

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
BACHARELADO EM QUÍMICA

João Otávio Fernandes

**Determinação dos fatores responsáveis pela degradação dos complexos de
cobre na espectroscopia Raman**

Juiz de Fora

2026

João Otávio Fernandes

**Determinação dos fatores responsáveis pela degradação dos complexos de
cobre na espectroscopia Raman**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada
ao Bacharelado em Química da Universidade
Federal de Juiz de Fora como requisito parcial
à obtenção do título de Bacharel em Química.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Fernandes Souza

Juiz de Fora

2026

Ficha catalográfica elaborada através do Modelo Latex do CDC da UFJF
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Fernandes Rocha, João Otávio.

Determinação dos fatores responsáveis pela degradação dos complexos
de cobre na espectroscopia Raman / João Otávio Fernandes. – 2026.
23 f. : il.

Orientador: Gustavo Fernandes Souza

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Juiz de Fora,
Instituto de Ciências Exatas. Bacharelado em Química, 2026.

1. Espectroscopia vibracional. 2. Espectroscopia eletrônica. 3. Química
dos sólidos. I. Souza, Gustavo Fernandes II. Título.

João Otávio Fernandes

**Determinação dos fatores responsáveis pela degradação dos complexos de
cobre na espectroscopia Raman**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada
ao Bacharelado em Química da Universidade
Federal de Juiz de Fora como requisito parcial
à obtenção do título de Bacharel em Química.

Aprovada em 17 de julho de 2026

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Gustavo Fernandes Souza - Orientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Me. Paulo Henrique de Melo Toledo
Universidade Federal de Juiz de Fora

RESUMO

A espectroscopia Raman tem um grande valor no estudo de complexos metálicos; por meio da técnica, é possível identificar as bandas características das ligações metal-(O,S,N)ligante, que muitas vezes não são detectadas por outras técnicas. Entretanto, alguns compostos, principalmente complexos de cobre, podem sofrer degradação durante a análise. Apesar de ser um fenômeno conhecido por pesquisadores, esse não possui muitos estudos e nenhuma explicação definitiva. Uma hipótese para este acontecimento é a ativação de caminhos fotoquímicos por meio da incidência de um feixe de luz com o mesmo comprimento de onda que certas transições eletrônicas d-d do íon metálico, o que pode resultar na degradação do composto. Com isso, o trabalho tem como objetivo estudar o comportamento de complexos de cobre na espectroscopia vibracional Raman e tentar correlacionar com as transições eletrônicas por meio da espectroscopia eletrônica no UV-VIS, para determinar os fatores para a degradação e as condições para a obtenção de um espectro Raman com boa qualidade.

Palavras-chave: Espectroscopia vibracional, espectroscopia eletrônica, complexos metálicos.

ABSTRACT

Raman spectroscopy is highly valuable in the study of metal complexes; this technique allows the identification of characteristic bands of metal-(O,S,N)ligand bonds, which are often not detected by other techniques. However, some compounds, mainly copper complexes, can undergo degradation during analysis. Although this phenomenon is known to researchers, it lacks extensive studies and a definitive explanation. One hypothesis for this occurrence is the activation of photochemical pathways by the incidence of a beam with the same wavelength as certain d-d electronic transitions of the metal ion, which can result in the degradation of the compound. Therefore, this work aims to study the behavior of copper complexes in Raman vibrational spectroscopy and to correlate this with electronic transitions using UV-VIS electronic spectroscopy, in order to determine the factors for degradation and the conditions for obtaining a high-quality Raman spectrum.

Keywords: Vibrational spectroscopy; electronic spectroscopy; metallic complex.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Diagrama de transição de estado - Espalhamento elástico e inelástico . . .	8
Figura 2 - Espectro Raman do complexo $[CuBr(DCQ)(PPh_3)]$ em $\lambda_0 = 532nm$. . .	14
Figura 3 - Espectro Raman do complexo $[CuCl(DCQ)(PPh_3)]$ em $\lambda_0 = 532nm$. . .	15
Figura 4 - Espectro Raman do complexo $[CuCl(DCQ)]$ em $\lambda_0 = 532nm$	15
Figura 5 - Comportamento anômalo ($H_2AcPh-CuCl_2$) - Espectro UV-VIS.	16
Figura 6 - Comportamento anômalo ($H_2AcPh-CuCl_2$) - Espectro Raman, $\lambda_0 = 785nm$. . .	16
Figura 7 - Comportamento anômalo ($H_2AcPh-CuCl_2$) - Spot de degradação.	17
Figura 8 - Comportamento anômalo ($[CuBr(DCQ)]_n$) - Espectro UV-VIS.	17
Figura 9 - Comportamento anômalo ($[CuBr(DCQ)]_n$) - Espectro Raman, $\lambda_0 = 532nm$. . .	18
Figura 10 - Comportamento anômalo ($[CuBr(DCQ)]_n$) - Spot de degradação.	18
Figura 11 - Espectro de UV-Vis do complexo $[Cu(KTZ)(FLZ)]$	19
Figura 12 - Espectro de UV-Vis do complexo $[Cu(KTZ)_2(Ac)_2] \cdot H_2O$	19
Figura 13 - Espectro de UV-Vis do complexo $[Cu(NO_3)_2(ITZ)_2]$	20
Figura 14 - Espectro de UV-Vis do complexo $[Cu(FLZ)_2](NO_3)_2$	20
Figura 15 - Espectro de UV-Vis do complexo $[Cu(H_1)(Ac)_2]$	21
Figura 16 - Espectro de UV-Vis do complexo $[Cu(H_3)(Ac)_2]$	21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Compostos obtidos	11
Tabela 2 – Relação composto e condições experimentais	13

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	OBJETIVOS	10
2.1	Objetivo Geral	10
2.2	Objetivos Específicos	10
3	METODOLOGIA	11
3.1	AMOSTRAS	11
3.2	INSTRUMENTAÇÃO	11
3.3	ESPECTROS	11
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	13
5	CONCLUSÃO	22

1 INTRODUÇÃO

O fenômeno do espalhamento Raman foi inicialmente previsto teoricamente por Smekal em 1923, entretanto, apenas em 1928 Raman conseguiu detectar o efeito de modo experimental; em 1934 foi publicado o livro sobre a teoria do efeito Raman por Placzek. Na época, os espectros obtidos consistiam na utilização da radiação em 435,8 nm de lâmpadas de arco de mercúrio para excitação do espectro e de espectrógrafos com prismas como elemento dispersor, com detecção fotográfica. (SALA, 2008)

Ao estudar o efeito de espalhamento da luz em 1928, Raman observou que ao incidir uma fonte de radiação monocromática sobre uma amostra, além da linha da radiação incidente, havia a pequena presença de feixes de luz com frequência diferente da radiação incidida sobre a amostra. Porém, havia espalhamento com o mesmo comprimento de onda em grande intensidade e, em muito menor quantidade, feixes que apresentavam o comprimento de onda alterado. Ou seja, a luz poderia interagir com a matéria de dois modos, o primeiro sendo um espalhamento elástico, onde os fótons, ao atingir a matéria, excitavam para um estado vibracional virtual e retonava ao estado fundamental com mesma energia, e o segundo um espalhamento inelástico, onde os fótons, ao atingir a matéria, a partir do estado fundamental, excitavam para um estado vibracional virtual e retorna para um estado elevado (Espalhamento Stokes), ou a partir de um estado de energia mais elevado, excitavam para um estado vibracional virtual e retorna para o estado fundamental (Espalhamento anti-Stokes), como pode ser observado na Figura 1. Esses efeitos foram denominados respectivamente como espalhamento Rayleigh e espalhamento Raman. (SALA, 2008)

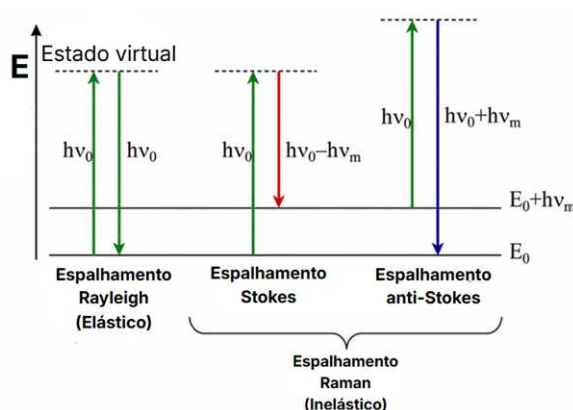


Figura 1 - Diagrama de transição de estado - Espalhamento elástico e inelástico

Atualmente, a instrumentação da técnica baseia-se na incidência de um feixe laser monocromático na amostra; a radiação espalhada pela amostra é refletida e focada por espelhos, e o espectro é analisado por um monocromador ou por um interferômetro. A diferença na análise está associada a equipamentos que utilizam a transformada de Fourier, no caso de interferômetros, ou monocromadores conectados tipicamente a um

CCD (dispositivo de carga acoplada), que se trata de um detector multicanal. O uso de lasers na técnica se mostrou imprescindível já que, devido à baixa probabilidade de ocorrência do espalhamento inelástico de fótons, uma fonte de radiação intensa irá, por consequência, resultar numa maior intensidade da radiação espalhada. Além disso, a monocromaticidade típica do laser facilita a observação da diferença de energia entre os fótons incididos e os fótons espalhados.(ATKINS; DE PAULA; 2017)

Para complexos metálicos, a espectroscopia Raman vem sendo usualmente utilizada para detecção de ligações M-(O,S,N)ligante.(NAKAMOTO, 2009) Entretanto, ao se tratar de amostras derivadas de complexos metálicos de cobre, a obtenção de espectros de alta qualidade pode se tornar problemática, se não impossível, devido à degradação de alguns dos complexos desses íons metálicos em estado sólido independentemente da intensidade do feixe utilizado. A elucidação do fenômeno por trás da decomposição se torna necessária, a fim de procurar solucionar essa dificuldade de caracterização e evitar futuras perdas, já que, apesar de ser um processo conhecido, não há referências bibliográficas que abordem o tema.

O presente projeto se baseará na hipótese de que, como a fonte de radiação usualmente se dá por lasers que abrangem algumas frequências do visível, essas frequências, por vezes, podem coincidir com transições eletrônicas d-d do sistema. Por se tratar de compostos sólidos, as bandas de transição tangem maiores faixas de comprimento de onda, assim, possivelmente ativando meios de decomposição fotoquímica do analito. Por isso, o trabalho terá como objetivo o estudo do comportamento dos complexos metálicos de cobre em fase sólida por meio da espectroscopia eletrônica no UV-VIS, juntamente com um estudo dos espectros Raman obtidos dos complexos para tentar correlacionar com as transições observadas no primeiro espectro e relacionar com os fatores de medida do espectro Raman, que serão a intensidade do feixe juntamente com seu comprimento de onda.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Determinar os fatores responsáveis pela degradação dos complexos de cobre na espectroscopia Raman

2.2 Objetivos Específicos

- Obter espectros de UV-VIS dos complexos analisados e determinar as transições d-d;
- Obter espectros Raman dos complexos em diferentes comprimentos de onda de excitação e sob diferentes condições experimentais;
- Estudar as propriedades eletrônicas e vibracionais dos complexos, correlacionando-as com a estabilidade dos materiais frente à irradiação laser.

3 METODOLOGIA

3.1 AMOSTRAS

As amostras analisadas foram cedidas pelos laboratórios da Profa. Dra. Maribel Navarro, Prof. Dr. Alexandre Cuin e Prof. Dr. Jorge Milani. Não houve nenhum tipo de tratamento prévio das amostras, sendo necessário somente a deposição sobre o devido suporte para as análises realizadas. As amostras obtidas foram compiladas na Tabela 1

Tabela 1 – Compostos obtidos

Compostos obtidos	
$[\text{CuCl}(\text{DCQ})(\text{PPh}_3)]$	$[\text{Cu}(\text{KTZ})(\text{FLZ})]$
$[\text{CuBr}(\text{DCQ})(\text{PPh}_3)]$	$[\text{Cu}(\text{H}_1)_2\text{NO}_3]$
$[\text{CuCl}(\text{DCQ})]_n$	$[\text{Cu}(\text{H}_1)_2(\text{Ac})_2]$
$[\text{CuBr}(\text{DCQ})]_n$	$[\text{Cu}(\text{H}_3)(\text{PPh}_3)]$
$[\text{Cu}(\text{KTZ})_2(\text{Ac})_2] \cdot \text{H}_2\text{O}$	$[\text{Cu}(\text{H}_3)(\text{Ac})_2]$
$[\text{Cu}(\text{FLZ})_2](\text{NO}_3)_2$	$\text{NNN} - \text{CuCl}_2$
$[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2(\text{ITZ})_2] \cdot 3 \text{H}_2\text{O} \cdot \text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$	$\text{H}_2\text{AcPh} - \text{CuCl}$

3.2 INSTRUMENTAÇÃO

Para a obtenção dos espectros de espalhamento Raman foi utilizado o espectrômetro Raman SENTERRA da Bruker.

Os espectros de UV-VIS foram obtidos a partir do espectrômetro da Ocean Optics modelo USB2000+ resultando num espectro de refletância do sólido analisado com auxílio de um acessório para análise por refletância difusa.

3.3 ESPECTROS

Os espectros Raman foram obtidos com o intuito de analisar sua resolução, deste modo, não houve nenhum trabalho de atribuição das bandas observadas. As radiações excitantes utilizadas foram as de 532 nm, 633 nm e 785 nm, além disso, a potência de cada feixe foi ajustada a fim de se obter um espectro de alta qualidade sem que houvesse a degradação da amostra, desse modo, os experimentos iniciavam na menor potência e o equipamento era ajustado até atingir uma potência onde era possível obter um espectro com boa resolução ou que fosse observado a degradação da amostra. O tempo de acumulação e coadições foram o mesmo para todos os espectros, sendo de 10 segundos com 3 coadições.

Em relação aos espectros de UV-VIS, para os compostos de cobre que possuem configuração eletrônica diferente de d^{10} , os dados de refletância foram submetidos a função de Kubelka-Munk dada por:

$$F(R) = \frac{k}{s} = \frac{(1 - R)^2}{2R}$$

Onde R é o valor da refletância, k seria o coeficiente de absorção e s seria o coeficiente de espalhamento. A equação tem como principal função a criação de um espectro de refletância equivalente a um espectro de absorção, permitindo uma visualização mais facilitada de algumas bandas de transição. (KORTUM, 1969) Importante ressaltar, que apesar de ser uma função valiosa para a identificação de bandas de transição, o modelo utilizado neste trabalho desconsidera características importantes do sólido, por isso, a identificação das bandas de transição d-d se deram do modo mais qualitativo, sendo comparadas com transições já reportadas na literatura e não devidamente identificadas, já que o modelo não fornece uma unidade similar a absortividade molar, portanto, a identificação precisa se torna, de certo modo, inviável.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante a execução do projeto foram obtidos por volta de 114 espectros Raman de 14 compostos distintos, deste modo, no intuito de melhorar a visualização das condições de análise juntamente com os parâmetros como potência limite para degradação e transição d-d a Tabela 2 apresenta esses dados. As condições que não foram testadas estão identificadas com um traço (-), já para as condições em que não se houve uma resposta, seja a degradação da amostra ou a presença de uma transição d-d no comprimento de onda indicado, o indicador utilizado foi a letra (x).

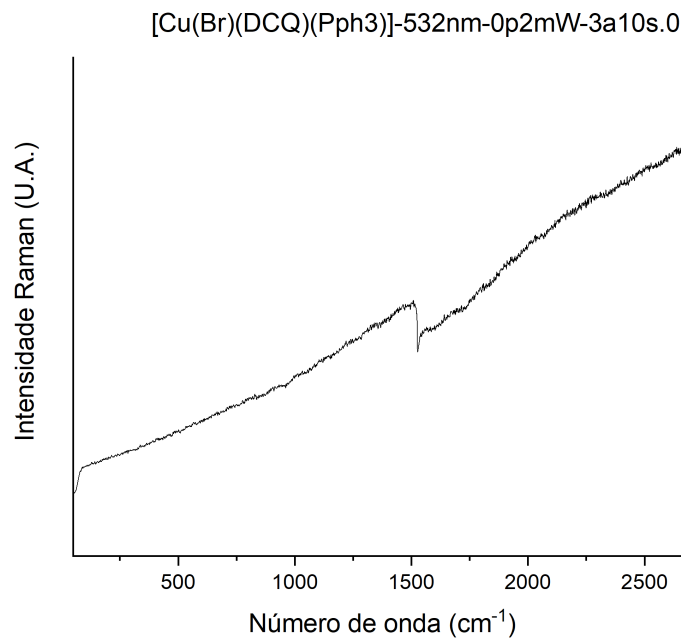
Tabela 2 – Relação composto e condições experimentais

Composto	Parâmetros	Comprimento de onda (nm)		
		$\lambda_0 = 532$	$\lambda_0 = 633$	$\lambda_0 = 785$
[Cu(KTZ)(FLZ)]	Potência de degradação (mW)	5	-	25
	Transição d-d na região do laser?	sim	sim	sim
[Cu(KTZ) ₂ (Ac) ₂].H ₂ O	Potência de degradação (mW)	2	5	10
	Transição d-d na região do laser?	sim	sim	sim
[Cu(NO ₃) ₂ (ITZ) ₂]	Potência de degradação (mW)	2	5	10
	Transição d-d na região do laser?	sim	sim	sim
[CuBr(DCQ)(PPh ₃)]	Potência de degradação (mW)	x	x	x
	Transição d-d na região do laser?	x	x	x
[CuBr(DCQ)] _n	Potência de degradação (mW)	0,2	x	x
	Transição d-d na região do laser?	x	x	x
[CuCl(DCQ)(PPh ₃)]	Potência de degradação (mW)	x	x	x
	Transição d-d na região do laser?	x	x	x
[CuCl(DCQ)]	Potência de degradação (mW)	x	x	x
	Transição d-d na região do laser?	x	x	x
[Cu(FLZ) ₂](NO ₃) ₂	Potência de degradação (mW)	5	5	10
	Transição d-d na região do laser?	sim	sim	sim
[Cu(H ₁)(Ac) ₂]	Potência de degradação (mW)	2	0,2	10
	Transição d-d na região do laser?	sim	sim	sim
[Cu(H ₁)]NO ₃	Potência de degradação (mW)	x	x	x
	Transição d-d na região do laser?	x	x	x
[Cu(H ₃)(Ac) ₂]	Potência de degradação (mW)	2	5	20

Tabela 2 – Relação composto e condições experimentais (continuação)

Composto	Parâmetros	Comprimento de onda (nm)		
		$\lambda_0 = 532$	$\lambda_0 = 633$	$\lambda_0 = 785$
$[Cu(H_3)(Ac)_2]$	Transição d-d na região do laser?	sim	sim	sim
$[Cu(H_3)(PPh_3)]$	Potência de degradação (mW)	x	x	x
	Transição d-d na região do laser?	x	x	x
$NNN - CuCl_2$	Potência de degradação (mW)	2	-	10
	Transição d-d na região do laser?	sim	sim	sim
$H_2AcPh - CuCl_2$	Potência de degradação (mW)	5	-	10
	Transição d-d na região do laser?	não	sim	sim

No estudo foram utilizados dois estados de oxidação do cobre sendo Cu^{2+} e Cu^{1+} . Para as amostras de Cu(II), foi possível observar a tendência dos complexos de se degradarem frente a radiação excitante que coincide com a banda de transição d-d, corroborando com a hipótese inicialmente apresentada. Para os complexos de Cu(I), era esperado não observar nenhuma degradação, já que estes não possuem transições d-d, entretanto, durante os experimentos, houve uma dificuldade em obter espectros em boa qualidade dos complexos $[CuBr(DCQ)(PPh_3)]$, $[CuCl(DCQ)(PPh_3)]$ e $[CuCl(DCQ)]$ na radiação excitante de 532 nm, o comportamento já era esperado pois, conforme reportado por D'Oliveira, et. al (2026) os complexos apresentam fluorescência.

Figura 2 - Espectro Raman do complexo $[CuBr(DCQ)(PPh_3)]$ em $\lambda_0 = 532nm$.

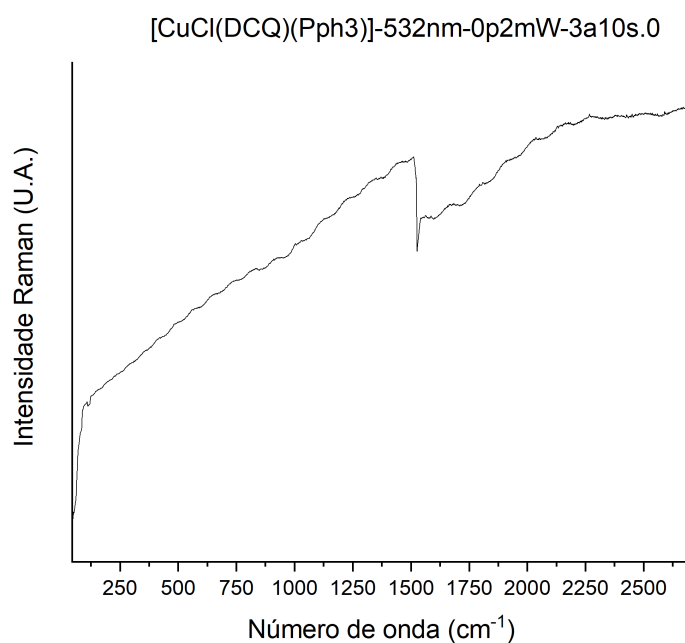


Figura 3 - Espectro Raman do complexo $[CuCl(DCQ)(PPh_3)]$ em $\lambda_0 = 532nm$.

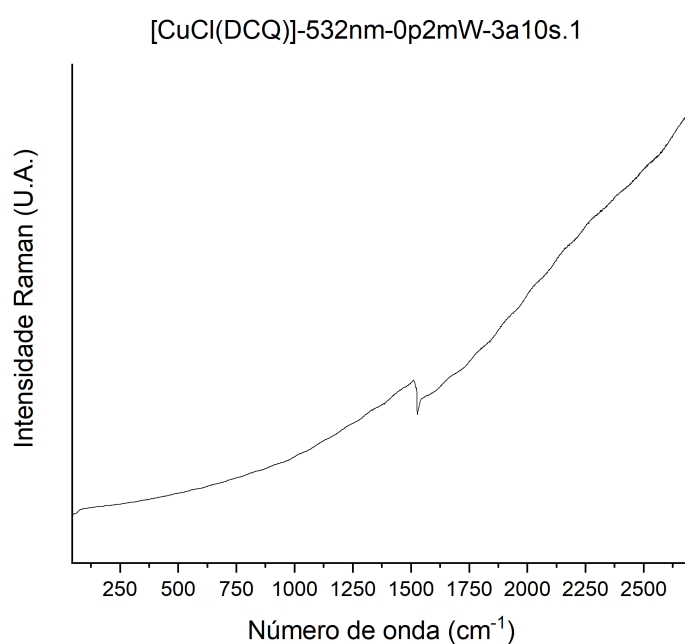


Figura 4 - Espectro Raman do complexo $[CuCl(DCQ)]$ em $\lambda_0 = 532nm$.

No entanto, alguns complexos apresentaram um comportamento destoante dos demais. O primeiro seria o composto $H_2AcPh - CuCl_2$, este apresentou degradação em 532 nm, região onde não foi possível identificar uma banda de transição d-d, como pode ser observado nas Figuras 5, 6 e 7.

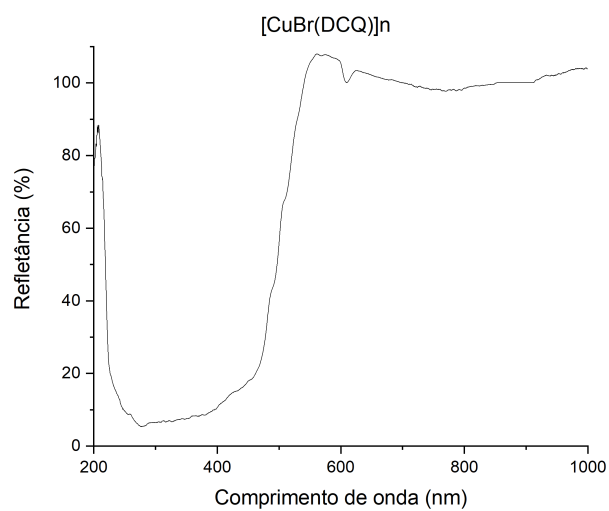


Figura 5 - Comportamento anômalo ($\text{H}_2\text{AcPh-CuCl}_2$) - Espectro UV-VIS.

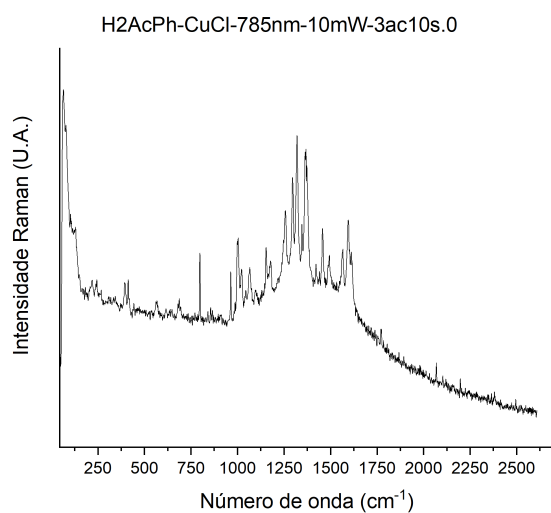


Figura 6 - Comportamento anômalo ($\text{H}_2\text{AcPh-CuCl}_2$) - Espectro Raman, $\lambda_0 = 785\text{nm}$.

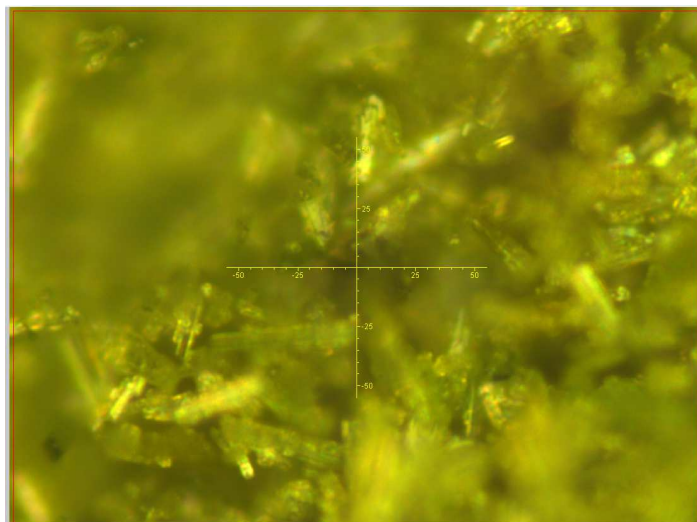


Figura 7 - Comportamento anômalo ($H_2AcPh-CuCl_2$) - Spot de degradação.

O segundo seria o complexo $[CuBr(DCQ)]_n$, apesar de ser um complexo d^{10} e não apresentar transições d-d, o complexo apresentou a quebra do cristal que estava em foco frente a radiação excitante de 532 nm a potência de 0,2 mW, apresentado nas Figuras 8, 9 e 10.

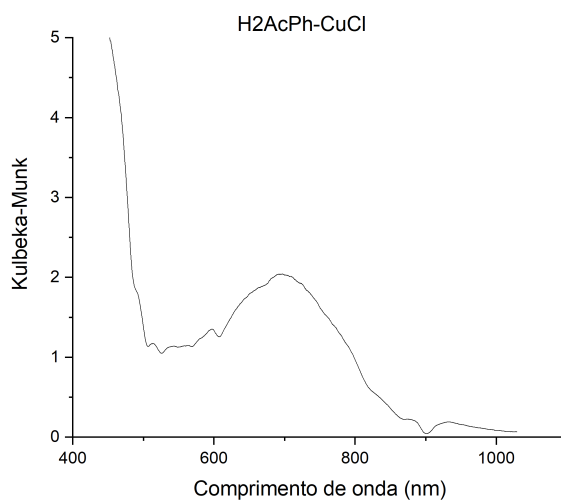


Figura 8 - Comportamento anômalo ($[CuBr(DCQ)]_n$) - Espectro UV-VIS.

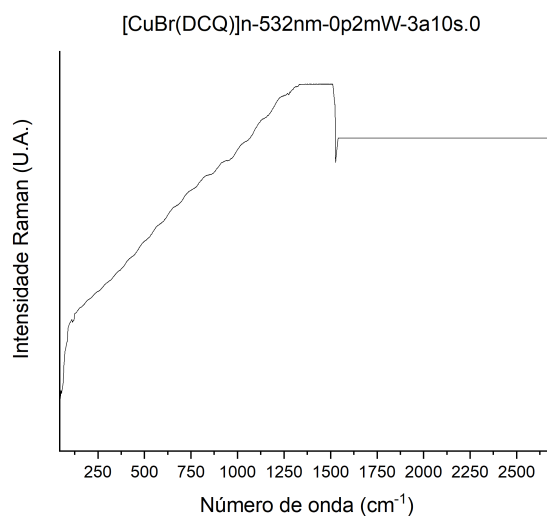


Figura 9 - Comportamento anômalo ($[\text{CuBr}(\text{DCQ})]_n$) - Espectro Raman, $\lambda_0 = 532\text{nm}$.

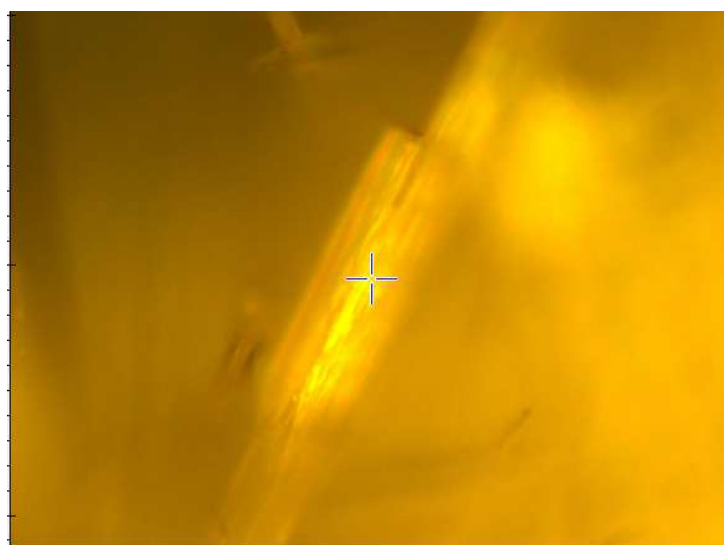


Figura 10 - Comportamento anômalo ($[\text{CuBr}(\text{DCQ})]_n$) - Spot de degradação.

Vale ressaltar que, para os compostos $[\text{Cu}(\text{KTZ})(\text{FLZ})]$, $[\text{Cu}(\text{KTZ})_2(\text{Ac})_2] \cdot \text{H}_2\text{O}$, $[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2(\text{ITZ})_2]$, $[\text{Cu}(\text{FLZ})_2](\text{NO}_3)_2$, $[\text{Cu}(\text{H}_1)(\text{Ac})_2]$, $[\text{Cu}(\text{H}_3)(\text{Ac})_2]$, houve uma grande dificuldade na determinação da banda de transição d-d, pois, nos espectros apresentados nas Figuras 11, 12, 13, 14, 15 e 16, é possível observar uma banda na região de 500 a 600 nm que pode ser atribuída a água. (BRAUN; SMIRNOV, 1993)

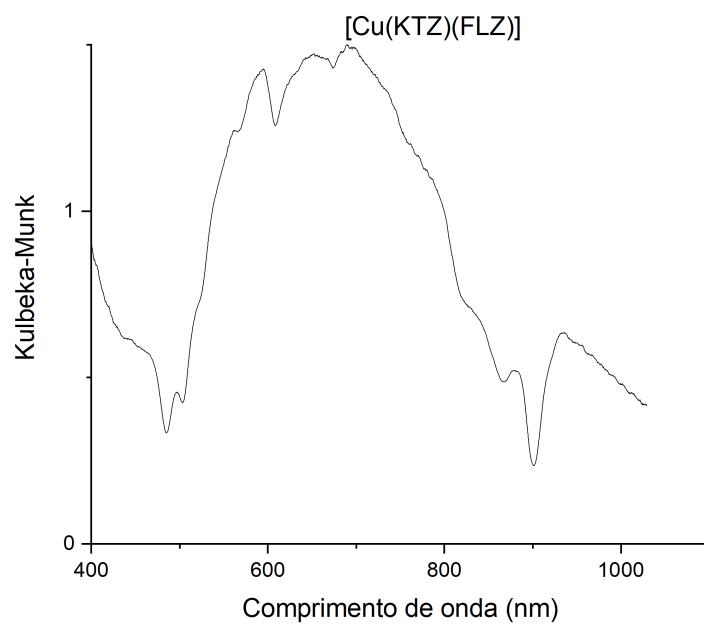


Figura 11 - Espectro de UV-Vis do complexo $[Cu(KTZ)(FLZ)]$.

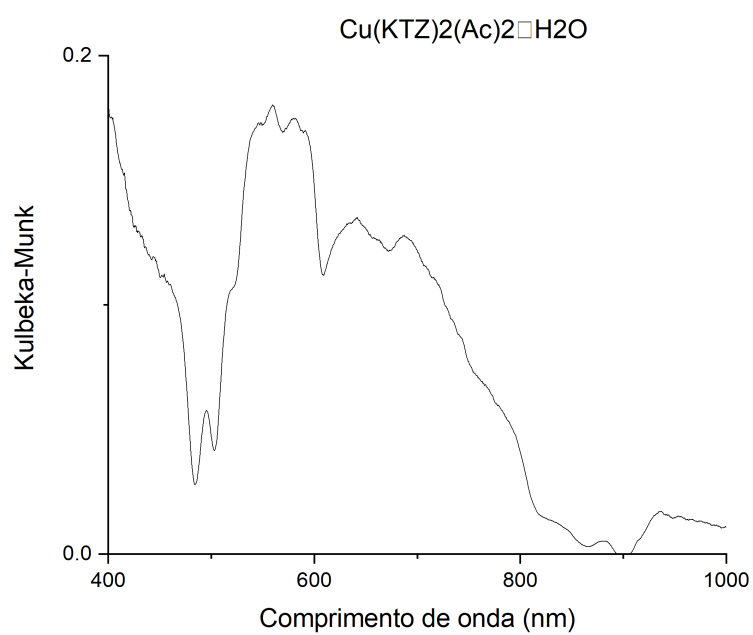


Figura 12 - Espectro de UV-Vis do complexo $[Cu(KTZ)_2(Ac)_2] \cdot H_2O$.

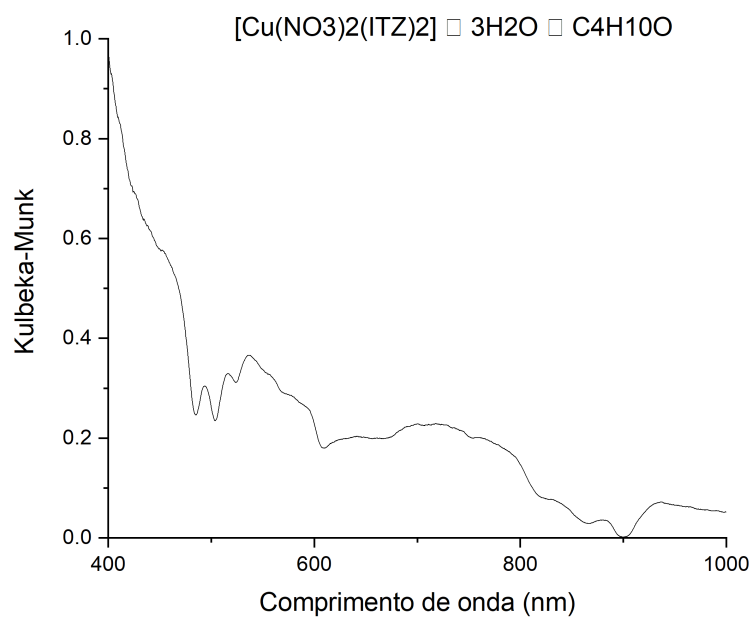


Figura 13 - Espectro de UV-Vis do complexo $[Cu(NO_3)_2(ITZ)_2]$.

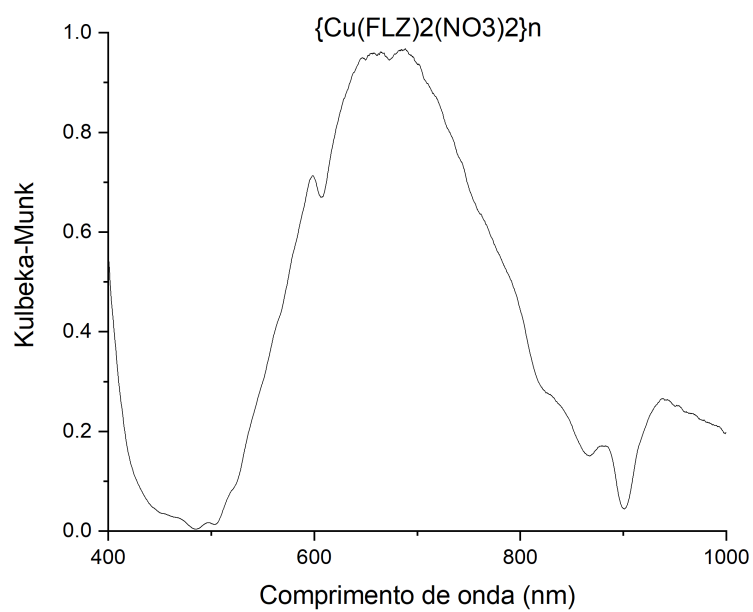


Figura 14 - Espectro de UV-Vis do complexo $[Cu(FLZ)_2](NO_3)_2$.

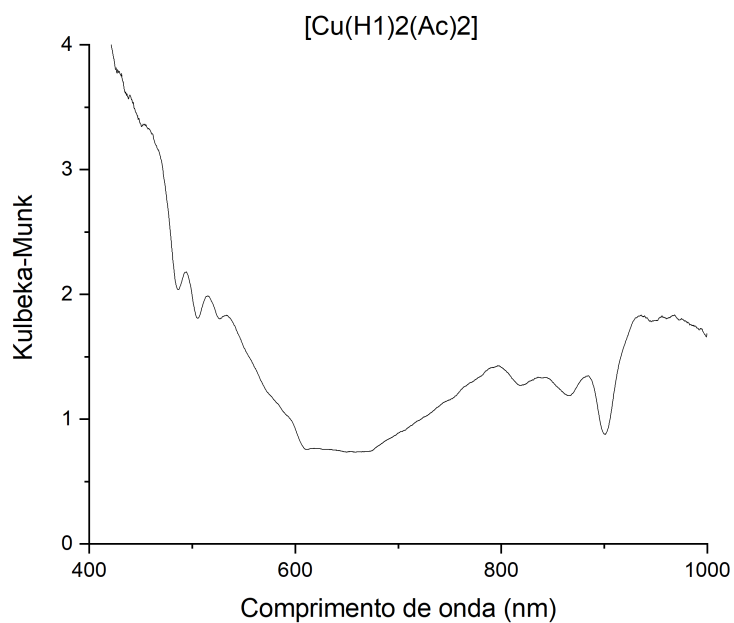


Figura 15 - Espectro de UV-Vis do complexo $[Cu(H_1)(Ac)_2]$.

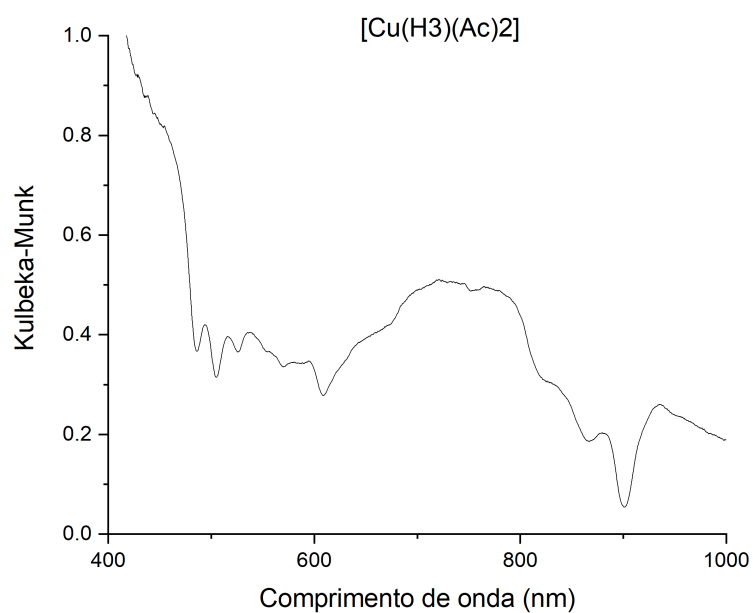


Figura 16 - Espectro de UV-Vis do complexo $[Cu(H_3)(Ac)_2]$.

A aparição de água pode ter sido ocasionado devido a instabilidade dos compostos em relação ao tempo, já que este conjunto de complexos foram sintetizados a alguns anos, desse modo, a estrutura e fórmula inicialmente reportada pode diferenciar um pouco da estudada no trabalho.

5 CONCLUSÃO

Os complexos de Cu(II) apresentaram degradação frente as fontes de excitação coincidentes com a faixa da banda de transição d-d, corroborando a hipótese apresentada inicialmente. Além disso, o trabalho inicia uma possível série de estudos para aprofundar questões relacionadas ao fenômeno de degradação de complexos de cobre frente a espectroscopia Raman.

Como perspectiva para futuros trabalhos, por parte das amostras, sugere-se um maior espaço amostral, e amostras que fossem sintetizadas mais próximas ao período de análise. Por parte dos espectros, utilizar uma função de Kubelka-Munk melhor adaptada para identificação de bandas de transição d-d ou uma função similar que se adeque melhor a observação do fenômeno, para os espectros Raman, utilizar de fontes de excitação que saiam da região do visível a fim de testar a hipótese de não-degradação fora da faixa das transições d-d. E por fim, simular os espectros UV-VIS de sólidos a fim de facilitar a comparação e identificação das bandas de transição d-d.

REFERÊNCIAS

ATKINS, P.; PAULA, J. **Físico-Química: v. 2.** 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

BRAUN, C. L.; SMIRNOV, S. N. Why is water blue? **Journal of Chemical Education**, Washington, DC, v. 70, n. 8, p. 612–614, 1993. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/ed070p612>.

D'OLIVEIRA, K. A. et al. Photoluminescence of Copper(I) 4,7-Dichloroquinoline Complexes: A Combined Experimental and Theoretical Perspective. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v. 37, e20260036, 2026.

KORTUM, G. **Reflectance Spectroscopy: Principles, Methods, Applications.** Tradução de James E. Lohr. Berlin: Springer, 1969.

NAKAMOTO, K. **Infrared and Raman Spectra of Inorganic and Coordination Compounds. Part B: Applications in Coordination, Organometallic, and Bioinorganic Chemistry.** 6. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2009.

SALA, O. **Fundamentos da Espectroscopia Raman e no Infravermelho.** 2. ed. São Paulo: Editora UNESP, 2008.

SALA, O. I₂ – uma molécula didática. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 4, p. 914–920, 2008.