etapas envolvidas no desenvolvimento da UEPS, com seus respectivos objetivos e atividades realizadas. Cada etapa teve uma quantidade específica de aulas, sendo cada hora/aula com uma duração de 50 minutos cada, totalizando 7 horas/aula.

Quadro 1– Resumo das etapas da UEPS.

ETAPAS DA UEPS				
ETAPAS	AULA	OBJETIVO	ATIVIDADE PROPOSTA	RECURSO INSTRUCIONAL
1º Passo	Aula 1	Definição dos tópicos específicos a serem abordados.	Apresentação da proposta de trabalho.	Aula expositiva com uso de recursos multimídia.
		Levantamento dos conhecimentos prévios sobre as Ciências Forenses.	Pré-teste1.	Questionário 1 (Apêndice A).
2º Passo	Aula 2	Levantamento dos conhecimentos prévios sobre Física.	Pré-teste 2.	Questionário 2 (Apêndice B).
3º Passo	Aula 3	Situação-problema inicial	Leitura de textos, exibição de vídeos e aplicação de um questionário.	Texto 01 (ANEXO I); Texto 02 (ANEXO II); Exibição do Vídeo 01 e do Vídeo 02; Aplicação do questionário 3 (Apêndice C).

4º Passo	Aula 4	Apresentação dos conceitos físicos	Exibição dos vídeos 03 e 04 e o simulador 01.	Apresentação dos Vídeos 03 e 04; Manipulação do Simulador 01; Aplicação do questionário 4 (Apêndice D)
5º Passo	Aula 5	Nova situação problema - Aprofundando os conhecimentos.	Revisão dos conceitos apresentados. Apresentação do vídeo 05 e do simulador 02.	Exposição oral com uso de recursos multimídia; Apresentação do vídeo 05; Uso do simulador 02; Aplicação de um questionário sobre o simulador (Apêndice E);
6º Passo	Aula 6	Diferenciação Progressiva e Reconciliação Integradora	Exibição de vídeos e aplicação da atividade	Exibir os Vídeos 06, 07, 08 e 09; Aplicar o questionário disponível no Apêndice F.
7º Passo	Aula 7	Avaliação individual e da UEPS	Avaliação individual dos alunos; Avaliação da UEPS.	Aplicação da avaliação individual (Pós-teste) disponível no Apêndice G; Aplicação da avaliação da UEPS disponível no Apêndice H.

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1 DESENVOLVIMENTO AULA A AULA DA UEPS

4.1.1 1º Passo – Definição dos tópicos específicos a serem abordados, apresentação da pesquisa e levantamento dos conhecimentos prévios sobre ciências forenses.

Aula 1: Inicialmente, o professor deve apresentar aos alunos a proposta de trabalho que será desenvolvida com eles, informando tratar-se de uma sequência didática sobre tópicos de Física moderna com a aplicação das ciências forenses como ferramenta que favorece o processo de aprendizagem. Será importante criar uma atmosfera animadora e envolvente para os alunos, ressaltando a importância de se empenharem nas atividades e elevando as expectativas deles para as etapas subsequentes. No segundo momento, para fazer o levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos em relação às ciências forenses, em especial sobre a utilização de luzes num local de crime e/ou laboratório forense, o professor aplicará o questionário inicial (pré-teste1) disponível no **APÊNDICE A** da dissertação. Esta etapa deve ser realizada em uma hora/aula.

Quadro 2 – Resumo da 1ª etapa da UEPS

1ª AULA		“O ENSINO DE FÍSICA MODERNA ATRAVÉS DAS CIÊNCIAS FORENSES”	
50 MINUTOS		Objetivo Geral: Apresentar o trabalho a ser desenvolvido e levantar os conhecimentos prévios sobre as Ciências Forenses.	
ORGANIZAÇÃO		METODOLOGIA	INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS
1º Momento	15 minutos Introdução	Saudação inicial do professor aos alunos. Em seguida, apresentação de alguns slides informando sobre a metodologia do trabalho, número de encontros, as atividades que serão desenvolvidas durante a sequência. É importante que o professor crie um ambiente motivador para os alunos acompanharem as aulas seguintes.	Não cabe.
2º Momento	30 minutos Pré-teste1	Levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos sobre as Ciências Forenses.	O professor disponibilizará um formulário com questões relacionadas às Ciências Forenses (Pré-teste1), disponível no APÊNDICE A .

3º Mo ment o	05 minutos Final	Considerações finais da aula.	Não cabe.
---------------------	----------------------------	-------------------------------	-----------

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.2 2º Passo – Situação inicial: Levantando os conhecimentos prévios dos alunos sobre os conceitos de física moderna.

Aula 2: Um segundo questionário, disponível no **APÊNDICE B** da dissertação, será aplicado para o levantamento dos subsunçores dos estudantes sobre os conceitos de física relativos aos modelos atômicos e interação luz-matéria. O professor deve fazer as anotações das questões que forem levantadas durante a aula e solicitar aos alunos que devolvam o questionário ao término do tempo para resposta. Esta etapa deve ser realizada em uma hora/aula.

Quadro 3 – Resumo da 2ª etapa da UEPS.

2ª AULA 50 MINUTOS		“O ENSINO DE FÍSICA MODERNA ATRAVÉS DAS CIÊNCIAS FORENSES” Objetivo Geral: Levantar os subsunçores dos estudantes sobre os conceitos de física relativos aos modelos atômicos e interação luz-matéria.	
ORGANIZAÇÃO		METODOLOGIA	INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS
1º Mo ment o	10 minutos Informes	Retomar o contexto da aula anterior e do projeto de pesquisa e passar algumas orientações básicas para a realização do Pré-teste 2, como tempo de duração, resposta questão-a-questão, etc.	Não cabe.
2º Mo ment o	30 minutos Pré-teste 2	Levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos sobre modelos atômicos e interação luz-matéria.	O professor disponibilizará um formulário com questões relacionadas aos modelos atômicos e interação luz-matéria (Pré-teste 2), disponível no APÊNDICE B .

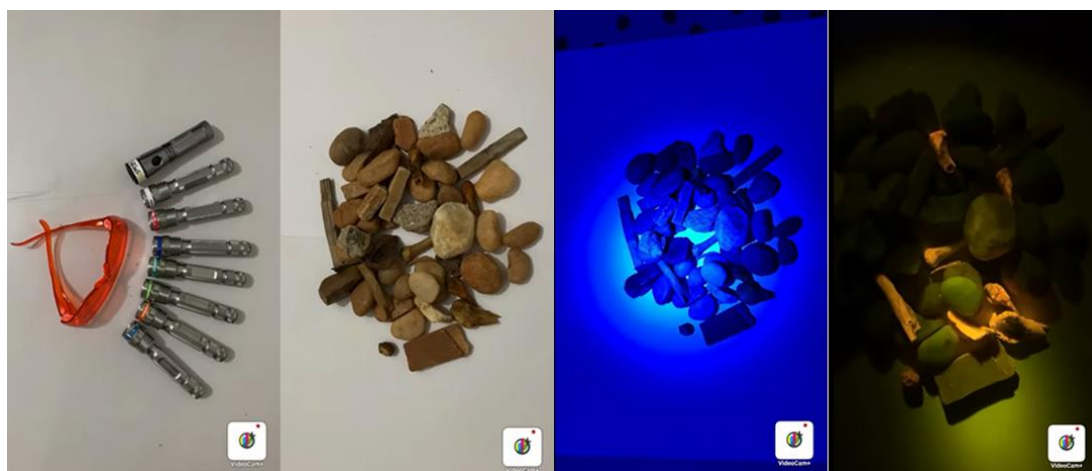
3º M o m e n t o	10 minutos Final	Considerações finais da aula.	Não cabe.
---------------------------------------	-------------------------	-------------------------------	-----------

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.3 3º Passo – Situação-problema inicial.

Aula 3: Já de posse dos levantamento dos conhecimentos prévio dos alunos sobre as ciências forenses e também sobre os conceitos de física propostos para esse trabalho, o professor apresenta aos alunos o primeiro texto de contextualização “SÃO OSSOS HUMANOS OU NÃO?”, disponível no **ANEXO I**. Após os estudantes terem feito a leitura do texto, eles devem assistir ao vídeo (Figura 15) “Experimento com Luzes Forenses”, disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=PybGqBH3csi>>. Em seguida, o professor orienta os alunos para que façam a leitura do segundo texto de contextualização “DOCUMENTOS E CÉDULAS FALSAS OU NÃO?”, disponível no **ANEXO II**. Ao término da leitura do segundo texto, os estudantes devem assistir ao vídeo (Figura 16) “Polícia mostra como identifica documento e dinheiro falsos”, disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=q0yS9qp5IC4>>. Ao final, o professor solicita os alunos que respondam o questionário disponível no **APÊNDICE C** da dissertação. Esta etapa deve ser realizada em uma hora/aula.

Figura 15 - Recortes do Vídeo: “Experimento com Luzes Forenses”.



Fonte: Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=PybGqBH3csi>>. Acessado em: 30 de Jun de 2020 às 17h00.

Figura 16 - Recorte do Vídeo: “Polícia mostra como identifica documento e dinheiro falsos”.



Fonte: Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=q0yS9qp5IC4>>. Acessado em: 30 de Jun de 2020 às 17h00.

Quadro 4 – Resumo da 3ª etapa da UEPS.

3ª AULA		“O ENSINO DE FÍSICA MODERNA ATRAVÉS DAS CIÊNCIAS FORENSES”	
50 MINUTOS		Objetivo Geral: Apresentar aos alunos a situação-problema inicial.	
ORGANIZAÇÃO		METODOLOGIA	INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS
1º Momento	10 minutos Texto 01	Apresentar aos alunos o texto de contextualização “SÃO OSSOS HUMANOS OU NÃO?” (ANEXO I), sobre Luzes Forenses.	Não cabe. Somente leitura dos alunos.
2º Momento	10 minutos Vídeo 01	Apresentar aos alunos o Vídeo 01, com duração de 06 minutos e 12 segundos, intitulado “Experimento com Luzes Forenses”, do canal “Química e Perícia”, disponível em: < https://www.youtube.com/watch?v=PybGqBH3csl >.	Não cabe.
3º Momento	10 minutos Texto 02	Apresentar aos alunos o texto de contextualização “DOCUMENTOS E CÉDULAS FALSAS OU NÃO?” (ANEXO II), sobre Luzes Forenses.	Não cabe. Somente leitura dos alunos.

4º M o m e n t o	10 minutos Vídeo 02	Apresentar aos alunos o Vídeo 02, com duração de 06 minutos e 57 segundos, intitulado “Polícia mostra como identifica documento e dinheiro falsos”, disponível em: < https://www.youtube.com/watch?v=q0yS9qp5lC4 >.	Não cabe.
5º M o m e n t o	10 minutos Questões problema	Já de posse dos conhecimentos prévios dos alunos sobre as ciências forenses, e após a realização das atividades anteriores, o professor retoma o assunto das ciências forenses com as seguintes questões: • As ciências (física, química, biologia, entre outras) podem ser aplicadas na resolução de crimes? Explique. • Luzes de comprimento de onda (cores) diferentes podem ser usadas para detecção de vestígios em locais de crime e/ou em documentos falsos? Explique.	Respostas dos alunos levantadas através do formulário proposto no APÊNDICE C.

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.4 4º Passo – Apresentação dos conceitos físicos

Aula 4: Nesta aula o professor introduz, buscando inicialmente os aspectos mais gerais, os conceitos de física que serão aprendidos, sendo apresentado aos alunos um vídeo (Figura 17) que trata sobre o evolução dos modelos atômicos, de Dalton até Bohr, disponível em:
<<https://www.youtube.com/watch?v=58xkET9F7MY>>.

Na sequência, com intuito de avançar para níveis mais específicos do conteúdo, o professor apresenta outro vídeo (Figura 18) onde se detalha o modelo de atômico de Borh, disponível em:
<<https://www.youtube.com/watch?v=E-9eRrg5oy4>>. Ao término do vídeo, para

auxiliar na compreensão da construção dos modelos atômicos estudados, os alunos fazem uso de um simulador computacional (Figura 19), disponível em https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/hydrogen-atom/latest/hydrogen-atom.html?simulation=hydrogen-atom&locale=pt_BR.

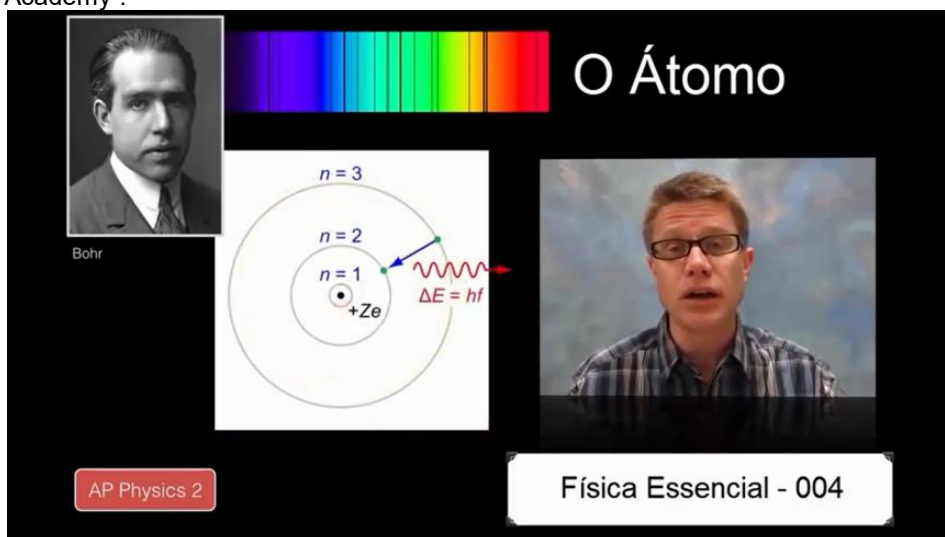
A etapa finaliza com a aplicação de um questionário contendo questões sobre o átomo de Bohr, disponível no **APÊNDICE D** da dissertação.

Figura 17 - Recorte do Vídeo: “Tudo se Transforma, História da Química, História dos Modelos Atômicos”.



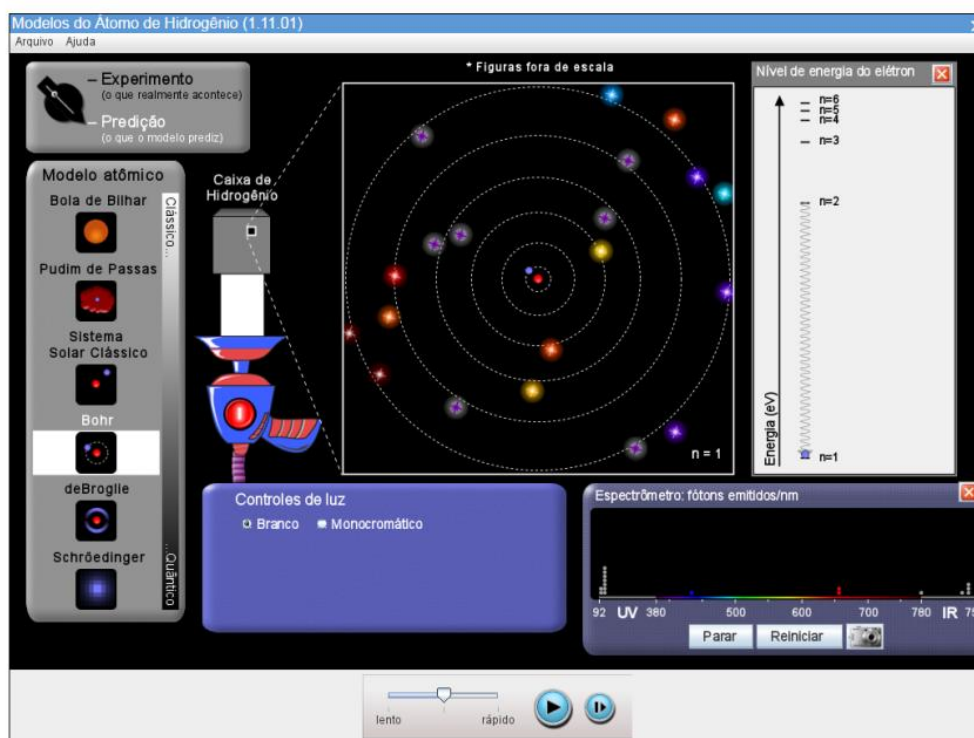
Fonte: Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=58xkET9F7MY>. Acessado em: 30 de Jun de 2020 às 17h00.

Figura 18 - Recorte do Vídeo: “O átomo de Bohr | Estrutura eletrônica de átomos | Química | Khan Academy”.



Fonte: Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=E-9eRrg5oy4>. Acessado em: 30 de Jun de 2020 às 17h00.

Figura 19 - Simulador Phet: Modelos do Átomo de Hidrogênio.



Fonte: Disponível em: <https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/hydrogen-atom/latest/hydrogen-atom.html?simulation=hydrogen-atom&locale=pt_BR>. Acessado em: 30 de Jun de 2020 às 17h00.

Quadro 5 – Resumo da 4ª etapa da UEPS.

4ª AULA		“O ENSINO DE FÍSICA MODERNA ATRAVÉS DAS CIÊNCIAS FORENSES”	
50 MINUTOS		Objetivo Geral: Apresentar aos alunos a evolução dos modelos atômicos, com foco no modelo atômico de Bohr.	
ORGANIZAÇÃO		METODOLOGIA	INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS
1º Momento	15 minutos Vídeo 03	Apresentar aos alunos o vídeo 03, somente os primeiros 11 minutos e 07 segundos, intitulado “Tudo se Transforma, História da Química, História dos Modelos Atômicos”, disponível em: < https://www.youtube.com/watch?v=58xkET9F7MY >.	Não cabe.
2º Momento	10 minutos Vídeo 04	Apresentar aos alunos o vídeo 04, com duração de 06 minutos e 12 segundos,	Não cabe.

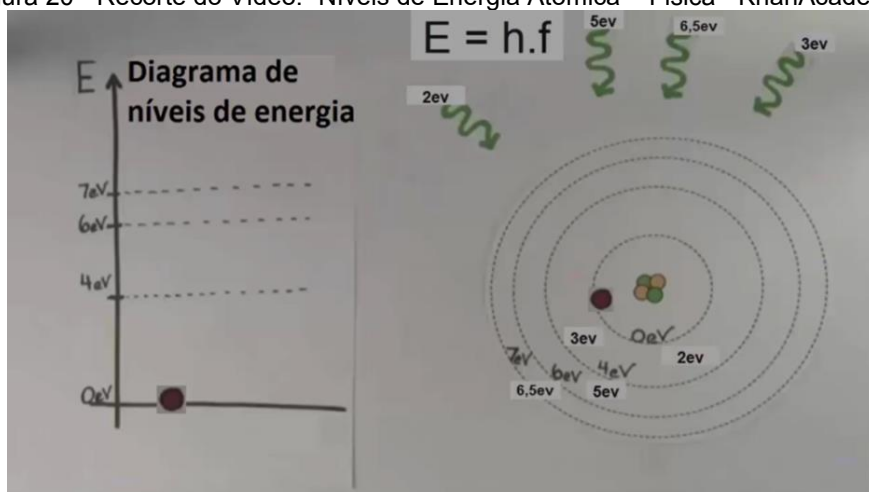
m e n t o		intitulado “O átomo de Bohr/ Estrutura eletrônica de átomos/ Química/ Khan Academy”, disponível em: < https://www.youtube.com/watch?v=E-9eRrg5oy4 >.	
3º M o m e n t o	15 minutos Simulador 01	O professor solicitará que os alunos interajam com o simulador 01 sobre modelos atômicos, disponível em: < https://phet.colorado.edu/sims/cheerpi/hydrogen-atom/latest/hydrogen-atom.html?simulation=hydrogen-atom&locale=pt_BR >.	Não cabe.
4º M o m e n t o	20 minutos Questões	O professor disponibilizará um formulário, para ser respondido pelos alunos, contendo questões sobre o conteúdo apresentado até o momento da sequência.	Responder as questões do Formulário disponível no APÊNDICE D .

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.5 5º Passo – Aprofundando os conhecimentos

Aula 5: Nesta etapa da SD o Professor vai buscar retomar os conceitos que foram estudados nas aulas anteriores pelos alunos, promovendo um aprofundamento, a um nível um pouco mais complexo, dos conteúdos apresentados nas etapas anteriores. Para isso, será apresentado inicialmente aos alunos o vídeo (Figura 20) intitulado “Níveis de Energia Atômica|Física|Khan Academy”, disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=pAVnxDz_d0g>, com duração de 08 minutos e 22 segundos, sobre transições eletrônicas e níveis de energia, onde deve ser dada ênfase aos processos de absorção e emissão de energia, bem como ao papel dos fótons.

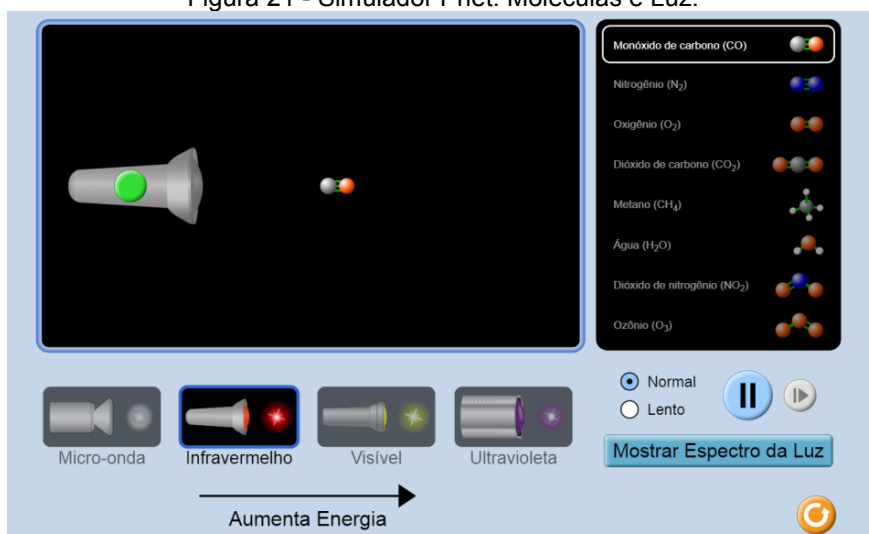
Figura 20 - Recorte do Vídeo: “Níveis de Energia Atômica – Física - KhanAcademy”.



Fonte: Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=pAVnxDz_d0g>. Acessado em: 30 de Jun de 2020 às 17h00.

Após a apresentação do vídeo, o professor orienta os alunos a interagirem com um simulador computacional (Figura 21), disponível em: <https://phet.colorado.edu/sims/html/molecules-and-light/latest/molecules-and-light_pt_BR.html>, onde eles podem observar a interação luz-matéria entre algumas moléculas e luzes de frequências distintas. Esta etapa é concluída com a aplicação de um questionário abordando a utilização do simulador, disponível no **APÊNDICE E** da dissertação. Esta etapa deve ser realizada em uma hora/aula.

Figura 21 - Simulador Phet: Moléculas e Luz.



Fonte: Disponível em: <https://phet.colorado.edu/sims/html/molecules-and-light/latest/molecules-and-light_pt_BR.html>. Acessado em: 30 de Jun de 2020 às 17h00.

Quadro 6 – Resumo da 5ª etapa da UEPS.

5ª AULA		“O ENSINO DE FÍSICA MODERNA ATRAVÉS DAS CIÊNCIAS FORENSES”	
50 MINUTOS		Objetivo Geral: Apresentar aos alunos uma nova situação-problema, em um nível mais complexo, trazendo o tema das transições eletrônicas e níveis de energia, enfatizando os processos de absorção e emissão de energia, bem como o papel dos fótons.	
ORGANIZAÇÃO		METODOLOGIA	INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS
1º Momento	10 minutos	O professor faz uma pequena recapitulação dos conceitos apresentados nas aulas anteriores.	Não cabe.
2º Momento	10 minutos Vídeo 05	Apresentar aos alunos o vídeo 05, com duração de 08 minutos e 22 segundos, intitulado “Níveis de Energia Atômica Física Khan Academy”, disponível em: < https://www.youtube.com/watch?v=pAVnxDz_d0g >.	Não cabe.
3º Momento	30 minutos Simulador 02	O professor solicitará que os alunos interajam com o simulador disponível em: < https://phet.colorado.edu/sims/html/molecules-and-light/latest/molecules-and-light_pt_BR.html >.	Responder a questão sobre o simulador 02 (APÊNDICE E)

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.6 6º Passo – Diferenciação Progressiva e Reconciliação Integradora

Aula 6: Tendo como objetivo a promoção dos processos de reconciliação integrativa e da diferenciação progressiva, nesta aula o professor retomará a apresentação dos conceitos estudados nas aulas anteriores. Fará a exibição de um vídeo (Figura 22), com duração de 05 minutos e 48 segundos, sobre os fenômenos da Luminescência, nos casos de Fluorescência e Fosforescência, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=E7myRTmV_Pk>.

Na sequência, o professor apresenta para os alunos outro vídeo (Figura 23), com duração de 06 minutos e 02 segundos, sobre o fenômeno físico envolvido no processo de iluminação das lâmpadas fluorescentes, disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=BxsPIPrUID8>>.

Já o fenômeno de *quimioluminescência*¹⁵ será apresentado pelo professor com a exibição de dois trechos do seriado CSI, onde o fenômeno foi usado para detecção de sangue num objeto utilizado num crime, na ordem: Vídeo 08 (Figura 24), com duração de 01 minuto e 02 segundos, disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=g9UYZYTteP4>>; e o Vídeo 09 (Figura 25), com duração de 29 segundos, disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=fozXV3xMQ-w>>. Deve ser feito pelo professor a associação do fenômeno visto com as ciências forenses, pois são amplamente observados nos laboratórios de criminalística e assistidos nos seriados de TV sobre investigação criminal.

Após a exibição dos vídeos, solicitar aos alunos que respondam a questão disponível no **APÊNDICE F** da dissertação. Esta etapa deve ser realizada em uma hora/aula.

Figura 22 - Simulador Phet: Moléculas e Luz.



Fonte: Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=E7myRTmV_Pk>. Acessado em: 30 de Jun de 2020 às 17h00.

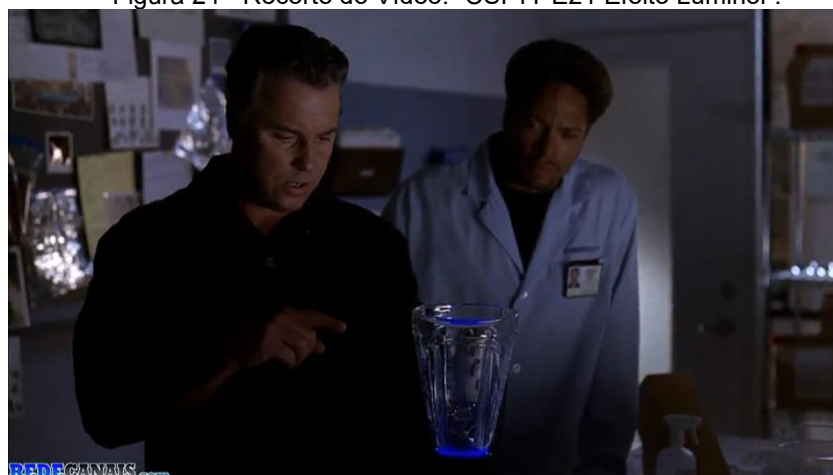
¹⁵ A quimioluminescência consiste na produção de luz a partir de uma reação química. Disponível em: <https://www.scienceinschool.org/pt-pt/article/2011/chemiluminescence-pt-pt/>. Acessado em: 02 de Fev. de 2022.

Figura 23 - Recorte do Vídeo: “COMO FUNCIONA A LÂMPADA FLUORESCENTE?”.



Fonte: Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=BxsPIPrUID8>>. Acessado em: 01 de Jul de 2020 às 15h30.

Figura 24 - Recorte do Vídeo: “CSI 1T E21 Efeito Luminol”.



Fonte: Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=g9UYZYTteP4>>. Acessado em: 01 de Jul de 2020 às 15h30.

Figura 25 - Recorte do Vídeo: “CSI 3T EP15 Efeito LuminolAgain”.



Fonte: Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=fozXV3xMQ-w>>. Acessado em: 01 de Jul de 2020 às 15h30.

Quadro 7 – Resumo da 6ª etapa da UEPS.

6ª AULA		“O ENSINO DE FÍSICA MODERNA ATRAVÉS DAS CIÊNCIAS FORENSES”	
50 MINUTOS		Objetivo Geral: Retomar os conceitos apresentados nas aulas anteriores em nível mais alto de complexidade.	
ORGANIZAÇÃO		METODOLOGIA	INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS
1º Momento	20 minutos Vídeos 06 e 07	Apresentar aos alunos o Vídeo 06, intitulado “Mago da Física - Fontes de Luz: Fluorescência x Fosforescência”, disponível em: < https://www.youtube.com/watch?v=E7myRTmV_Pk > (apenas os 04 minutos e 10 segundos iniciais) e, na sequência, o Vídeo 07, com duração de 06 minutos e 02 segundos, intitulado “Como funciona a lâmpada fluorescente?”, disponível em: < https://www.youtube.com/watch?v=BxsPIPrUID8 >.	Não cabe.
2º Momento	05 minutos Vídeo 08 e 09	Apresentar aos alunos o Vídeo 08, com duração de 01 minuto e 02 segundos, intitulados “CSI 1T E21 Efeito Luminol”, disponível em < https://www.youtube.com/watch?v=g9UYZYTteP4 >, e o Vídeo 09, com duração de 29 segundos, intitulado “CSI 3T EP15 Efeito Luminol Again”, disponíveis em < https://www.youtube.com/watch?v=fozXV3xMQ-w >.	Não cabe.
3º Momento	25 minutos Questão	O professor disponibilizará um formulário para ser respondido pelos alunos com uma questão relacionada ao fenômeno de Luminescência.	Formulário disponível no APÊNDICE F para que seja respondido pelos alunos.

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.7 7º Passo – Avaliação somativa individual e Avaliação da UEPS

Aula 7: O professor deve informar os alunos previamente da avaliação individual de aprendizagem, pós-teste, que será aplicada nesse momento da sequência. O teste final deverá ser resolvido individualmente e sem consulta. As questões presentes na avaliação individual tem o objetivo de verificar a aquisição dos conceitos, apresentados e desenvolvidos nas etapas anteriores da sequência, sobre o modelo atômico de Bohr, níveis de energia, transições eletrônicas e quantização da energia, associado às ciências forenses, num contexto de investigação criminal. A avaliação individual encontra-se disponível no **Apêndice G** da dissertação.

Como parte final da sequência, tendo como objetivo neste ponto desta etapa realizar a avaliação do UEPS pelos alunos, o professor deve realizar a aplicação do questionário, disponível no **Apêndice H** da dissertação. Esta etapa deve ser realizada em uma hora/aula.

Quadro 8 – Resumo da 7ª etapa da UEPS.

7ª AULA 50 MINUTOS		“O ENSINO DE FÍSICA MODERNA ATRAVÉS DAS CIÊNCIAS FORENSES”	
		Objetivo Geral: Avaliação individual dos alunos e da UEPS.	
ORGANIZAÇÃO		METODOLOGIA	INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS
1º M o m e n t o	35 minutos	Avaliação individual dos alunos (Pós-teste).	Aplicar a avaliação (Pós-teste) disponível no APÊNDICE G.
2º M o m e n t o	15 minutos	Avaliação individual da UEPS.	Aplicar a avaliação da UEPS disponível no Apêndice H.

Fonte: Elaborado pelo autor

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROS, F. et. al. **CIÊNCIAS FORENSES**: princípios éticos e vieses. Revista Bioética, vol.29 no.1 Brasília Jan./Mar. 2021. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/bioet/a/GYNrWJgbtfwQskD5TR7dCGN/?format=pdf&lang=pt>>. Acessado em: 20 de Fev. de 2022.

CROSS, R. **FATAL FALLS FROM A HEIGHT**: Two Case Studies. Journal of Forensic Sciences, January 2006, Vol. 51, No. 1. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1556-4029.2005.00026.x>>. Acessado em: 20 de Fev. de 2022.

CROSS, R. **FORENSIC PHYSICS 101**: Falls from a height. American Journal of Physics 76, 833 (2008). Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1119/1.2919736>>. Acessado em: 20 de Fev. de 2022.

EISBERG, R.; RESNICK, R. **FÍSICA QUÂNTICA**: Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas. 17ª Tiragem. Rio de Janeiro: Editora Campus Ltda, 1979.

FACHONE, P.; Velho, L. **CIÊNCIA FORENSE**: interseção justiça, ciência e tecnologia Tecnologia e Sociedade, vol. 3, núm. 4, enero-junio, 2007, pp. 139-161 Universidade Tecnológica Federal do Paraná Curitiba, Brasil. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/4966/496650323008.pdf>>. Acessado em: 20 de Fev. de 2022.

FILHO, K. S. O.; SARAIVA, M. F. O. **Astronomia e Astrofísica**. Departamento de Astronomia - Instituto de Física Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014. Disponível em: <<http://astro.if.ufrgs.br/livro.pdf>>. Acessado em: 13 de Fev. de 2022.

GURGEL, W. P. et al. **CÁLCULO DE VELOCIDADES EM ACIDENTES DE TRÂNSITO**: Um software para investigação em física forense. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 37, n. 4, 4305, 2015. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbef/a/4njbdVfWTZxNHZwRJYh5mwv/?lang=pt>>. Acessado em: 20 de Fev. de 2022.

HEWITT, Paul G. **FÍSICA CONCEITUAL**. 11. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011. Disponível em: <<https://docero.com.br/doc/n0nxx8>>. Acessado em: 13 de Fev. de 2022.

LONDERO, L. **O MODELO ATÔMICO DE BOHR E AS ABORDAGENS PARA SEU ENSINO NA ESCOLA MÉDIA**. GÓNDOLA, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias, ISSN: 2346-4712 Volumen 9, número 1, enero-junio de 2014, p. 13-37. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7531136.pdf>. Acessado em: 13 de Fev. de 2022.

LOPES, B. E. R. & GOMES, B. M. (2018). **DOS FILÓSOFOS GREGOS À BOHR**: UMA REVISÃO HISTÓRICA SOBRE A EVOLUÇÃO DOS MODELOS ATÔMICO. Revista Ifes Ciência, 4(2), 122-139. Disponível em: <<https://ojs.ifes.edu.br/index.php/ric/article/view/349/311>>. Acessado em: 13 de Fev. de 2022.

LOPES, C. V. M. **MODELOS ATÔMICOS NO INÍCIO DO SÉCULO XX:** da física clássica à introdução da teoria quântica. São Paulo: PUC 2009. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/78156/000822650.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acessado em: 13 de Fev. de 2022.

MARTINS, M. J. R. et. al. **Método de cálculo de velocidade de motocicleta com base na distância de projeção do motociclista.** Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 42, e20200219, 2020. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbef/a/9MG7RHHWGQqyXSXSZNfxtBd/?lang=pt>>. Acessado em: 20 de Fev. de 2022.

MOREIRA, M.A. **UNIDADES DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS – UEPS.** Aprendizagem Significativa em Revista. v. 1, n. 2, p. 43-63, 2011. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/asr/?go=artigos&idEdicao=2>>. Acesso em: 19 Jun. 2020.

NETO, O. N. **Soluções Eletrônicas para Cálculos de Velocidade em Acidentes de Trânsito.** Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 24, no. 2, Junho, 2002. Pág. 124-128. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbef/a/VkX7HF8dGs3VQj6N5FDWS8H/?format=pdf&lang=pt>>. Acessado em 20 de Fev. de 2022.

NUSSENZVEIG, H. M. **CURSO DE FÍSICA BÁSICA:** Ótica, Relatividade e Física Quântica. 1ª Edição. São Paulo-SP: Editora Edgard Blucher LTDA, 1998.

OLIVEIRA, O. A.; FERNANDES, J. D. **ARQUITETURA ATÔMICA E MOLECULAR:** Evolução dos modelos atômicos de Leucipo a Rutherford. Natal (RN), EDUFRN – Editora da UFRN, 2006. Disponível em: <<https://docente.ifrn.edu.br/denilsonmaia/evolucao-dos-modelos-atomicos>>. Acessado em: 13 de Fev. de 2022.

PIRES, A. S. T.; CARVALHO, R. P. **POR DENTRO DO ÁTOMO:** física de partículas para leigos. São Paulo: Livraria da Física, 2014.

SEGATTO, B.R. **Cuidados na elaboração de laudos periciais envolvendo vítimas fatais de queda de alturas usando o Tracker.** Revista Brasileira de Criminalística, v. 8, n. 1, p. 31-34, 2019. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.15260/rbc.v0i0.00>>. Acessado em: 20 de Fev. de 2022.

SILVA, G. **O QUE É CIÊNCIA FORENSE?** Educamaisbrasil, 30 de Set. de 2020. Disponível em: <<https://www.educamaisbrasil.com.br/educacao/carreira/o-que-e-ciencia-forense>>. Acessado em 20 de Fev. de 2022.

VELHO, J.A., GEISER, G.C., & ESPINDULA, A. **CIÊNCIAS FORENSES** – uma introdução às principais áreas da Criminalística Moderna. 3ª Edição. Millennium Editora, 2017. Disponível em: <https://www.cienciasforenses.org.br/?page_id=333>. Acessado em: 20 de Fev. de 2022.

ZÚÑIGA, V. T.; MUÑETÓN, J.G. B. **Cálculo de la distancia máxima que justifica utilizar el modelo lineal en una reconstrucción de trayectoria balística**. Revista Brasileira de Criminalística, 6(3), 7-12, 2017. Disponível em: <<https://revista.rbc.org.br/index.php/rbc/article/view/183>>. Acessado em: 21 de Fev. de 2022.

ANEXO I

SÃO OSSOS HUMANOS OU NÃO?

Mais um dia de trabalho que parecia tranquilo, mais eis que ao anoitecer, a equipe de peritos criminais que se encontrava de serviço na base do Departamento de Criminalística, é acionada pelo centro integrado operacional de defesa social – CIODES para uma ocorrência numa certa região da Grande Vitória. Durante o deslocamento, a equipe de peritos foi recebendo as informações existentes sobre a ocorrência através do CIODES, que informou tratar-se de um encontro de alguns pedaços de ossos, semelhantes a ossos humanos num terreno baldio.

Quando a equipe chegou ao local informado pela central, já tinham policiais militares preservando a cenário. Iniciando os trabalhos, os peritos perceberam que existia muito entulho de demolição, resto de obra, madeira e pedaços de pedra revirados, o que dificultava ainda mais a identificação dos vestígios de material biológico, no caso informado, ossos, pois se confundiam com o entulho, além da pouquíssima luminosidade do terreno.

Para poderem conseguir visualizar e diferenciar os fragmentos de ossos de outros materiais presentes no local, os peritos utilizaram-se de recursos técnicos, empregando luzes especiais que permitiram com que eles encontrassem especificamente os ossos presentes no local. Após recolherem os vestígios encontrados, os peritos levaram estes materiais para serem periciados em outros laboratórios para se determinar se são ossos humanos ou não.

ANEXO II

DOCUMENTOS OU CÉDULAS FALSAS OU NÃO?

Infelizmente em nossa sociedade somos ainda surpreendidos por inúmeros casos em que criminosos utilizam-se de fraudes em documentos, como falsificação de cédulas de identidade, cadastros de pessoa física, passaportes, carteiras funcionais e certidões.

Os peritos criminais, responsáveis pela análise dos vestígios deixados quando um crime é cometido, receberam no laboratório de documentoscopia forense carteira de identidade e algumas cédulas de reais apreendidas pela polícia numa operação na residência de uma pessoa acusada de realizar fraudes no comércio usando-se esses materiais suspeitos de serem falsificados.

Os documentos de identidade, bem como as cédulas apreendidas, foram submetidos pelos peritos criminais a luzes de comprimento de onda específico, que permitirá que eles possam visualizar, ou não, os itens de segurança presentes em documentos originais.