



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
GRADUAÇÃO EM FÍSICA

MATHEUS FELIPE SILVA CUNHA

ESTUDO DA PEROVSKITA HÍBRIDA $(\text{PEA})_2\text{PbI}_4$

Fortaleza - CE

2026

MATHEUS FELIPE SILVA CUNHA

ESTUDO DA PEROVSKITA HÍBRIDA $(\text{PEA})_2\text{PbI}_4$

Monografia de Bacharelado apresentada à
Coordenação da Graduação do Curso de Física,
da Universidade Federal do Ceará, como
requisito parcial para a obtenção do Título de
Bacharel em Física.

Orientador: Prof. Dr. Alejandro Pedro Ayala.

FORTALEZA

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C979e Cunha, Matheus Felipe Silva.
Estudo da perovskita híbrida (PEA)₂PbI₄ / Matheus Felipe Silva Cunha. – 2026.
27 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Curso de Física, Fortaleza, 2026.

Orientação: Prof. Dr. Alejandro Pedro Ayala.

1. Semicondutores. 2. Perovskitas. 3. Luminescência. I. Título.

CDD 530

MATHEUS FELIPE SILVA CUNHA

ESTUDO DA PEROVSKITA HÍBRIDA $(\text{PEA})_2\text{PbI}_4$

Monografia de Bacharelado apresentada à
Coordenação da Graduação do Curso de Física,
da Universidade Federal do Ceará, como
requisito parcial para a obtenção do Título de
Bacharel em Física.

Aprovada em: 22/01/2026.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Alejandro Pedro Ayala (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Carlos William de Araujo Paschoal
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Bruno Sousa Araújo
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Robson Cunha e Alexandra
Tavares.

AGRADECIMENTOS

À Instituição Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio.

A UFC por todas as infraestruturas cedidas.

Ao Prof. Dr. Alejandro Ayala, pela excelente orientação.

Aos professores participantes da banca examinadora Carlos Willian de Araujo Paschoal e Bruno Souza Araújo pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos professores entrevistados, pelo tempo concedido nas entrevistas.

Aos colegas da turma de graduação, pelas reflexões, críticas e sugestões recebidas.

Ao Rian Fernandes da Silva e Cássio César Silva Soares que forneceram os dados experimentais utilizados em meu trabalho de monografia.

Aos meus pais que sempre me estimularam a estudar.

Aos meus amigos e a minha namorada por todo apoio concedido.

Ao Joan Petrus Oliveira Lima pelos diversos ensinamentos em química, práticas de laboratório e análise de dados experimentais.

RESUMO

As perovskitas de haleto têm se destacado como materiais semicondutores promissores para aplicações optoeletrônicas, como dispositivos fotovoltaicos e LEDs. Entre elas, as perovskitas de haleto híbridas apresentam propriedades relevantes, como síntese de baixo custo, alta mobilidade de portadores de carga, elevada constante dielétrica e baixa densidade de defeitos. Neste trabalho, investigou-se a estrutura cristalina e as propriedades optoeletrônicas da perovskita híbrida bidimensional $(\text{PEA})_2\text{PbI}_4$ por meio de difração de raios X, espectroscopia de reflectância difusa e fotoluminescência, visando determinar os parâmetros estruturais do cristal, a largura da banda proibida e o espectro de luminescência. Os resultados da difração de raios X mostram que a estrutura cristalina é triclínica pertencente ao grupo espacial $P\bar{1}$. A espectroscopia de reflectância difusa permitiu utilizar o método Tauc Plot para identificar uma largura da banda proibida com energia equivalente a luz verde. A espectroscopia de luminescência demonstrou um pico de luminescência estreito no verde.

Palavras-chave: semicondutores; perovskita; luminescência.

ABSTRACT

Halide perovskites have emerged as promising semiconductor materials for optoelectronic applications, such as photovoltaic devices and light-emitting diodes (LEDs). Among them, hybrid halide perovskites exhibit relevant properties, including low-cost synthesis, high charge-carrier mobility, high dielectric constant, and low defect density. In this work, the crystalline structure and optoelectronic properties of the two-dimensional hybrid perovskite (PEA)₂PbI₄ were investigated by means of X-ray diffraction, diffuse reflectance spectroscopy, and photoluminescence, with the aim of determining the crystal structural parameters, the band gap energy, and the luminescence spectrum. The X-ray diffraction results indicate that the crystalline structure is triclinic, belonging to the $P\bar{1}$ space group. Diffuse reflectance spectroscopy enabled the use of the Tauc plot method to identify a band gap energy corresponding to green light. Photoluminescence spectroscopy revealed a narrow luminescence peak in the green region.

Keywords: semiconductors; perovskite; luminescence.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ilustração 2D de rede cristalina com 5 exemplos de vetores primitivos da rede.....	15
Figura 2 - Forma padrão de Perovskita ABX_3	16
Figura 3 - Visão geral de vários tipos de Perovskitas de Haletos.....	17
Figura 4 - Forma padrão de Perovskita ABX_3	18
Figura 5 - Raios X incidindo nos planos cristalinos	19
Figura 6 - Célula unitária da perovskita $(PEA)_2PbI_4$	22
Figura 7 - Bandgap da $(PEA)_2PbI_4$ pelo método Tauc Plot.....	23
Figura 8 - Luminescência da $(PEA)_2PbI_4$ em relação ao comprimento.....	24

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

R	Reflectância
F(R)	Função Kubelka Munk da Reflectância.
DRS	Espectroscopia de Reflectância Difusa
DRX	Difração de Raios X
UV-Vis	Espectroscopia Ultravioleta Visível

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem.
α	Ângulo entre vetores de rede a e b .
β	Ângulo entre vetores de rede a e c .
γ	Ângulo entre vetores de rede c e b .
nm	Sufixo para algo medido em nanômetros.
eV	Sufixo para energia medida em elétron-volts.
u.a	Unidades Arbitrárias
K	Coefficiente de Absorção Kubelka Munk
S	Coefficiente de espalhamento Kubelka Munk

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	FUNDAMENTOS	15
2.1	Definição de Perovskita	15
2.1.1	<i>O que é um Cristal?</i>	15
2.1.2	<i>O que é uma Perovskita?</i>	16
2.2	Difração de Raios X	18
2.3	Espectroscopia UV Visível	19
2.3.1	<i>Kubelka Munk</i>	19
2.3.2	<i>Tauc Plot</i>	20
3	METODOLOGIA	20
3.1	Síntese	20
3.2	Difração de Raios X	21
3.3	Espectro UV-VIS	21
3.4	Espectro de Luminescência	21
4	RESULTADOS	21
4.1	Difração de Raios X	20
4.2	Band Gap e Luminescência	22
5	CONCLUSÃO	24
	REFERÊNCIAS	25

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas duas décadas, as perovskitas de haleto têm se consolidado como uma das classes mais promissoras de materiais semicondutores para aplicações em dispositivos fotovoltaicos e emissores de luz. Dentre esses compostos, destacam-se as perovskitas de haleto híbridas, caracterizadas pela presença simultânea de componentes orgânicos e inorgânicos em sua estrutura cristalina. Essa combinação confere ao material propriedades físico-químicas peculiares, as quais têm atraído significativa atenção da comunidade científica.

Diversas características contribuem para o notável interesse nesses materiais. Destacam-se: a facilidade de síntese por meio de métodos de baixo custo, a elevada mobilidade de portadores de carga, a constante dielétrica alta e a baixa densidade de defeitos. Essas propriedades tornam as perovskitas híbridas excelentes candidatas para aplicações em células solares, diodos emissores de luz (LEDs), lasers, fotodetectores, sensores e outros dispositivos optoeletrônicos.

Este trabalho tem como objetivo identificar a estrutura cristalina, o *bandgap* e obter o espectro de luminescência da perovskita híbrida $(\text{PEA})_2\text{PbI}_4$ a temperatura ambiente.

2 FUNDAMENTOS

2.1 Definição de Perovskita

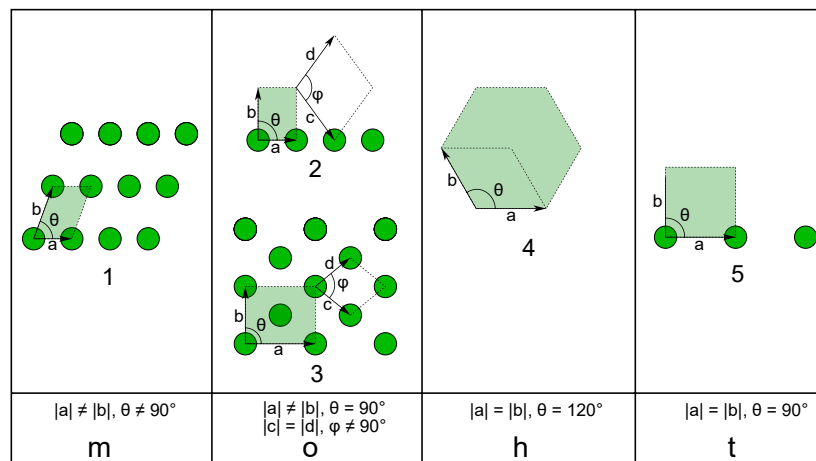
2.1.1 O que é um Cristal?

Um cristal pode ser definido como um arranjo periódico e ordenado de átomos. Em um cristal ideal, ao observarmos sua estrutura em escala atômica, perceberemos que o padrão de organização dos átomos se repete indefinidamente no espaço. Essa periodicidade é descrita de forma mais precisa por meio do conceito de rede cristalina.

A rede cristalina é um conjunto infinito de pontos matemáticos discretos no espaço, tal que a translação de qualquer ponto por um vetor \mathbf{R} reproduz a própria rede. Esse vetor \mathbf{R} pode ser escrito como $\mathbf{R} = n_1\mathbf{a}_1 + n_2\mathbf{a}_2 + n_3\mathbf{a}_3$.

Onde \mathbf{a}_1 , \mathbf{a}_2 e \mathbf{a}_3 são chamados de vetores primitivos da rede, e n_1 , n_2 e n_3 são qualquer número inteiro. Diferentes escolhas de vetores primitivos descrevem a mesma rede cristalina, como ilustrado na Figura 1, embora sistemas cristalinos distintos estejam associados a diferentes simetrias da rede. Ao se associar a cada ponto da rede um conjunto específico de átomos, denominado base ou motivo, obtém-se a estrutura do cristal físico ideal.

Figura 1- Ilustração 2D de rede cristalina com 5 exemplos de vetores primitivos da rede.



Fonte: Wikimedia Commons [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2d-bra_vais.svg] (2008)

A ênfase no termo “ideal” se deve ao fato de que cristais reais não apresentam periodicidade perfeita. Defeitos estruturais são inevitáveis, como vacâncias (ausência de

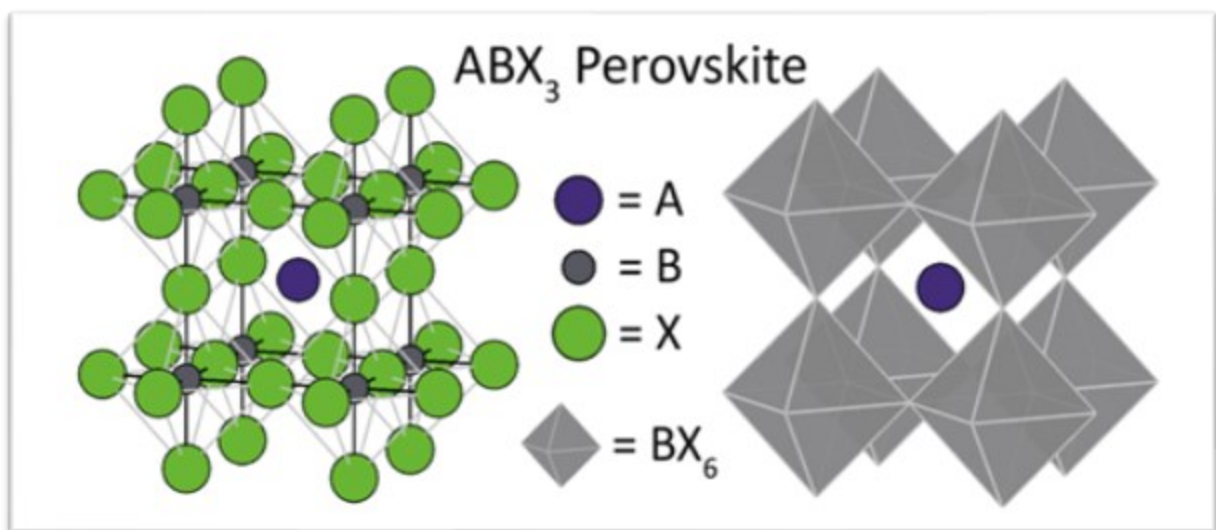
átomos em posições da rede) ou impurezas, que quebram a simetria translacional do cristal ideal.

2.1.2 O que é uma Perovskita?

Uma perovskita é uma classe de materiais cristalinos caracterizada, em sua forma ideal, pela estequiometria geral ABX_3 . Nessa estrutura, o cátion B ocupa o centro de um octaedro formado por seis ânions X, enquanto o cátion A, geralmente maior, ocupa os sítios entre os octaedros, estando coordenado por oito desses octaedros de vértice compartilhado, como mostra a Figura 2.

Na perovskita cúbica ideal, essa organização resulta em uma estrutura altamente simétrica, pertencente ao grupo espacial $Pm\bar{3}m$, característico do sistema cristalino cúbico. Nesse caso, os octaedros BX_6 compartilham vértices com seis octaedros vizinhos, formando uma rede tridimensional

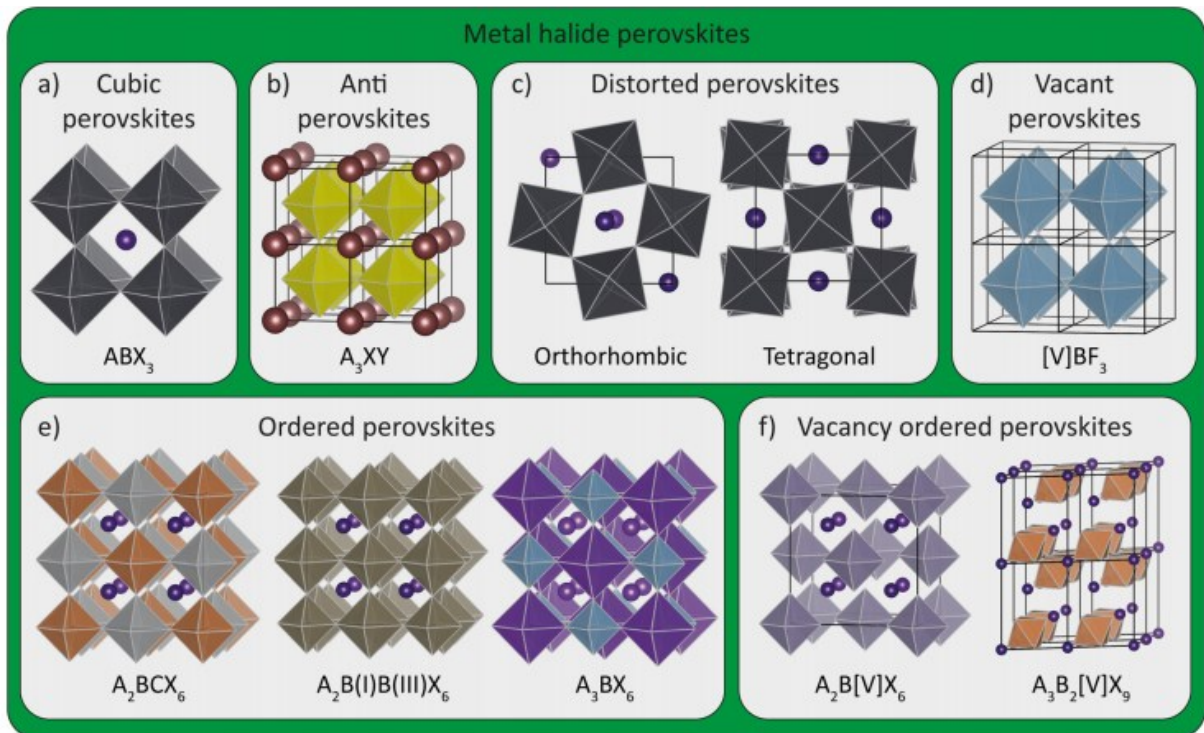
Figura 2 - Forma padrão de perovskita ABX_3



Fonte: Akkerman; Liberato (2020)

Entretanto, muitas das perovskitas reais apresentam desvios em relação a essa estrutura ideal. Tais distorções podem incluir rotações e inclinações dos octaedros, ou mesmo octaedros com cátions B diferentes e alternantes, entre outras possibilidades, como mostra a Figura 3.

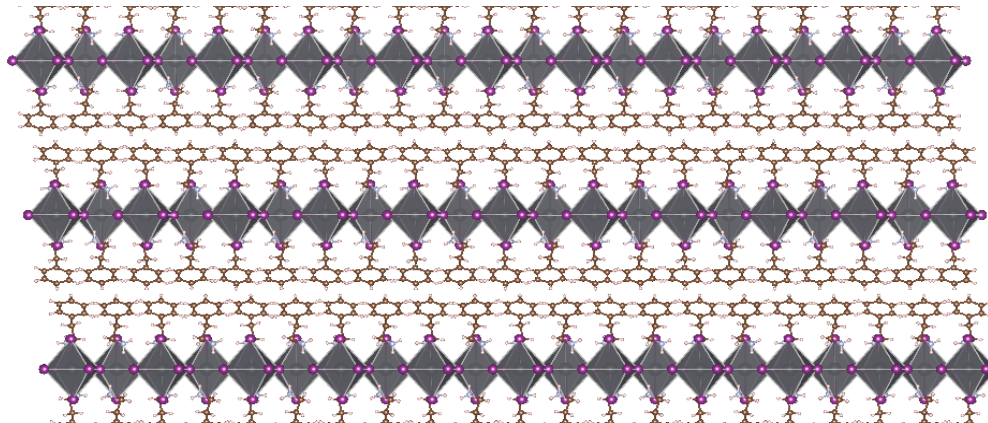
Figura 3- Visão geral de vários tipos de perovskitas de haleto.



Fonte: Akkerman; Liberato (2020)

Além disso, quando o cátion A é suficientemente grande, como no caso de moléculas orgânicas volumosas, pode se dar origem a perovskitas de dimensionalidade reduzida. Nessas perovskitas bidimensionais, os octaedros BX_6 compartilham vértices apenas no plano, formando camadas bidimensionais separadas pelo espaçador orgânico. O cristal resultante consiste, portanto, no empilhamento periódico dessas camadas 2D, como mostrado na Figura 4. Embora a categorização dessas estruturas bidimensionais como perovskitas ainda seja debatida na literatura, neste trabalho elas serão tratadas como perovskitas 2D.

Figura 4 - Estrutura bidimensional da perovskita (PEA)₂PbI₄.



Fonte: Próprio Autor (2026)

2.2 Difração de Raio X

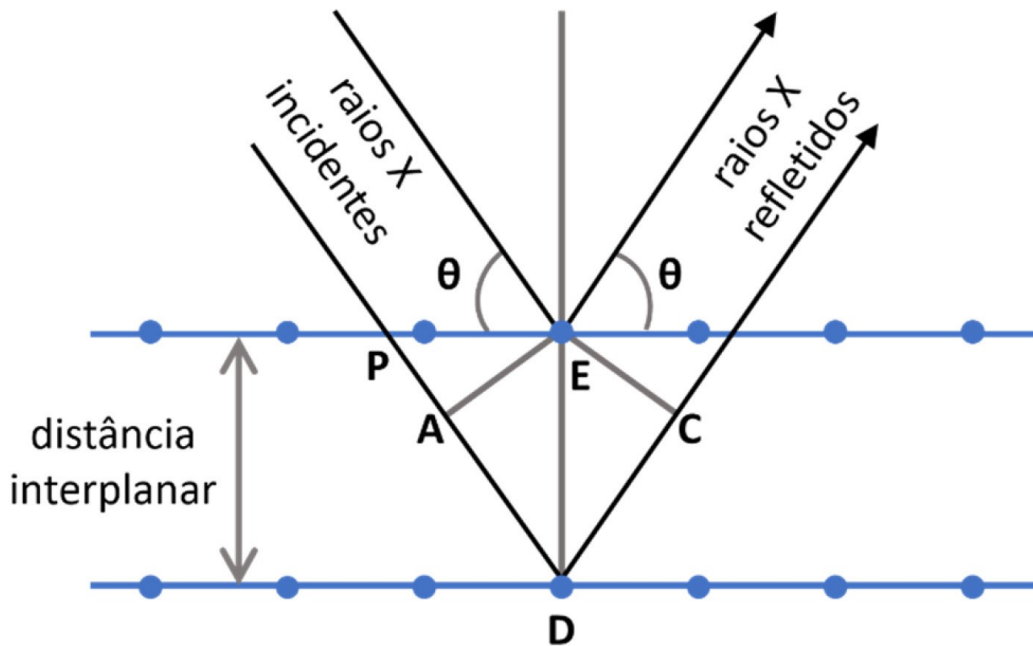
A difração de raios X (DRX) é uma técnica experimental utilizada para investigar a estrutura cristalina dos materiais. Ela se baseia na interação de um feixe de raios X com os átomos dispostos periodicamente em um cristal.

O fenômeno da difração ocorre quando uma onda interage com uma estrutura cujas dimensões são da ordem do seu comprimento de onda. No caso dos cristais, os planos cristalinos atuam como redes de difração tridimensionais. De acordo com o princípio de Huygens–Fresnel, cada ponto da frente de onda espalhada pelos átomos pode ser tratado como uma nova fonte secundária, e a interferência entre essas ondas espalhadas dá origem a máximos de intensidade em direções específicas.

A condição para a ocorrência desses máximos em um cristal é descrita pela Lei de Bragg, que relaciona o comprimento de onda da radiação incidente, o ângulo de incidência da radiação e a distância entre os planos cristalinos. A Figura 5 mostra como raios X incidentes em planos cristalinos diferentes percorrem caminhos óticos diferentes, tal diferença de caminho ótico irá ocasionar em interferência.

A técnica é viável porque os raios X possuem comprimentos de onda da ordem de 10^{-10} m, compatíveis com as distâncias típicas entre planos cristalinos, correspondendo a energias da ordem de 12,3 keV.

Figura 5- Raios X incidindo nos planos cristalinos.



Fonte: MACHADO, Rafael P.; DORGUETTO, Antônio C (2025)

2.3 Espectroscopia UV Visível

Uma técnica muito útil para identificar o bandgap de um material é a *espectroscopia de refletância difusa (DRS) no UV-VIS*, tal técnica consiste em incidir luz predominantemente do visível e do ultravioleta, de 200 a 800 nanômetros, sobre materiais que promovem refletância difusa. A reflexão difusa ocorre quando o feixe de luz que incide sobre uma superfície é refletido em várias direções, ou seja, quando o ângulo de reflexão não depende do ângulo de incidência. Para analisar cristais com essa técnica é necessário que eles sejam pós, pois assim cada grão terá uma angulação em relação a superfície formada pelo pó, de forma que quando o feixe de luz for refletido por cada grão, a reflexão feita por toda a amostra em pó será difusa.

2.3.1 Kubelka Munk

O modelo de Kubelka Munk pode ser aplicado à análise de semicondutores permitindo a estimativa do band gap. Tal modelo diz que quando uma amostra é suficientemente esfeérica em relação a direção do feixe de luz incidente, a relação abaixo é uma boa aproximação.

$$F(R) = (1 - R)^2 / 2R = \frac{K}{S}$$

A função $F(R)$ é conhecida como função Kubelka Munk, que dá a relação entre a reflectância e os coeficientes de absorção e espalhamento.

2.3.2 Tauc Plot

Quando a energia da radiação incidente é próxima à energia do bandgap a função Kubelka Munk respeita a equação abaixo.

$$[F(R) \cdot hf]^{\frac{1}{p}} = B (hf - E_g)$$

O expoente p assume o valor de $1/2$ para transições diretas permitidas e 2 para transições indiretas. Dessa forma o gráfico de $[F(R) \cdot hf]^{\frac{1}{p}}$ é próximo de uma reta para energias próximas ao do bandgap. Identificando visualmente o crescimento linear no gráfico e realizando um ajuste linear, o ponto em que a reta encosta o eixo das abcissas é o bandgap do material pelo método Taucplot.

3 METODOLOGIA

3.1 Síntese

Para a síntese do cristal $(PEA)_2PbI_4$, foram utilizados 99,63 mg de iodeto de fenetilamônio ($PEA \cdot I$, Sigma Aldrich) e 44,00 mg de óxido de chumbo (PbO , Sigma Aldrich), os quais foram adicionados em um béquer de vidro. Em seguida, foram adicionados 4 mL de ácido iodídrico à solução.

O sistema foi mantido sob agitação e aquecimento em uma chapa aquecedora, utilizando uma barra magnética de agitação. A solução foi mantida a aproximadamente $70 \text{ }^\circ\text{C}$ sob agitação moderada por 10 minutos até a obtenção de uma solução homogênea de coloração laranja.

Logo após a remoção do béquer da fonte de aquecimento, observou-se a formação inicial de pequenos cristais na solução. O sistema foi então deixado em repouso para cristalização por evaporação lenta, à temperatura ambiente ($25 \text{ }^\circ\text{C}$), por aproximadamente 24

horas. Durante esse período, o béquer foi parcialmente vedado com parafilme contendo pequenos orifícios, de modo a permitir a evaporação controlada do solvente.

3.2 Difração de Raio X

Foi realizada a difração de Raio X de monocristal em uma semente monocristalina da amostra com o intuito de obter sua estrutura. A medida foi feita a temperatura ambiente em um difratômetro modelo D8 Venture da Bruker equipado com uma fonte de molibdênio $K\alpha$ com comprimento de onda 0,71073 Å. A estrutura cristalina do composto foi visualizada com o auxílio do software VESTA a partir de um arquivo CIF.

3.3 Espectro UV-VIS

A espectroscopia de refletância difusa (DRS) na região do UV-Vis foi realizada utilizando um espectrofotômetro Shimadzu UV-2600, com o objetivo de estimar o band gap do material por meio da construção do gráfico de Tauc. Para a realização das medidas, a amostra sintetizada foi previamente macerada até a obtenção de um pó fino, de modo a satisfazer as condições requeridas para a espectroscopia de reflectância difusa. Após isso a reflectância difusa da amostra foi medida no intervalo de 200 nm até 800 nm.

3.4 Espectro de Luminescência

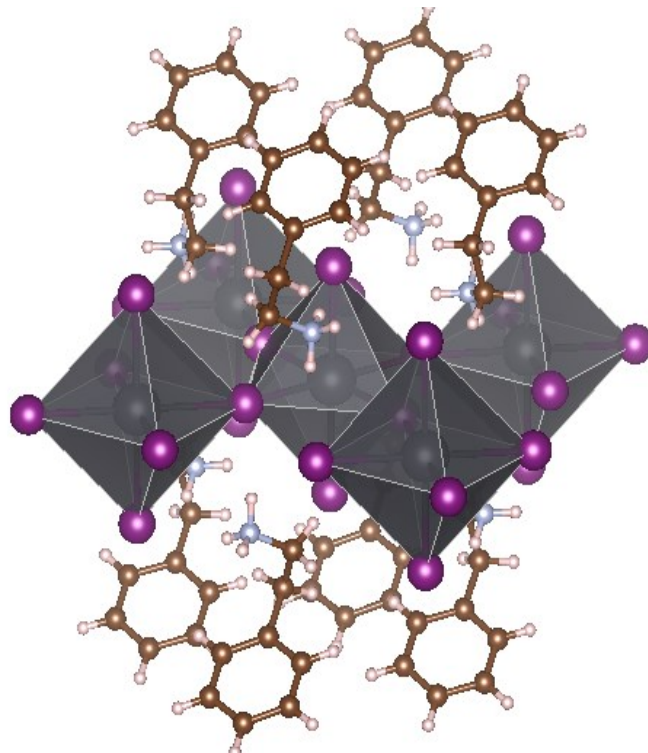
O material foi excitado a temperatura ambiente com radiação monocromática de comprimento de onda igual a 405 nm, com o objetivo de obter seu espectro de luminescência. A escolha desse comprimento de onda se deve ao fato de o band gap óptico ter sido estimado em aproximadamente 538 nm, assim foi escolhido uma fonte de luz de comprimento de onda inferior a 538 nm, pois para que haja luminescência, a radiação incidida deve ter energia superior a energia da luz emitida pelo material.

4 RESULTADOS

4.1 Difração de Raio X

A Figura 6 mostra a célula unitária da perovskita 2D gerada a partir do VESTA. O material cristaliza no sistema triclinico, pertencente ao grupo espacial $P\bar{1}$. Os parâmetros de rede refinados são $a = 8,7274 \pm 0,0011 \text{ \AA}$, $b = 8,7273 \pm 0,0013 \text{ \AA}$ e $c = 16,634 \pm 0,0020 \text{ \AA}$, com ângulos $\alpha = 95,215 \pm 0,020^\circ$, $\beta = 99,745 \pm 0,030^\circ$ e $\gamma = 90,429 \pm 0,040^\circ$.

Figura 6- Célula unitária da perovskita $(\text{PEA})_2\text{PbI}_4$.



Fonte: Próprio Autor (2026)

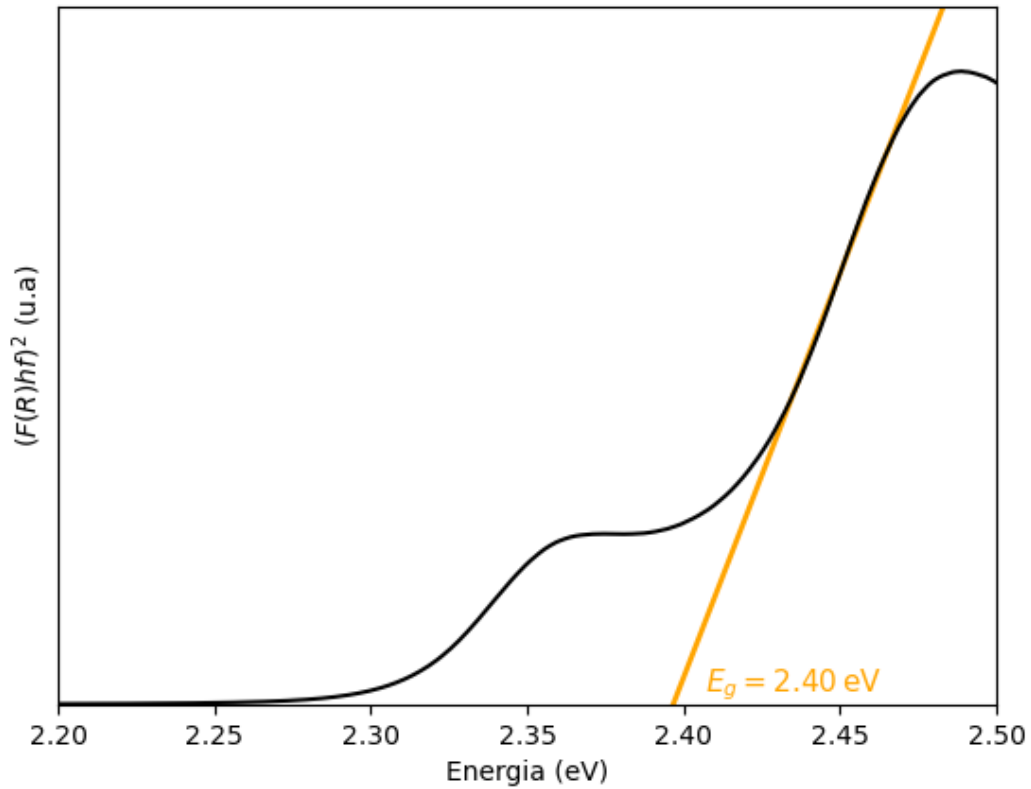
4.2 Band Gap e Luminescência

O bandgap do material foi estimado por meio do método de Tauc Plot, conforme apresentado na Figura 7. A análise resultou em um valor de band gap de 2,40 eV, correspondente a um comprimento de onda de aproximadamente 516 nm.

O espectro de fotoluminescência do $(\text{PEA})_2\text{PbI}_4$, mostrado no Figura 8, apresenta um pico de emissão intenso centrado em 526 nm. Observa-se ainda a presença de um segundo pico adjacente ao pico principal. Fang e Hong-Hua estudaram também a $(\text{PEA})_2\text{PbI}_4$ e atribuíram este segundo pico à recombinação de biéxcitons, isto é, estados ligados formados

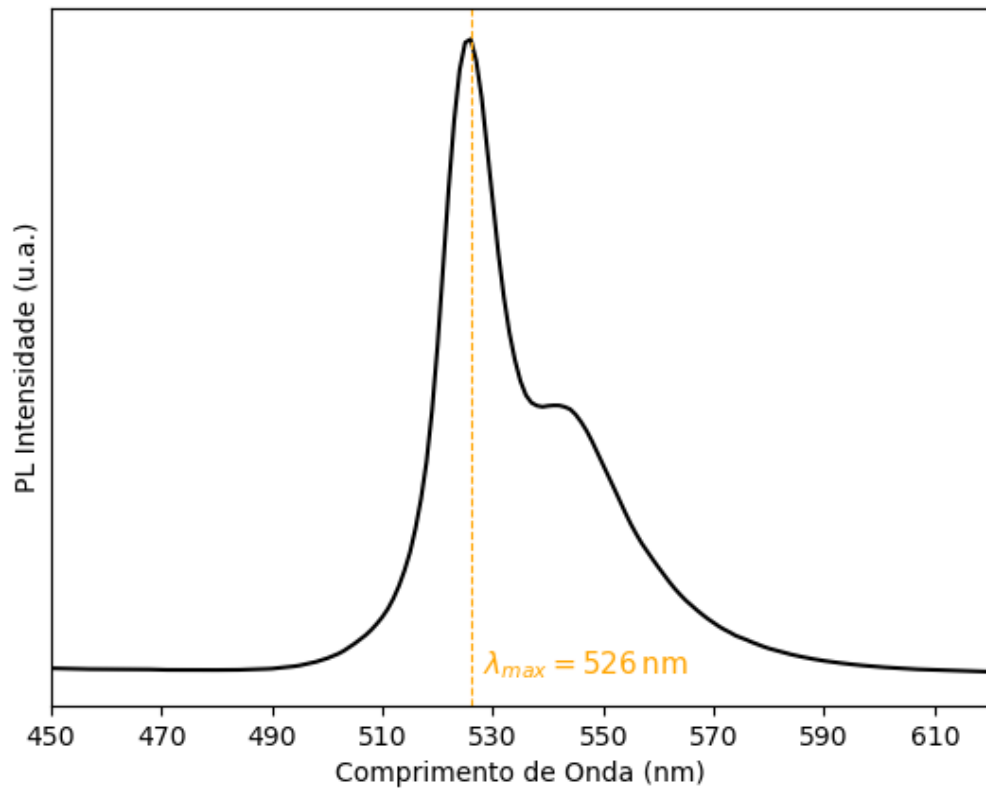
por dois éxcitons, que emitem em energias ligeiramente menores do que as associadas aos éxcitons simples.

Figura 7 - Bandgap da $(\text{PEA})_2\text{PbI}_4$ pelo método Tauc Plot.



Fonte: Próprio Autor

Figura 8 - Luminescência da $(\text{PEA})_2\text{PbI}_4$ em relação ao comprimento de onda.



Fonte: Próprio Autor

5 CONCLUSÃO

A síntese do cristal $(\text{PEA})_2\text{PbI}_4$ foi realizada com sucesso por evaporação lenta, possibilitando a obtenção de amostras adequadas para caracterização estrutural. A estrutura cristalina foi determinada por difração de raios X em monocristal, mostrando ser um material 2D de simetria P1.

A caracterização óptica por espectroscopia de refletância difusa no UV-Vis, analisada pelo método de Kubelka–Munk e pelo gráfico de Tauc, resultou em um bandgap óptico de 2,31 eV. A excitação com luz monocromática de 405 nm permitiu a obtenção do espectro de fotoluminescência, que apresentou um pico principal em 526 nm. A presença de um ombro no espectro foi atribuída à recombinação de biéxcitons.

REFERÊNCIAS

AKKERMAN, Quinten A.; MANNA, Liberato. What Defines a Halide Perovskite? **ACS Energy Letters**, v. 5, n. 2, p. 604-610, 2020. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1021/acsenergylett.0c00039>. Acesso em: 12 jan. 2026.

ASHCROFT, Neil W.; MERMIN, N. David. **Solid state physics**. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1976. Acesso em: 15 jan. 2026.

BLITZ, Jonathan P. Diffuse Reflectance Spectroscopy. In: MIRABELLA, Francis M. (Ed.). **Modern Techniques in Applied Molecular Spectroscopy**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1998. p. 185-219. (Techniques in Analytical Chemistry Series). Acesso em: 16 jan. 2026.

CHIRVONY, Vladimir S. *et al.* Inhomogeneous Broadening of Photoluminescence Spectra and Kinetics of Nanometer-Thick (Phenethylammonium)2PbI4 Perovskite Thin Films: Implications for Optoelectronics. **ACS Applied Nano Materials**, v. 4, n. 6, p. 6170–6177, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acsanm.1c00984>. Acesso em: 17 jan. 2026.

FANG, Hong-Hua *et al.* Band-edge exciton fine structure and exciton recombination dynamics in single crystals of layered hybrid perovskites. **Advanced Functional Materials**, v. 30, n. 6, p. 1907979, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/adfm.201907979>. Acesso em: 17 jan. 2026.

KHANDARKAR, Vaishnavi; SHARMA, T. J.; MHASKE, Shivshankar. A Review on UV-Visible Spectroscopy. **International Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 3, n. 2, p. 182-192, 2025. DOI: 10.5281/zenodo.14799582. Acesso em: 15 jan. 2026.

KITTEL, Charles. **Introduction to solid state physics**. 8. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2005. Acesso em: 15 jan. 2026.

KOWAL, D. *et al.* PEA2PbI4: fast two-dimensional lead iodide perovskite scintillator with green and red emission. **Materials Today Chemistry**, v. 29, 101455, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.mtchem.2023.101455>. Acesso em: 13 jan. 2026.

KUBELKA, Paul; MUNK, Franz. An Article on Optics of Paint Layers. [Tradução de "Ein Beitrag zur Optik der Farbanstriche", originalmente publicado em: **Zeitschrift für Technische Physik**, v. 12, p. 593–601, 1931]. Acesso em: 14 jan. 2026.

LANDI JR., Salmon *et al.* Use and misuse of the Kubelka-Munk function to obtain the band gap energy from diffuse reflectance measurements. **Solid State Communications**, v. 341, 114573, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ssc.2021.114573>. Acesso em: 16 jan. 2026.

MACHADO, Rafael P.; DORGUETTO, Antônio C. Conceitos em cristalografia estrutural: uma abordagem compreensiva da lei de Bragg e do fator de estrutura. **Química Nova**, v. 48, n. 1, p. 1–7, 2025. DOI: 10.21577/0100-4042.20250064. Acesso em: 12 jan. 2026.

YIN, Jun *et al.* Modulation of Broadband Emissions in Two-Dimensional <100>-Oriented Ruddlesden–Popper Hybrid Perovskites. **ACS Energy Letters**, v. 5, n. 7, p. 2149–2155, 2020. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1021/acsenergylett.0c01047>. Acesso em: 17 jan. 2026.