



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA

THAYNA PRISCILA NASCIMENTO DA SILVA

**Química Forense e Complexos: uma proposta didática baseada na Experimentação
Investigativa**

RECIFE

2026

THAYNA PRISCILA NASCIMENTO DA SILVA

**Química Forense e Complexos: uma proposta didática baseada na Experimentação
Investigativa**

Monografia apresentada à coordenação do curso de Licenciatura em Química como parte dos requisitos para obtenção do título de licenciada em Química.

Orientadora: Profa. Dra. Ivoneide de Carvalho Lopes Barros.

RECIFE

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Bibliotecário(a): Lorena Teles – CRB-4 1774

S586q Silva, Thayna Priscila Nascimento da.
Química forense e complexos: uma proposta
didática baseada na experimentação investigativa /
Thayna Priscila Nascimento da Silva. – Recife, 2026.
60 f.; il.

Orientador(a): Ivoneide de Carvalho Lopes
Barros.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) –
Universidade Federal Rural de Pernambuco,
Licenciatura em Química, Recife, BR-PE, 2026.

Inclui referências.

1. Química inorgânica - Estudo e ensino. 2. Prática
de ensino. 3. Química legal. I. Barros, Ivoneide de
Carvalho Lopes, orient. II. Título

CDD 540

THAYNA PRISCILA NASCIMENTO DA SILVA

**Química Forense e Complexos: uma proposta didática baseada na Experimentação
Investigativa**

Monografia apresentada à coordenação do curso de Licenciatura em Química como parte dos requisitos para obtenção do título de licenciada em Química.

Orientadora: Profa. Dra. Ivoneide de Carvalho Lopes Barros.

Aprovado em: 15/07/2026

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Ivoneide de Carvalho Lopes Barros – UFRPE
Presidente

Profa. Dra. Flávia Christiane Guinhos de Menezes Barreto Silva - UFRPE
Primeira examinadora

Prof. Dr. José Euzebio Simões Neto – UFRPE
Segundo examinador

AGRADECIMENTOS

Gostaria de iniciar agradecendo a Deus. Sem ele, eu não estaria aqui hoje. Nos meus dias sozinha dentro do quarto, questionando se era isso mesmo que eu queria para a vida e se eu era capaz, foi em suas mãos que me segurei. De olhos fechados, em conversas silenciosas, encontrei forças para continuar. Só eu sei como foi enfrentar dias de ansiedade, bloqueios criativos, unhas roídas, lágrimas e um coração angustiado.

Também não poderia deixar de agradecer à minha mãe, Sônia Maria Gomes do Nascimento. Desde pequena, ela me motivou a estudar e a buscar meus sonhos. Nunca soltou minha mão, sempre me apoiou e demonstrou orgulho de mim, mesmo quando tudo parecia difícil. Foi ela quem me apoiou no pré-vestibular, quem vibrou com a minha aprovação e quem sempre se preocupou com o meu bem-estar. Nunca vou esquecer de todas as vezes em que cheguei tarde em casa e ela estava no portão, aliviada por eu ter chegado bem.

Ao meu amor, Mycael Victor, meu noivo, quem muitas vezes sinto que nem sei se mereço. Se não fosse por você, minha trajetória talvez tivesse se encerrado há muito tempo. Obrigada por acreditar em mim mais do que eu mesma, por me incentivar quando achei que não seria capaz e por me lembrar de apenas tentar. Foram muitas as disciplinas em que duvidei de mim, e, com seu apoio, tudo terminou em nota máxima. Obrigada por cada gesto de cuidado, por sair tarde para me buscar, por me ajudar e por me abraçar nos momentos difíceis. Você é um presente na minha vida.

Aos meus amigos de graduação, que estiveram ao meu lado em todos os momentos, enfrentando dificuldades e compartilhando aprendizados: João, Alessandra, Manu, Júlia, Felipe, Layla, Bruna, Eduardo e tantos outros. Obrigada por tornarem essa caminhada mais leve. Vou guardar com carinho não só os perrengues, mas também todas as gargalhadas, os almoços no RU e os momentos que nos uniram.

Aos professores, minha sincera gratidão. Fui presenteada com profissionais incríveis, que me mostraram o quanto a Química é linda, compreenderam as dificuldades da graduação e contribuíram para tornar tudo mais leve. Especialmente Jandyson Machado, Ruth, João Rufino, João Tenório, Suely Alves e André Liesen, minha admiração e muito obrigada por tudo.

Em especial, ao professor Euzébio Simões, que me enxergou mesmo quando eu me sentia perdida e retraída. Sua confiança, apoio e incentivo fizeram toda a diferença em momentos em que nem eu mesma acreditava em mim.

À minha orientadora, Ivoneide Barros, deixo minha profunda gratidão. Obrigada por me acolher, por compartilhar ideias, acalmar meu coração e tornar esse processo mais leve. Sua paciência, compreensão e dedicação foram essenciais para a conclusão deste trabalho.

RESUMO

O presente estudo teve como proposta uma sequência didática (SD) com temática forense, fundamentada na experimentação investigativa, com o objetivo de auxiliar a aprendizagem de complexos metálicos na Química Inorgânica. Nesse sentido, a SD priorizou promover uma aprendizagem de caráter investigativo e questionador, possibilitando ao estudante o protagonismo no processo educativo. A metodologia de experimentação investigativa adotada definiu os critérios utilizados para a construção da sequência, justificando a escolha do tema, do público-alvo, da abordagem de ensino e dos referenciais teóricos que sustentaram o estudo. Assim, os resultados apresentam a sequência didática organizada em etapas, tais como: problematização, levantamento de hipóteses, planejamento experimental, execução e sistematização do conhecimento. Para tanto, foi elaborada uma situação-problema contextualizada envolvendo o teste colorimétrico de Scott, assim como recursos de apoio para aprofundamento conceitual, atividades voltadas à proposição de procedimentos experimentais, além de vídeos, e sugestões de momentos pedagógicos que favoreçam uma aprendizagem significativa. Embora a sequência didática ainda não tenha sido aplicada em sala de aula, a discussão dos resultados fundamentou-se em estudos que evidenciam a eficácia de metodologias de ensino contextualizadas e baseadas na investigação científica. Nessa perspectiva, a integração de temas como a Química Forense ao ensino de complexos metálicos na Química Inorgânica busca superar o modelo tradicional de ensino, promovendo a construção ativa do conhecimento, o desenvolvimento do pensamento crítico e a articulação entre teoria e prática por meio da formulação e testagem de hipóteses para a compreensão de fenômenos químicos.

Palavras-chave: Inorgânica, Experimentação Investigativa, Química Forense.

ABSTRACT

The present study proposes the development of a didactic sequence (DS) with a forensic theme, grounded in inquiry-based experimentation, with the aim of supporting the learning of metal complexes in Inorganic Chemistry. In this context, the DS prioritized promoting inquiry-oriented and questioning-based learning, enabling students to take an active role in the educational process. The inquiry-based experimental methodology adopted established the criteria used for constructing the sequence, justifying the choice of theme, target audience, teaching approach, and the theoretical frameworks that supported the study. Accordingly, the results present the didactic sequence organized into stages, including: problematization, hypothesis formulation, experimental planning, execution, and knowledge systematization. To this end, a contextualized problem situation involving the Scott colorimetric test was developed, along with supporting resources for conceptual deepening, activities focused on proposing experimental procedures, videos, and suggestions for pedagogical moments that foster meaningful learning. Although the didactic sequence has not yet been implemented in the classroom, the discussion of the results was based on studies demonstrating the effectiveness of contextualized teaching methodologies grounded in scientific inquiry. From this perspective, the integration of topics such as Forensic Chemistry into the teaching of metal complexes in Inorganic Chemistry seeks to overcome the traditional teaching model by promoting the active construction of knowledge, the development of critical thinking, and the articulation of theory and practice through the formulation and testing of hypotheses to understand chemical phenomena.

Keywords: Inorganic, Inquiry-Based Experimentation, Forensic Chemistry.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 OBJETIVOS	11
1.1.1 Objetivo geral.....	11
1.1.2 Objetivos específicos.....	11
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	12
2.1 APRENDIZAGEM NO ENSINO DE QUÍMICA.....	12
2.1.1 Dificuldades na aprendizagem em Química e Formação docente	12
2.1.2 Aprendizagem Significativa	17
2.2 EXPERIMENTAÇÃO INVESTIGATIVA.....	20
2.2.1 Experimentação no ensino de Química.....	20
2.2.2 Experimentação investigativa	21
2.3 QUÍMICA FORENSE	23
2.3.1 Teste de Scott.....	24
2.3.2 Química Forense na educação	28
2.4 COMPLEXOS METÁLICOS	28
3 METODOLOGIA.....	35
3.1 TIPOLOGIA DA PESQUISA	35
3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA.....	35
3.3 ELABORAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA	37
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1 SEQUÊNCIA DIDÁTICA	41
4.1.1 Etapa 1: Apresentação da situação-problema.....	42
4.1.2 Etapa 2: Levantamento de hipóteses.....	43
4.1.3 Etapa 3: Planejamento	47
4.1.4 Etapa 4: Execução experimental	49
4.1.5 Etapa 5: Sistematização do conhecimento.	52
5 CONCLUSÕES.....	53
REFERÊNCIAS.....	56

1 INTRODUÇÃO

A disciplina de Química costuma gerar rejeição entre os estudantes, por ser considerada difícil e complexa. Essa percepção pode estar relacionada ao uso frequente de cálculos matemáticos, à utilização de fórmulas e símbolos e a possível dificuldade na interpretação de enunciados (Albano; Delou, 2023). Além disso, existem interpretações confusas que dificultam o desenvolvimento de uma compreensão adequada da Ciência e a aprendizagem dos estudantes. Essas interpretações estão atreladas ao hábito dos acadêmicos de tentarem aprender um conceito baseando-se apenas em seus conhecimentos prévios. Tal costume pode levar à construção de ideias que não são compatíveis com a realidade científica (Turan-Oluk, 2023).

Essas dificuldades também refletem no Ensino Superior. Exemplo disso são os conteúdos de química inorgânica, principalmente os complexos metálicos. Os complexos são formados pela ligação entre um íon metálico central e um ou mais ligantes, por meio de ligações coordenadas nas quais o metal atua como aceptor de elétrons. O número de ligações covalentes que um cátion tende a formar com os ligantes ao seu redor corresponde ao seu número de coordenação (Cotton; Wilkinson, 1999). Esses compostos destacam-se por suas propriedades ópticas, como cor e luminescência, intrinsecamente relacionadas ao desdobramento dos orbitais d em diferentes geometrias, um fenômeno descrito pela teoria do campo cristalino (Atkins; Jones, 2011). No âmbito acadêmico, notam-se diversas interpretações equivocadas em relação a esses compostos, especialmente nos conceitos de número de oxidação e número de coordenação, ambos considerados como iguais e, portanto, comumente confundidos (Turan-Oluk, 2023). Diante dessas dificuldades conceituais, faz-se necessário buscar metodologias de ensino que favoreçam uma compreensão mais clara e aplicada desses conceitos.

Na Química, a experimentação desempenha um papel importante na compreensão e na construção de conceitos. No entanto, apenas a realização de atividades experimentais não garante a aprendizagem nem a articulação entre teoria e prática. A efetividade da experimentação está nas discussões promovidas a partir dos experimentos realizados, associada à mediação do professor. Para que a integração entre teoria e prática seja efetiva, é fundamental que os três níveis de conhecimento do triplete químico de Johnstone (macroscópico/fenomenológico, microscópico e simbólico/representacional) estejam

presentes de maneira equilibrada nas interações em sala de aula (Schnetzler; Antunes-Souza, 2019).

A temática forense se apresenta como uma alternativa para aproximar os estudantes do conhecimento científico, integrando a teoria e prática, bem como a contextualização. A inserção dessa temática no ensino surge como uma estratégia para despertar o interesse e a curiosidade em aula, relacionando os conceitos químicos a situações reais e práticas do cotidiano. A ciência forense é tida como uma área interdisciplinar que aplica os princípios e métodos da química na investigação e elucidação de crimes. Ela assume um papel crucial na análise de vestígios como impressões digitais, identificação de substâncias e detecção de sangue. Ademais, a utilização da experimentação investigativa nesse contexto possibilita o desenvolvimento de habilidades científicas, como observação, análise crítica e resolução de problemas (Ferreira, 2024). Essa é uma abordagem de ensino na qual os estudantes atuam como protagonistas do processo científico, realizando experimentos para perquirir uma pergunta ou problema e construir sua própria linha de raciocínio, fugindo do enfoque de apenas seguir instruções (Prsybyciem; Silveira; Saver, 2018). Nisto, evidencia-se o potencial dessa abordagem para o ensino de conteúdos de difícil compreensão.

Nessa perspectiva, surge o problema de pesquisa: Como estruturar uma sequência didática fundamentada na experimentação investigativa e contextualizada pela temática forense para o ensino dos complexos metálicos na Química inorgânica?

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Estruturar uma sequência didática baseada na experimentação investigativa considerando a Química forense, para o ensino de complexos metálicos na disciplina de Química inorgânica.

1.1.2 Objetivos específicos

- Elaborar uma Sequência Didática visando o ensino-aprendizagem de complexos metálicos utilizando Experimentação Investigativa a partir da química forense;
- Disponibilizar a Sequência Didática como recurso pedagógico para o ensino de complexos metálicos nas disciplinas de Química Inorgânica.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção, apresentamos a fundamentação teórica que sustenta este estudo, discutindo os principais conceitos relacionados ao processo de aprendizagem no ensino de Química, à experimentação investigativa, à Química Forense e aos complexos metálicos. O objetivo é estabelecer um diálogo entre esses eixos temáticos, evidenciando como diferentes abordagens pedagógicas e conteúdos da Química Inorgânica podem ser articulados para promover uma aprendizagem significativa.

A seguir são discutidas as dificuldades destacadas durante a aprendizagem de Química, as contribuições das práticas experimentais no processo de ensino-aprendizagem, os princípios que orientam a experimentação investigativa e a relevância da Química forense como contexto aplicado em sala de aula possível de aproximar teoria e prática. Por fim, são apresentados os fundamentos da Química de coordenação, possibilitando compreender como esses referenciais se entrelaçam e orientam a construção da sequência didática elaborada nesse estudo.

2.1 APRENDIZAGEM NO ENSINO DE QUÍMICA

Este tópico tem como objetivo apresentar e discutir aspectos centrais relacionados ao processo de ensino e aprendizagem de Química, abrangendo desde a Educação Básica até o Ensino Superior. São abordadas as principais dificuldades encontradas ao longo desse percurso, bem como características do ensino de Química no nível universitário, com destaque para os desafios específicos da Química Inorgânica. Além disso, são contempladas a abordagem da aprendizagem significativa e reflexões sobre a formação do futuro professor de Química. Esses elementos serão analisados com o intuito de fundamentar a compreensão das práticas pedagógicas e dos fatores que influenciam o processo de aprendizagem nessa área.

2.1.1 Dificuldades na aprendizagem em Química e Formação docente

A Química desempenha um papel fundamental na compreensão da composição, das propriedades e das transformações das substâncias. A disciplina atua como um instrumento educativo valioso para a formação de indivíduos. Quando aprendida de forma significativa, possibilita o sujeito a tomar decisões conscientes e atuar na resolução de problemas (Pino; Frison, 2011).

De início, é válido ressaltar que, no ensino básico, diversos estudantes manifestam rejeição à disciplina de Química, frequentemente percebida como complexa e de difícil aprendizagem. Isso ocorre em razão do uso intensivo de cálculos matemáticos, equações e simbologias próprias da área, exigência de memorização de fórmulas, dificuldades na interpretação de enunciados e fragilidade na base matemática. Além disso, a falta de contextualização em aula provoca a ausência de relação entre os conceitos abordados e a realidade cotidiana dos estudantes. Soma-se a isso a predominância de aulas expositivas, o que limita estratégias pedagógicas mais dinâmicas. Assim, conteúdos abstratos tornam-se desafiadores, uma vez que muitos estudantes não conseguem articular o conhecimento teórico com situações práticas do mundo real. Esse cenário favorece a desmotivação, e contribui para que os estudantes discutam ideias que consideram pouco concretas ou distantes de sua vivência. Chegando, por vezes, a reconhecer fenômenos sem conseguir descrevê-los adequadamente (Albano; Delou, 2023).

As dificuldades de aprendizagem em Química não se restringem à Educação Básica, estendendo-se também ao Ensino Superior e à pós-graduação, visto que os conhecimentos químicos nestes contextos são mais diversificados e detalhados quando comparados ao Ensino Médio, evidenciando-se a complexidade envolvida no processo de ensinar e aprender essa disciplina (Silva; Corrêa; Quadros, 2022).

As adversidades discutidas contribuem significativamente para elevados índices de reprovação, evasão e retenção nos cursos da área de química. Em geral, muitos alunos chegam à graduação com uma base fragilizada nos conteúdos fundamentais de Química, o que compromete o acompanhamento das disciplinas mais avançadas. Além disso, aspectos comportamentais dos discentes também influenciam negativamente o processo de aprendizagem, como a dificuldade de concentração, a facilidade de distração, o uso excessivo de dispositivos móveis durante as aulas e a ausência de hábitos regulares de estudo, fatores que, em conjunto, agravam ainda mais os desafios enfrentados no ensino e na aprendizagem de Química. Nesse cenário, a educação em Química tem recebido crescente atenção da comunidade acadêmica, sobretudo diante das lacunas formativas observadas entre estudantes no ensino superior (Alves; et al, 2021).

Quanto à Química Inorgânica e ao estudo dos metais, os complexos associados a essas espécies químicas não são triviais, mesmo para estudantes de graduação. Observa-se uma dificuldade em relacionar esses conteúdos com conhecimentos prévios e com fenômenos do

contexto social dos alunos (Silva; Corrêa; Quadros, 2022). De acordo com Almeida et al. (2023), no contexto do curso de graduação em Química, especificamente na disciplina de Química Inorgânica Experimental, observou-se que os estudantes apresentam dificuldades no uso da linguagem escrita para comunicação científica. As dificuldades se estendem ao longo do processo formativo e podem repercutir negativamente no desempenho desses futuros profissionais em suas atividades no mercado de trabalho.

Na busca por estratégias que facilitem a aprendizagem em Química, é importante refletir sobre a atuação do professor, uma vez que ele é de extrema importância no ensino e aprendizagem da disciplina. Alguns professores de Química apresentam dificuldades em relacionar os conteúdos abordados com situações práticas do cotidiano dos estudantes. Como consequência, suas metodologias de ensino acabam se restringindo à memorização e à reprodução de conhecimentos, reforçando a dissociação entre teoria e prática ainda presente no processo de ensino (Trevisan, 2005).

Conforme Cardoso e Colinvaux (2000) apud Trevisan (2005)

O estudo de Química deve-se principalmente ao fato de possibilitar ao homem o desenvolvimento de uma visão crítica do mundo que o cerca, podendo analisar, compreender e utilizar este conhecimento no cotidiano. Cabe assinalar que o entendimento das razões e objetivos que justificam e motivam o ensino desta disciplina, poderá ser alcançado abandonando-se as aulas baseadas na simples memorização, tornando-as vinculadas aos conhecimentos e conceitos do dia-a-dia do alunado.

Trevisan (2005) destaca como ponto importante para a melhora na aprendizagem da disciplina de Química, o professor deixar de ser protagonista no processo ensino-aprendizagem e passar a atuar como mediador, buscando unir os conteúdos da disciplina ao cotidiano dos estudantes. No entanto, com a carga extensa de conteúdos programáticos, muitos docentes priorizam a abordagem conceitual e teórica da disciplina de Química, relegando a segundo plano os processos de contextualização e de significação aos conhecimentos trabalhados (Corrêa; Silva; Quadros, 2022).

Embora a formação do professor de Química envolva conhecimentos específicos da área, conteúdos pedagógicos e estágios supervisionados, faz-se necessário o emprego de estratégias metodológicas que contribuam para tornar o processo de ensino e aprendizagem mais eficaz e significativo para os estudantes (Fernandez, 2018).

O modelo de formação docente adotado pelas universidades tem sido alvo de críticas devido à insuficiente articulação entre as disciplinas pedagógicas e os conteúdos específicos de Química. Em geral, a formação ainda se fundamenta em disciplinas predominantemente teóricas, enquanto as aulas voltadas aos conteúdos químicos permanecem centradas na transmissão e recepção do conhecimento. Com isso, muitos licenciandos apontam a falta de preparo didático de parte dos docentes do Ensino Superior, fator que contribui para a manutenção de práticas pedagógicas tradicionais. Como consequência, perpetua-se um modelo de ensino amplamente questionado há anos por limitar a participação ativa dos estudantes no processo de aprendizagem (Schnetzler; Antunes-Souza, 2019).

Freire (1987) critica essa abordagem conceitual e descontextualizada. Para ele, essa metodologia refere-se à concepção bancária de educação. Nesse modo, a educação funciona a partir da memorização (Melo, 2025). Para Freire, essa abordagem não permite diálogo e é opressora (Brighente; mesquida, 2016). Diante dessa opressão, o temor à liberdade pode fazer com que o oprimido seja opressor ou se mantenha na condição de oprimido, dessa forma, estudantes de graduação que lidam com docentes que são adeptos a essa metodologia de ensino, tendem a replicar tais atitudes durante atuação na área. Tal comportamento só pode ser transformado por meio da busca de mudança na realidade e opressora (Melo, 2025).

Por isso, muitas pesquisas no ensino de Química baseiam-se em descobrir abordagens de ensino que diminuam as lacunas deixadas pelo método tradicional de ensino, que é identificado na ausência de conexão do conhecimento com a realidade dos alunos (Silva, et al., 2019).

Johnstone (1991) problematiza o ensino de Química, sugerindo que as dificuldades encontradas durante a aprendizagem se dá pelo fato da disciplina não estar sendo orientada com sucesso pelos docentes. Para o autor, para que ocorra aprendizagem nessa disciplina, é necessário a articulação entre três níveis de conhecimento (Quadro 1).

Quadro 1 – Níveis de conhecimento propostos por Johnstone

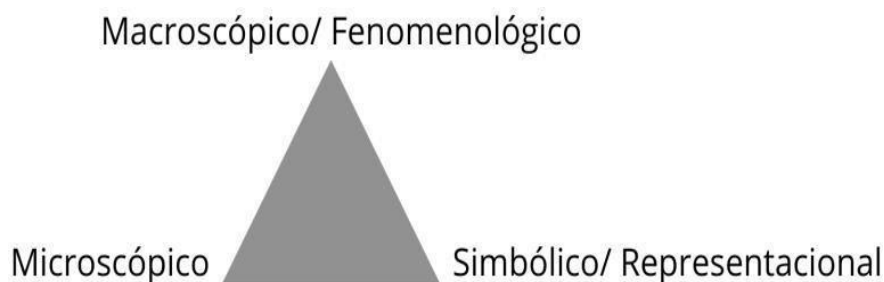
Nível de conhecimento	Definição
Macroscópico/ Fenomenológico	Refere-se aos fenômenos observáveis pelos sentidos. —O que pode ser visto, tocado e cheirado.

Microscópico	Refere-se às partículas. —Átomos, moléculas e íons ¹ .
Simbólico/ Representacional	Refere-se às representações químicas. —Símbolos, fórmulas, equações, relações matemáticas e gráficos ¹ .

Fonte: Antunes-souza; Aleme (2023).

A partir desses três níveis, o autor sugere um modelo para explicar como o conhecimento químico é construído e compreendido (Figura 1).

Figura 1- Triplete de Johnstone



Fonte: Autora (2026).

Nessa organização, os níveis de conhecimento possuem a mesma relevância e são fundamentais para a construção do conhecimento (Antunes-Souza; Aleme, 2023).

Uma abordagem metodológica que pode contribuir para a articulação entre esses conhecimentos consiste na utilização da contextualização no ensino de conceitos. Essa estratégia emerge da necessidade de atribuir sentido e significado ao conhecimento químico, tornando-o mais compreensível e relevante para o estudante. Em geral, tal processo apresenta caráter interdisciplinar, buscando estabelecer uma articulação entre o conhecimento científico e as experiências do cotidiano (Amaral; Barbosa; Vilela, 2008).

Pautado na contextualização do ensino de Química, observa-se que o processo de ensino-aprendizagem pode ser potencializado pela adoção de estratégias didáticas, como o

uso de situações-problema, uma vez que esse recurso se fundamenta na contextualização para sua efetivação. Conforme Meirieu (1998), a situação-problema caracteriza-se como uma tarefa cuja realização exige a aquisição de uma aprendizagem específica. Nesse sentido, a aprendizagem ocorre à medida que o estudante supera um obstáculo inerente à execução da atividade proposta (Sousa, 2023).

A implementação de estratégias metodológicas requer a organização do processo de ensino em etapas que possibilitem ao estudante participar ativamente da construção do conhecimento. Nesse sentido, as sequências didáticas destacam-se como importantes ferramentas pedagógicas, pois compreendem um conjunto de atividades inter-relacionadas e planejadas de maneira sequencial, visando orientar e potencializar o processo de ensino e aprendizagem (Araújo, 2013).

Diante das dificuldades observadas no processo de ensino e aprendizagem de Química, torna-se fundamental compreender como ocorre a aprendizagem significativa nessa área de conhecimento. Com isso, o tópico a seguir busca discutir os princípios que fundamentam a aprendizagem significativa.

2.1.2 Aprendizagem Significativa

A relação entre ensino e aprendizagem envolve a seleção, preparação, organização e sistematização didática dos conteúdos, com o objetivo de favorecer a compreensão dos estudantes. (Brait et al., 2010). Nesse contexto, a prática pedagógica deve apresentar uma dinâmica própria que estimule o exercício do pensamento reflexivo. Além disso, é fundamental a manutenção do diálogo, uma vez que a efetiva aprendizagem está diretamente relacionada à interação entre professor e aluno, sendo ambos elementos que se influenciam mutuamente e dependem um do outro (Brait et al., 2010).

Conforme Souza (2007), mesmo com a evolução dos métodos educacionais, até o presente momento, diversos docentes optam pelas práticas de ensino tradicionais, tratando o professor como protagonista do processo educativo, e respectiva exposição do conteúdo em sala de aula. Embora esse modelo apresente vantagens ao professor, existem muitos estudos que comprovam que essa técnica não é suficiente, em muitos dos casos, para que ocorra uma aprendizagem significativa. Por outra perspectiva, a Teoria da Aprendizagem Significativa

(TAS) afirma que a aprendizagem significativa ocorre quando uma informação nova se conecta a conhecimentos que os estudantes já tem (Guimarães, 2009)

Em resposta a um contexto marcado por insatisfação em relação à educação que recebeu, tendo que conviver com situações de preconceito, discriminação e práticas repressivas, David Ausubel dedicou-se à Psicologia Educacional e ao desenvolvimento da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS). Segundo ele, para que a aprendizagem seja efetivamente significativa, é necessário que ocorra a ampliação e a reorganização das ideias prévias, estabelecendo relações entre conhecimentos já existentes e novos conteúdos (Sousa et al., 2025). Além disso, a aprendizagem torna-se mais consistente quando novas informações são integradas à estrutura cognitiva do estudante; caso contrário, tende a ocorrer de forma mecânica ou repetitiva. Essas proposições configuram-se entre as primeiras abordagens psicoeducativas voltadas à compreensão da aprendizagem escolar e do ensino (Pelizzari et al., 2002).

A aprendizagem mecânica caracteriza-se pela simples memorização de conceitos, sem que o estudante estabeleça relações com suas experiências, conhecimentos prévios ou outros conteúdos já aprendidos. Nesse processo, o conhecimento é assimilado de forma isolada, o que tende a torná-lo temporário e facilmente esquecido. Em contraste, a aprendizagem significativa, proposta por Ausubel, ocorre quando novas informações são integradas aos conhecimentos já existentes na estrutura cognitiva do aluno. Essa conexão confere maior sentido ao aprendizado, tornando-o mais consistente, duradouro e relevante. Para favorecer o engajamento dos estudantes e a construção efetiva do conhecimento, é essencial que os conteúdos estejam relacionados às suas vivências, experiências e saberes prévios (Barroso; Giffoni; Sampaio, 2020).

O conceito de aprendizagem mecânica apresenta semelhanças com a concepção bancária da educação descrita por Paulo Freire, uma vez que ambas constituem críticas ao modelo tradicional de ensino. Nesse modelo, o estudante é visto como um receptor passivo de informações, enquanto o professor assume o papel de único detentor do conhecimento, limitando as possibilidades de diálogo, questionamento e reflexão crítica. Na perspectiva de Paulo Freire, a aprendizagem ocorre de forma mais efetiva quando os conhecimentos adquiridos possuem significado para o estudante e podem ser aplicados em seu desenvolvimento pessoal e social. Para isso, os novos conteúdos devem estar relacionados aos saberes e experiências já existentes. Nesse aspecto, as concepções de Paulo Freire e David

Ausubel apresentam pontos de convergência, especialmente ao reconhecerem a importância dos conhecimentos prévios dos estudantes, da valorização do diálogo no processo educativo e da construção de uma aprendizagem significativa, capaz de promover compreensão dos conteúdos e autonomia aos estudantes (Carril et al., 2017).

Quando os conhecimentos prévios dos estudantes são valorizados no processo de ensino, eles passam a se sentir mais participantes e reconhecidos no ambiente de aprendizagem. Além disso, ao perceberem sentido e relevância nas atividades propostas, tendem a assumir uma postura mais ativa na construção do próprio conhecimento. Segundo a TAS, quando a aprendizagem significativa ocorre, os estudantes possuem os novos conteúdos adquiridos de forma clara e estão dispostos a aplica-los em diferentes situações. Nesse caso, quando se verifica se houve a compreensão conceitual, é possível detectar que houve mudança na estrutura cognitiva do aluno (Silveira; Vasconcelos, 2023).

Embora o estímulo ao questionamento e a valorização dos conhecimentos prévios dos estudantes sejam elementos importantes no processo educativo, apenas eles não garantem a ocorrência da aprendizagem significativa. As condições para que esse processo aconteça são: (I) O estudante deve possuir conhecimentos prévios adequados em sua estrutura cognitiva para dar significado aos novos conhecimentos e (II) O estudante precisa demonstrar interesse em atribuir significado a esses novos conhecimentos.

Cabe destacar que a aprendizagem não ocorre de forma exclusivamente mecânica ou significativa. Na prática, existe um contínuo entre esses dois extremos, sendo comum que muitas aprendizagens se desenvolvam em uma zona intermediária entre ambos (Masini; Moreira, 2008), como destacado na Figura 2.

Figura 2 - Contínuo entre a aprendizagem mecânica e a aprendizagem significativa, destacando a existência de uma zona intermediária entre os extremos.



Fonte: Masini e Moreira (2008).

A Figura 2 representa o contínuo entre a aprendizagem mecânica e a aprendizagem significativa. A presença de uma região intermediária evidencia que esses processos não ocorrem de forma isolada ou oposta, mas compõem um espectro no qual grande parte das aprendizagens se desenvolve. Dessa forma, o estudante pode transitar gradualmente da memorização de informações para a construção de conhecimentos dotados de significado. Nesse contexto, o papel do professor é fundamental, atuando como mediador do processo de ensino e aprendizagem, criando condições que favoreçam a construção de significados e auxiliando os estudantes na progressão em direção a uma aprendizagem cada vez mais significativa (Masini; Moreira, 2008).

2.2 EXPERIMENTAÇÃO INVESTIGATIVA

Vista a necessidade de promover práticas pedagógicas mais significativas e contextualizadas no ensino de Química, destaca-se a importância de estratégias que envolvam ativamente o estudante na construção do conhecimento. Nesse contexto, a experimentação investigativa apresenta-se como uma abordagem promissora, ao possibilitar que os alunos assumam um papel mais ativo no processo de aprendizagem.

2.2.1 Experimentação no ensino de Química

Para o ensino de Química, a experimentação deve ser entendida como parte integrante da investigação científica, não apenas como um recurso acessório ou ilustrativo. Ela contribui para a reflexão sobre a natureza da ciência (Giordan, 1999). A experimentação decorre da necessidade de esclarecer teorias e interpretações, contribuindo para a construção do conhecimento científico e possibilitando a relação entre os fenômenos observados e os referenciais teóricos (Leite, 2018). No ensino de ciências pode assumir diferentes abordagens, variando desde modelos mais fechados, nos quais o estudante segue um roteiro, até propostas abertas e investigativas que valorizam a autonomia intelectual (Santos; Menezes, 2020).

Em geral, as atividades laboratoriais seguem roteiros previamente estabelecidos, semelhantes a uma receita. Nessa perspectiva, o professor ou o material de referência define o que deve ser feito e de que maneira o experimento será realizado pelo aluno, o que faz com que, nesse modelo, o raciocínio crítico e o questionamento raramente estejam presentes (Ferreira, 2009).

O modelo tradicional de ensino presente nas aulas práticas pode se manter devido à reprodução de práticas vivenciadas pelos professores ao longo de sua formação, muitas vezes semelhantes às de seus antigos docentes. Além disso, existem cenários em que a formação inicial tem enfoque conteudista e não valoriza adequadamente as atividades experimentais, o que dificulta sua inserção no ensino. Também é comum associar a experimentação apenas ao laboratório, embora não dependa necessariamente desse espaço, sendo caracterizada principalmente pela problematização dos conhecimentos dos estudantes, estimulação ao diálogo, ao posicionamento crítico, à discussão e a tomada de decisões (Barros, 2021).

Mesmo que ainda seja amplamente utilizada, a abordagem experimental de caráter mais convencional sustenta um intenso debate sobre sua efetividade no processo de ensino e aprendizagem. Além disso, diversos fatores podem limitar a proposição desse tipo de atividade, como a ausência de laboratórios adequados, a insuficiência de tempo para planejamento e a carência de equipamentos e materiais necessários à sua realização (Borba; Goi, 2022).

Embora a ciência esteja presente no cotidiano, ainda existe um distanciamento em relação ao uso prático do conhecimento científico. Para que esse distanciamento seja diminuído, é necessário que os pensamentos científico e crítico sejam desenvolvidos. A experimentação investigativa quando atrelada a contextualização, permite que os estudantes obtenham uma melhora significativa na cognição dos conceitos e aproximação dos conteúdos com a prática, permitindo que apliquem os conhecimentos vistos em sala às situações práticas do dia a dia (Araújo; Sampaio; Filho, 2024).

2.2.2 Experimentação investigativa

A abordagem aplicada por meio de sequências de ensino investigativo (SEI) promove aulas centradas em problemas e investigações, em que os alunos participam ativamente da construção do conhecimento científico. Destaca-se que esse modelo de ensino favorece uma liberdade intelectual dos estudantes. Além disso, permite a apropriação autêntica de conceitos científicos. Se bem implementado, essa metodologia permite que a memorização dos conceitos não seja o foco principal do processo, valorizando a construção do saber através do desenvolvimento do pensamento crítico (Carvalho, 2018).

Para a implementação da experimentação como elemento central no ensino, as aulas precisam ser estruturadas como espaços de investigação e mediação teórico-prática, no qual o conteúdo é apresentado não como um conjunto de verdades feitas para memorizar, mas como um processo histórico, reflexivo e dinâmico. Desta forma, existe a capacidade de aproximar os alunos de um entendimento mais autêntico da natureza científica do conhecimento (Giordan, 1999).

A experimentação investigativa difere de aulas práticas ou atividades experimentais convencionais no ensino de ciências. A participação dos estudantes na construção do conhecimento, nesse contexto, surge a partir da indagação coletiva, bem como da problematização dos fenômenos. Assim, essa metodologia promove não só a familiarização com procedimentos experimentais, mas o desenvolvimento do discurso científico, da argumentação e da compreensão dos fenômenos (Motta et al., 2013).

Na perspectiva da experimentação investigativa, torna-se possível estimular a formulação de questionamentos e a reflexão coletiva acerca de estratégias para sua resolução, promovendo a interação dialógica entre os estudantes. Tal abordagem favorece o desenvolvimento da argumentação, do pensamento crítico e das competências investigativas (Pereira; Rotta, 2024).

Dentro dessa abordagem de ensino, na disciplina de Química, o professor deve assumir o papel de mediador e articulador entre o conhecimento químico, os processos e produtos relacionados a ele, e a sociedade. Dessa forma, ele deixa de atuar como mero transmissor de conteúdos, conforme a concepção criticada por Freire, e passa a exercer uma função questionadora e problematizadora. Nessa circunstância, vai diferir do modelo tradicional, em que a experimentação é frequentemente utilizada apenas como forma de demonstrar e comprovar teorias, o que contribui pouco para a construção efetiva de conceitos químicos e ainda limita o desenvolvimento da criatividade dos estudantes (Prsybyciem, Silveira, Sauer, 2018).

No ensino por investigação, as atividades investigativas podem apresentar diferentes níveis de abertura, classificados em investigação estruturada, investigação guiada e investigação aberta. Em cada nível, a definição do tema, do problema, da coleta de dados, das evidências relevantes, das explicações e dos resultados podem ser atribuídos ao professor ou ao estudante, conforme apresentado no Quadro 2 (Silva; Gerolin; Trivelato, 2018).

Quadro 2 - Níveis de abertura das atividades na Experimentação Investigativa

Investigação	Tema	Problema	Dados	Evidências relevantes	Resultados e explicações
Estruturada	Professor	Professor	Professor	Professor	Estudantes
Guiada	Professor	Professor	Estudantes	Estudantes	Estudantes
Aberta	Professor	Estudantes	Estudantes	Estudantes	Estudantes

Fonte: Elaborada pela autora (2026).

Nas atividades investigativas, o aluno é considerado como protagonista do processo. Destacam-se como principais aspectos da investigação em sala o fato de estarem envolvidos em questões cientificamente orientadas, utilizar evidências para avaliar explicações científicas, formular explicações científicas a partir de evidências, assim como avaliar suas explicações em relação a explicações alternativas. Ademais, é importante que os alunos se comuniquem e justifiquem as explicações propostas entre eles (Silva et al., 2018).

À luz das considerações anteriores, observa-se que as atividades experimentais são tidas como fundamentais no ensino de Química, tanto no nível médio quanto no superior. Tais práticas favorecem a promoção de discussões e reflexões acerca das atividades desenvolvidas, além de possibilitarem a valorização dos conhecimentos prévios dos estudantes em direção à construção do conhecimento científico. Dessa forma, alinham-se aos pressupostos da teoria da aprendizagem significativa, desde que sejam aplicadas de forma adequada, coerente e contextualizada (Silveira, Vasconcelos, 2023).

Entre as diversas possibilidades de aplicação da experimentação investigativa no ensino de Química, a presente pesquisa baseia-se na Química Forense. Essa área constitui um contexto atrativo para a contextualização de conteúdos químicos e para o desenvolvimento de habilidades investigativas nos estudantes.

2.3 QUÍMICA FORENSE

A química forense é a área da Química aplicada à investigação criminal, responsável por analisar evidências materiais encontradas em cenas de crime e fornecer informações que auxiliem a justiça. Essa área atrela conhecimentos de química orgânica, inorgânica, analítica e físico-química para interpretar comportamentos das substâncias envolvidas (Ferreira, 2016).

Essa área contribui para a elucidação de diversos tipos de crimes, visto que, praticamente toda infração deixa algum vestígio químico (UEPG, 2017). As perícias forenses auxiliam na identificação de venenos, drogas, resíduos de explosivos, análises de sangue e outros fluidos. Também se mostra fundamental em crimes sexuais, permitindo a detecção de sêmen e saliva mesmo quando invisíveis a olho nu. Relacionada ao tráfico de drogas, pode determinar a composição, pureza e origem de entorpecentes, ajudando a comprovar se uma substância é ilícita. Além disso, verifica a presença de metais pesados utilizados para crimes ambientais, pesticidas, contaminantes industriais e substâncias tóxicas. Em falsificação e fraudes ao analisar tintas e papéis, pode estabelecer, de diversas formas, uma ligação direta entre suspeitos e cenas de crimes.

A Química forense possui uma relação profunda com a química inorgânica, pois grande parte das análises realizadas em investigações criminais depende do comportamento, das propriedades e das reações de substâncias inorgânicas. Isto porque a química inorgânica estuda metais, sais, óxidos, complexos de coordenação e íons metálicos, exatamente os tipos de componentes envolvidos em muitos testes forenses (Ferreira, 2016).

Em exames de drogas, tintas, resíduos de tiros, metais pesados, combustíveis e explosivos, o perito utiliza princípios da química de coordenação, estados de oxidação, reações de precipitação, mudanças de cor e processos redox para identificar materiais e estabelecer conexões entre suspeitos e cenas de crime. Testes colorimétricos, como o de Scott para cocaína, dependem da formação de complexos metálicos com cores específicas, enquanto reações como a do luminol exigem metais de transição, como o ferro da hemoglobina, que catalisam a oxidação que produz quimiluminescência. A análise de vidros, solos, pigmentos e fragmentos também envolve composição inorgânica e espectros de elementos químicos detectados por técnicas como espectroscopia atômica e fluorescência de raios X. Dessa forma, a química inorgânica oferece a base conceitual e experimental que sustenta vários métodos empregados na química forense, permitindo que o perito identifique materiais, determine suas origens e forneça evidências confiáveis para investigações criminais (Ferreira, 2016).

2.3.1 Teste de Scott

Dentre as diversas técnicas aplicadas pela Química Forense, uma das mais conhecidas é o Teste de Scott, um ensaio colorimétrico empregado na análise forense para detectar de forma preliminar a presença de cocaína em substâncias.

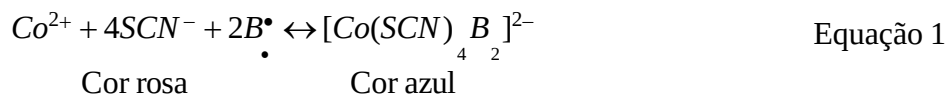
As folhas da planta *Erythroxylum coca* eram utilizadas antigamente por indígenas. Suas folhas eram mastigadas como forma de diminuir distúrbios gastrointestinais e o cansaço provocado pela altitude. A cocaína presente nas folhas despertaram interesse e curiosidade na época, devido à dormência ocasionada ao entrar em contato com a língua. Mais tarde, seus efeitos psicoativos foram explorados, a percepção estimulante e eufórica no corpo fez com que a substância fosse utilizada de forma recreativa. Mais tarde, seus efeitos adversos fizeram com que fosse considerada de uso proibido (Lima; Gomes; Salazar, 2022).

A cocaína é a segunda droga mais popular no mundo, atualmente, é consumida de duas formas por usuários. Em forma de pó, o cloridrato de cocaína ($C_{17}H_{21}NO_4HCl$), obtido a partir do tratamento da pasta de coca com ácido clorídrico (HCl), é usualmente cheirado ou inalado, além disso, sua solubilidade permite o consumo intravenoso. Como pasta, também conhecido como “crack” ($C_{17}H_{21}NO_4$), pode ser obtida pela reação do cloridrato de cocaína com soluções básicas de amônia ou bicarbonato de sódio sob aquecimento, assim, perde sua solubilidade e é consumida a partir do fumo (Bravo et al., 2022).

O consumo da droga provoca efeitos que podem variar entre ansiedade, insônia, aumento da frequência cardíaca e da pressão arterial. Os principais riscos envolvidos se relacionam a problemas cardiovasculares graves, como o infarto ou AVC e alterações psicológicas, como paranoia ou depressão. Em doses elevadas pode levar a convulsões, overdose ou até a morte (Ferigolo; Signor, 2007).

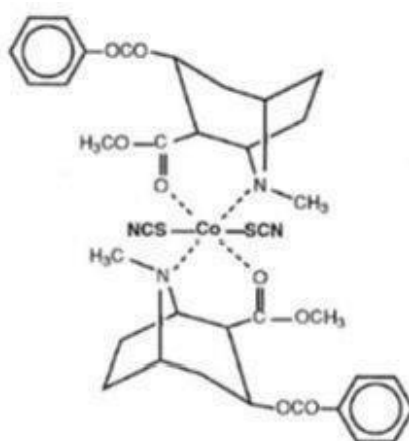
A partir da década de 1960, o Escritório das Nações Unidas sobre Drogas e Crime (UNODC) realizou convenções para identificar drogas de abuso que apresentam riscos à saúde pública. Dentre as técnicas elaboradas, encontram-se os testes colorimétricos, que detectam substâncias se baseando na sua mudança de coloração a partir de uma reação química com o reagente colorimétrico. Os métodos se destacam devido à sua facilidade de execução e rapidez, podendo ser realizado no local de coleta das amostras suspeitas (Fátima; Machado; Reis; Rocha, 2024).

Dentre os testes colorimétricos, o Teste de Scott se destaca na identificação preliminar de cocaína em cenas de crime. O teste foi criado em 1973 e atua utilizando uma solução de tiocianato de cobalto em meio ácido, que na presença de cocaína (B) produz um complexo de cobalto II de coloração azul característica (Equação 1) (Conceição et al., 2014).



A estrutura do complexo formado a partir do teste ainda é desconhecida, mas sugere-se que seja uma estrutura de seis ligantes coordenados ao íon Cobalto (II), como demonstrado na Figura 3 (Marques, 2022).

Figura 3 – Estrutura sugerida para o complexo Cocaína-Tiocianato de Cobalto.



Fonte: Marques (2022, p.34).

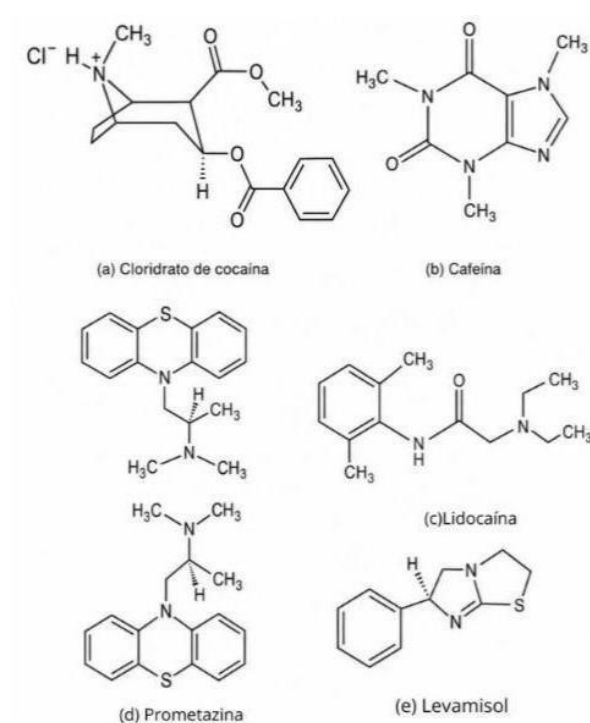
Essa estrutura foi proposta por Oguri et al. (1995). Entretanto, atualmente, outras formulações moleculares são empregadas para descrever a espécie responsável pela coloração do complexo metálico formado após a realização do Teste de Scott. De acordo com Burks; Ohrstrom e Noa (2023) o complexo aniônico $[\text{Co}(\text{SCN})_4\text{B}_2]^{2-}$ (Equação 1) é considerado a espécie responsável pela coloração azul característica, interpretada como resultado positivo nos testes colorimétricos que utilizam o tiocianato de cobalto(II).

Embora o teste seja comumente utilizado, existem adulterantes utilizados na fabricação da droga que são capazes de complexar com íon cobalto (II), acarretando resultados positivos ao teste, mesmo que a amostra não contenha cocaína (Conceição et al., 2014).

Substâncias que contém grupos amino terciários ou sais de amônio em sua estrutura, podem formar complexos com o cobalto de maneira semelhante ao cloridrato de cocaína (a), resultando em positivo ao Teste de Scott. Assim, amostras contendo cafeína (b), lidocaína (c), prometazina (d), levamisol (e) entre outros adulterantes comumente adicionados á cocaína

podem reagir ao teste produzindo resultados falso-positivos (Marques, 2022). As estruturas químicas das amostras destacadas, juntamente com a estrutura do cloridrato de cocaína, são apresentadas abaixo na Figura 4.

Figura 4 – Estrutura química do cloridrato de cocaína e de adulterantes comumente adicionados.



Fonte: Autora (2026).

Embora apresentem estruturas químicas distintas, a presença de grupos nitrogenados, especialmente aminas terciárias ou nitrogênios heterocíclicos com caráter básico, permite a formação de complexos com o cobalto, podendo resultar em reações positivas no teste de Scott e comprometer sua especificidade para a identificação da cocaína (Kasakoff, 2015).

A técnica possibilita uma abordagem contextualizada da Química, uma vez que suas características permitem correlacionar conceitos de complexos com a aplicação prática de testes colorimétricos. Ademais, o método se demonstra reproduzível em aula a partir da inserção de problemas baseados na identificação de drogas de abuso (Barbosa; Cordeiro, 2022).

No próximo tópico, será discutida a aplicação da temática forense em sala de aula, destacando seu potencial como ferramenta contextualizadora para o ensino de Química e para a promoção de uma aprendizagem mais significativa.

2.3.2 Química Forense na educação

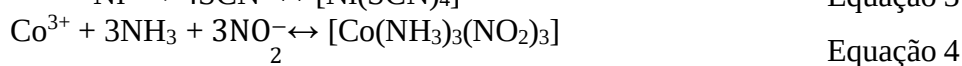
A Química Forense na educação tem se destacado como uma temática poderosa capaz de aproximar os conteúdos químicos do cotidiano. O uso da temática tem despertado a curiosidade dos estudantes em aula (IFCE, 2021). A abordagem destaca resultados positivos, como o maior engajamento do alunado nas atividades propostas (Freitas, 2025).

A utilização de casos reais e simulações práticas servem para que exista uma aplicabilidade dos conhecimentos científicos em situações que assemelham-se às encontradas no campo forense. Essa abordagem, além de auxiliar no desenvolvimento do pensamento crítico, colabora para que os estudantes entendam a relevância da ciência na área de justiça criminal (Resende; Lindemann, 2023).

Para compreender de maneira mais aprofundada a Química Forense e sua relação com a Química Inorgânica, torna-se necessário discutir os complexos. Esses compostos desempenham papel importante em diversos processos de identificação e análise química. Assim, o estudo dos complexos contribui para a compreensão dos princípios inorgânicos envolvidos nas práticas forenses.

2.4 COMPLEXOS METÁLICOS

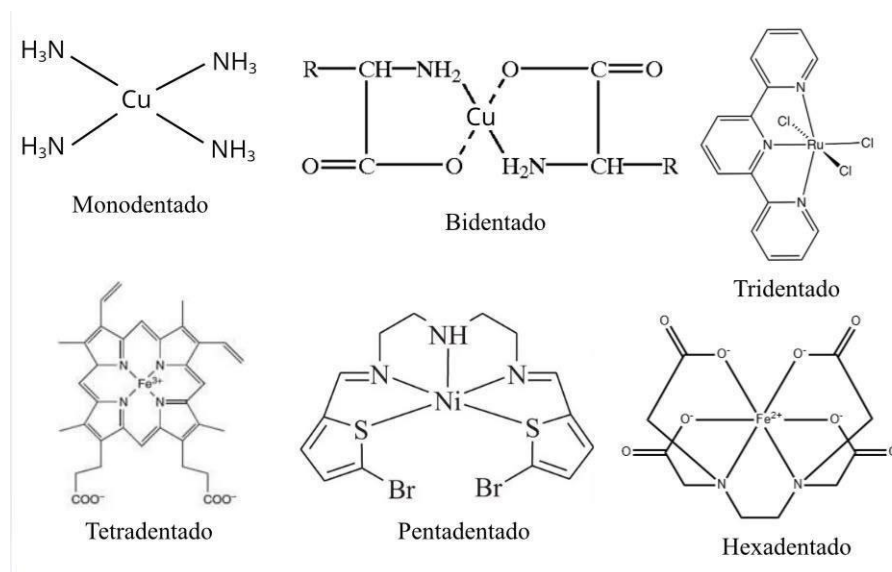
A maioria dos íons de metais de transição reage com espécies capazes de doar pares de elétrons, formando complexos. Nesses compostos, a espécie doadora, ligante, é um íon ou molécula que estabelece uma ligação covalente com um cátion ou átomo neutro por meio da doação de um par de elétrons, que passa a ser compartilhado entre as espécies envolvidas. O número de ligações covalentes que o cátion forma com os doadores de elétrons é chamado de número de coordenação, sendo que os valores mais comuns são 2, 4 e 6. A espécie resultante do processo de complexação pode apresentar carga positiva, negativa ou ser uma espécie neutra (Oglío; Hoehne, 2013). como demonstrado nas equações 2 a 4.



Os ligantes são classificados de acordo com o número de pares de elétrons que podem doar ao metal, característica conhecida como denticidade. Os ligantes monodentados

apresentam apenas um átomo doador capaz de formar uma ligação com o metal, como a amônia (NH_3). Já os ligantes bidentados possuem dois átomos doadores, como a glicina, enquanto os tridentados apresentam três pontos de coordenação, como a terpiridina. Ligantes com maior denticidade também podem ser encontrados, como os tetradentados, a exemplo da porfirina, os pentadentados, como os ligantes macrocíclicos N_3S_2 bromados e os hexadentados, como o ácido etilenodiaminotetraacético (EDTA), que apresenta seis átomos doadores capazes de se ligar ao metal. Além da quantidade de pontos de coordenação, os ligantes podem apresentar diferentes tamanhos e estruturas, variando desde átomos ou íons simples até moléculas orgânicas mais complexas (Figura 5) (Atkins, 2018).

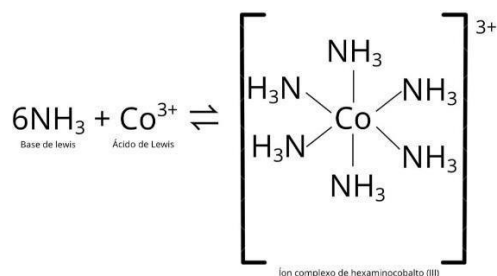
Figura 5- Representação estrutural de complexos metálicos com ligantes mono, bi, tri, tetra, penta e hexadentados.



Fonte: Autora (2026).

Na formação de complexos, ocorre uma interação baseada no conceito de ácido-base de Lewis, no qual o íon metálico atua como aceptor de pares de elétrons, pois possui orbitais disponíveis, enquanto os ligantes atuam como doadores desses pares, formando uma ligação coordenada (Figura 6) (Soares, 2011).

Figura 6 – Equação demonstrando a interação ácido-base de Lewis na formação de complexos.



Fonte: Autora (2026).

Ao pesquisar soluções referentes à química, comumente encontram-se imagens de amostras coloridas e diferentes. Na maioria desses casos, a amostra é caracterizada por metais de transição formando compostos de coordenação. No final do século XIX, vários compostos contendo cobalto (Co), amônia (NH₃) e cloro (Cl) foram descobertos, gerando diversos comentários na comunidade científica. Os compostos estudados apresentavam propriedades que não poderiam ser explicadas pelas teorias de valência tradicionais. Possuíam o mesmo percentual de elementos, mas exibiam cores, fórmulas e comportamentos distintos, o que se tornou objeto de estudo na época (Almeida; Bozza; Sartos; Santos, 2014).

As misturas de cobalto, amônia e cloro formavam várias substâncias distintas, algumas eram roxas, outras verdes ou amarelas, e liberavam diferentes quantidades de íons cloreto em solução (Quadro 3). Isso indicava que apesar de terem a mesma composição geral sua estrutura interna não era a mesma (Barros, 1992).

Quadro 3 - Compostos de cobalto com amônia e cloreto e suas respectivas cores.

Composto	Cor
CoCl ₃ .6NH ₃	Amarelo
CoCl ₃ .5NH ₃	Roxo
CoCl ₃ .4NH ₃	Verde
CoCl ₃ .4NH ₃	Violeta

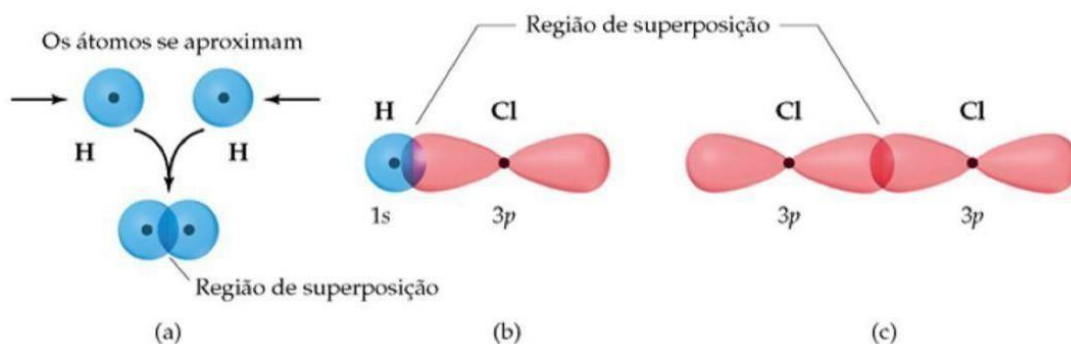
Fonte: Autora (2026).

A partir desse fenômeno, em 1893, o químico Alfred Werner propôs a Teoria de Coordenação, relacionada aos compostos de coordenação. Segundo Werner, os metais de transição apresentavam dois tipos de valências: a valência primária, associada ao número de oxidação do metal, e a valência secundária, relacionada ao número de coordenação. Ele sugeriu que os ligantes ocupavam posições específicas ao redor do átomo metálico central,

formando estruturas geométricas definidas, capazes de explicar as diferentes propriedades observadas nesses compostos. A teoria de Werner foi fundamental para o desenvolvimento da química de coordenação moderna e, em 1913, o químico recebeu o Prêmio Nobel de Química por suas contribuições, sendo sua teoria ainda considerada uma base importante para o estudo dos complexos metálicos (Soares, 2011).

Em 1927 Walter Heitler e Fritz London desenvolveram a teoria da ligação de valência (TLV), posteriormente ampliada por Linus Pauling e John C. Slater. Nesse modelo, as ligações químicas resultam do emparelhamento de elétrons presentes na camada de valência dos orbitais atômicos, por meio da sobreposição desses orbitais (Figura 7) (Barreto; Bejarano, 2016).

Figura 7 - Representação do emparelhamento eletrônico em orbitais s e p.



Fonte: Santos; Sussuchi (2017, p.101).

Na Figura 7, (a) representa a formação da molécula de H_2 a partir da superposição de dois orbitais atômicos 1s, pertencentes a dois átomos de hidrogênio (H); (b) representa a formação da ligação HCl por meio da superposição de um orbital 1s do átomo de hidrogênio (H) com um dos lóbulos de um orbital 3p do átomo de cloro (Cl) e (c) a formação da molécula de Cl_2 ocorre pela superposição de dois orbitais 3p, cada um pertencente a um átomo de cloro (Cl), resultando na formação da ligação entre os dois átomos (Santos; Sussuchi, 2017).

Na Teoria da ligação de valência os orbitais compartilham uma região do espaço, ou superpõem-se. Esta superposição de orbitais permite que elétrons de spins contrários compartilhem um espaço comum entre os núcleos, formando uma ligação covalente (Santos; Sussuchi, 2017).

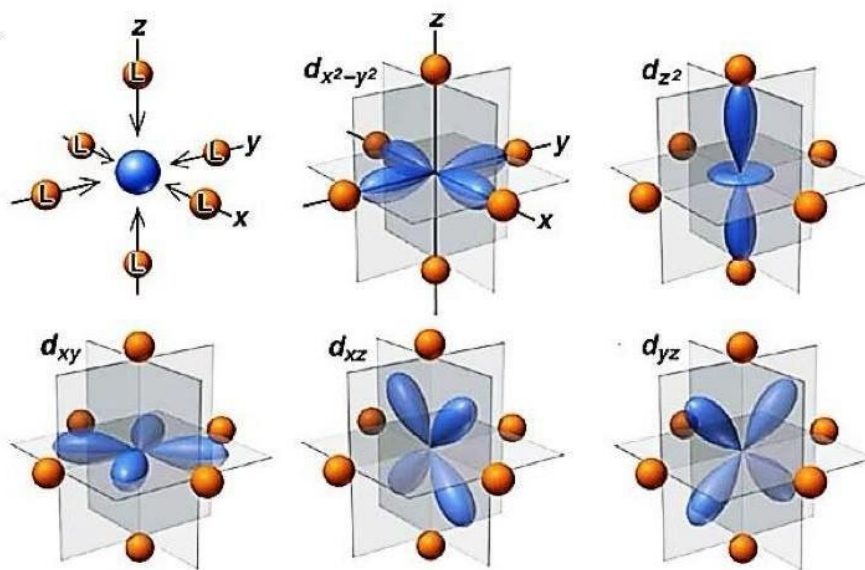
A TLV utiliza o conceito de hibridização dos orbitais atômicos (s, p e d) para explicar a geometria dos complexos e suas propriedades magnéticas. A geometria dos complexos

formados depende diretamente da combinação dos orbitais envolvidos na hibridização do metal. Complexos com geometria linear apresentam hibridização sp , já os complexos de geometria quadrado planar possuem hibridização dsp , para complexos tetraédricos, ocorre a hibridização sp^3 , enquanto os complexos octaédricos podem apresentar hibridização sp^3d^2 ou d^2sp^3 (Barreto; Bejarano, 2016).

Apesar de sua importância histórica, a Teoria da Ligação de Valência apresenta algumas limitações, pois não consegue explicar adequadamente as cores observadas nos compostos de coordenação, não fornece valores quantitativos para a energia de estabilização dos complexos e apresenta uma descrição limitada das propriedades magnéticas. Por essas razões, modelos posteriores, como a Teoria do Campo Cristalino e a Teoria do Campo Ligante, foram desenvolvidos para fornecer explicações mais completas sobre o comportamento dos complexos metálicos (Santos, 2012).

Em 1929, Hans Bethe elaborou a Teoria do Campo Cristalino (TCC), a qual foi desenvolvida posteriormente por John Hasbrouck Van Vleck na década de 1930. Essa teoria parte do pressuposto de que a interação entre o íon metálico e os ligantes é de natureza eletrostática, considerando os ligantes como cargas negativas pontuais que interagem com elétrons dos estados d do íon metálico central, conforme destacado na Figura 8 (Batista, 2020).

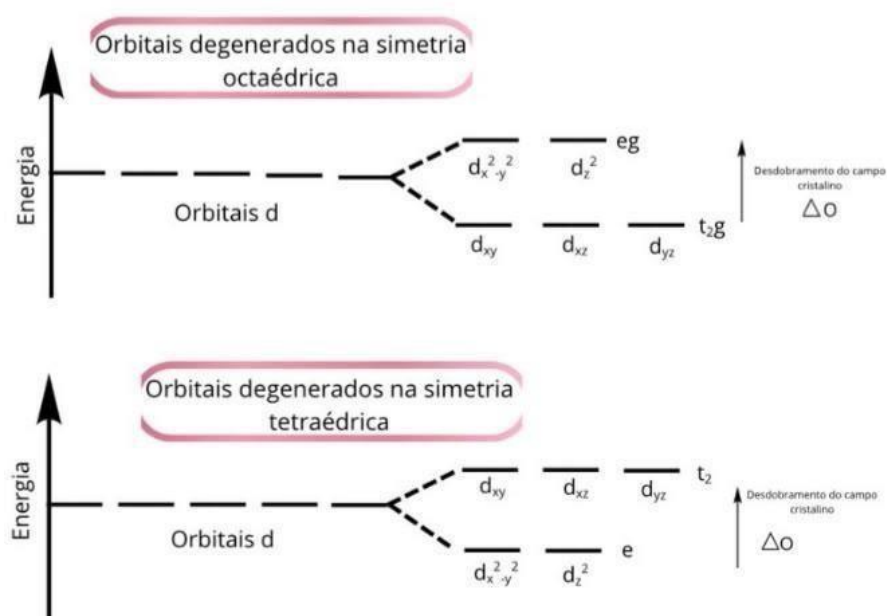
Figura 8 – Representação da interação metal-ligantes na TCC.



Fonte: Souza (2013. p.22).

Um íon metálico isolado possui os cinco orbitais d degenerados, ou seja, d_{xy} , d_{xz} , d_{yz} , $d_{x^2-y^2}$ e d_{z^2} que apresentam a mesma energia. Nos metais de transição, os orbitais $d_{x^2-y^2}$ e d_{z^2} estão direcionados ao longo dos eixos cartesianos, enquanto os orbitais d_{xy} , d_{xz} e d_{yz} se orientam entre esses eixos. De acordo com a TCC, a aproximação dos ligantes ao íon metálico é considerada repulsiva. Essa repulsão provoca a quebra da degenerescência dos orbitais d , pois a aproximação dos ligantes ocorre de maneira diferente em relação a cada tipo de orbital, resultando em níveis de energia distintos (Atkins, 2011). Como resultado do desdobramento do campo cristalino, os orbitais passam a se organizar em dois níveis eletrônicos: um triplamente degenerado (t_{2g}) e outro duplamente degenerado (e_g) (Figura 9) (Batista, 2020).

Figura 9 - Diagrama de energia dos orbitais d em diferentes geometrias.



Fonte: Autora (2026).

Para o campo cristalino octaédrico, na perda da degenerescência, os orbitais $d_{x^2-y^2}$ e d_{z^2} do centro metálico sofrem maior repulsão eletrostática com a aproximação dos ligantes e, conseqüentemente, são estabilizados em um nível de energia mais elevado. Em complexos tetraédricos, por sua vez, os orbitais d_{xy} , d_{xz} e d_{yz} sofrem maior repulsão. Além disso, o desdobramento energético em campos tetraédricos é significativamente menor do que em campos octaédricos (UFMG, 2010).

Igualmente, a cor de um complexo de coordenação pode ser explicada com base na Teoria do Campo Cristalino. A região do visível do espectro eletromagnético compreende

comprimentos de onda aproximadamente entre 400 a 700 nm. Quando a luz branca incide sobre a matéria, parte da radiação é absorvida em determinados comprimentos de onda e o restante é refletido ou transmitido, resultando em uma coloração característica. Nos complexos, esse comportamento está relacionado ao desdobramento dos orbitais d no campo cristalino. A energia absorvida pelo sistema é proporcional ao valor de Δ_o (diferença de energia entre os níveis desdobrados). Em complexos com Δ_o ($10Dq$) maior, é necessária maior energia para promover transições eletrônicas, o que implica absorção de luz em comprimentos de onda menores. Já em complexos com Δ_o menor, ocorre o inverso, com absorção de radiação de menor energia e maior comprimento de onda. Assim, à medida que determinados comprimentos de onda são absorvidos, o complexo passa a apresentar uma coloração específica (Martins; Suarez; Sucupira, 2015).

A Teoria do Campo Cristalino foi destacada pois explica o comportamento apresentado pelo Teste de Scott. A partir das discussões teóricas apresentadas, foram fornecidas contribuições que fundamentam a temática investigada. Assim, no tópico seguinte são apresentados os procedimentos metodológicos utilizados para a condução dessa pesquisa.

3 METODOLOGIA

Esse tópico tem como objetivo descrever os procedimentos metodológicos utilizados na pesquisa, apresentando sua tipologia e elaboração. Além disso, são apresentados os instrumentos empregados para as etapas desenvolvidas durante a elaboração da sequência didática (SD). Também são discutidos os referenciais teóricos que fundamentam a análise da pesquisa, contribuindo para a compreensão dos resultados obtidos.

3.1 TIPOLOGIA DA PESQUISA

A presente investigação caracteriza-se como uma pesquisa de abordagem aplicada, a qual segundo Fleury (2016) tem como finalidade a elaboração de diagnósticos, identificação de problemas e a busca por soluções. Este estudo insere-se nessa perspectiva, uma vez que fez uso desses recursos para minimizar as dificuldades de aprendizagem relacionadas aos complexos de metais d. A investigação também se caracteriza como uma pesquisa bibliográfica. Conforme Gil (2002) esse tipo de pesquisa é desenvolvido com base em materiais já elaborados, haja visto que a elaboração da sequência didática proposta fundamenta-se nos princípios da experimentação investigativa, tomando como referência modelos previamente publicados e validados na literatura.

3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA

A metodologia dessa pesquisa foi estruturada com o objetivo de contemplar os objetivos específicos do trabalho, que consiste em propor uma sequência didática para o ensino de complexos articulada à química forense utilizando a experimentação investigativa.

A sequência didática foi fundamentada nas etapas do Ensino por Investigação, inspiradas nas contribuições de John Dewey, que compreendia a ciência como orientada por um método científico baseado em etapas, a saber: definição do problema, proposição de soluções, realização de testes experimentais e formulação de conclusões (Batista; Silva, 2018). Posteriormente, essa perspectiva foi ampliada por pesquisadores como Del Carmen, Oliveira, Zabala, Gil e Garcia, os quais defendem que uma proposta investigativa deve partir de um problema significativo e despertar o interesse dos alunos pela investigação (Zômpero; Laburú, 2011). Dessa forma, busca-se promover nos estudantes práticas de investigação, reflexão e análise crítica no processo de ensino e aprendizagem (Batista; Silva, 2018).

Os pensamentos de Paulo Freire e David Ausubel também foram considerados, valorizando os conhecimentos prévios como elemento essencial para a construção da aprendizagem significativa (Carril et al., 2017).

Assim, para a SD (Quadro 4), estão sendo propostas 5 aulas, de duração de 120 minutos cada, buscando contemplar as seguintes etapas: (I) proposição de problema, (II) levantamento de hipóteses por parte dos estudantes, (III) planejamento experimental, (IV) realização de experimentos químicos, (V) sistematização do conhecimento (elaboração de relatórios e apresentações orais).

Quadro 4 – Organização da sequência didática

Etapas	Objetivo	Conteúdo	Atividades Realizadas
Etapas 1 e 2	Problematização e levantamento de hipóteses: introduzir um ambiente investigativo, estimulando a formulação de explicações iniciais para o problema proposto.	Aplicação de uma situação-problema com temática forense utilizando o Teste de Scott para identificação de amostras. Discussão coletiva sobre o caso investigado associado aos complexos metálicos.	Elaboração de hipóteses pelos estudantes e resolução preliminar da situação-problema.
Etapas 3	Planejamento da investigação: desenvolver estratégias para a resolução do problema por meio da organização do procedimento experimental.	Planejamento do roteiro experimental. Aula expositiva dialogada sobre complexos de metais d e a Teoria do Campo Cristalino, relacionando-os ao Teste de Scott.	Elaboração e entrega do roteiro experimental (modelo a critério dos estudantes).
Etapas 4	Execução da investigação: realizar procedimentos experimentais previamente planejados, coletar evidências e registrar observações.	Teoria do Campo Cristalino, mudanças de coloração em complexos e realização prática do Teste de Scott.	Atividade experimental, registros em diário de bordo, coleta de fotografias.
Etapas 5	Sistematização e interpretação dos resultados: analisar as evidências obtidas	Revisão e integração dos conceitos de Teste de Scott, Teoria do	Elaboração de vídeos e laudos periciais.

	e relacioná-las aos conceitos científicos envolvidos na situação-problema.	Campo Cristalino e compostos de coordenação.	
	Conclusão e comunicação da investigação: utilizar as evidências experimentais para resolver a situação-problema e validar ou reformular as hipóteses iniciais.	Retomada da situação-problema e consolidação dos conceitos abordados ao longo da sequência didática.	Apresentação dos materiais produzidos, resolução final da situação-problema e socialização das conclusões obtidas na investigação.

Fonte: A autora (2026).

3.3 ELABORAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A elaboração de uma sequência didática tem como finalidade promover e potencializar os processos de ensino e aprendizagem relacionados a um determinado conteúdo, podendo ser compreendida como um conjunto organizado de atividades planejadas para favorecer a construção do conhecimento pelos estudantes (Arrigo; Assai; Costa, 2022). Nesse contexto, a presente pesquisa propõe uma sequência didática fundamentada nos pressupostos da experimentação investigativa, metodologia que busca estruturar o conhecimento por meio de um processo ativo, dinâmico e centrado no estudante, possibilitando o desenvolvimento da capacidade de reflexão sobre os fenômenos estudados e a articulação entre conhecimentos prévios e novos saberes (Souza et al., 2022).

A definição do público-alvo constitui uma etapa fundamental para o planejamento de propostas didáticas, uma vez que o conhecimento acerca da realidade e das características dos estudantes auxilia na identificação de suas necessidades formativas (Arrigo; Assai; Costa, 2022). Assim, a sequência didática foi elaborada para uma turma de graduação do curso de Licenciatura em Química, especificamente para a disciplina de Química Inorgânica Experimental que é componente curricular obrigatório do curso. A escolha desse contexto justifica-se pela organização curricular do curso,

visto que, nesse momento da formação, os estudantes já concluíram os componentes introdutórios da área de Química e tiveram contato prévio com os conteúdos relacionados aos complexos, favorecendo o aprofundamento dos conceitos por meio de uma abordagem investigativa.

A temática forense foi selecionada como eixo orientador da proposta didática, tendo como foco a utilização do Teste de Scott na identificação preliminar de cocaína. Essa escolha foi motivada pela análise do trabalho publicado por Conceição et al. (2014), que aborda a aplicação do referido teste em diferentes amostras e evidencia a ocorrência de resultados falso-positivos em determinadas situações (Conceição et al., 2014). Além disso, foram consideradas as contribuições de uma proposta didática desenvolvida por estudantes da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), a qual apresenta metodologias reproduzíveis para a realização do Teste de Scott em contexto educacional (Barbosa; Cordeiro, 2022).

A escolha da temática forense desempenhou papel crucial na construção da sequência didática, uma vez que possibilitou estabelecer relações entre os conceitos científicos e situações próximas à realidade dos estudantes, favorecendo a atribuição de significado aos conhecimentos construídos (Bejarano; Silva; Wartha, 2013). Nesse sentido, a utilização de uma investigação com temática forense busca aproximar os conteúdos de Química Inorgânica, especialmente aqueles relacionados aos complexos metálicos e à Teoria do Campo Cristalino, da aplicação da perícia forense presente no cotidiano.

Além dos pressupostos da experimentação investigativa, a elaboração desta SD foi fundamentada no modelo representacional proposto por Johnstone, segundo o qual a compreensão dos fenômenos químicos ocorre pela articulação entre três níveis de conhecimento: o fenomenológico (macroscópico), o microscópico e o representacional ou simbólico. De acordo com Cabral; Chaves e Morte (2024), embora muitas atividades experimentais promovam maior participação dos estudantes, elas frequentemente permanecem restritas à simples observação dos fenômenos. Para que uma atividade seja efetivamente caracterizada como investigativa, é necessário que a execução e a discussão dos experimentos contemplem a integração desses três níveis de representação química. A etapa 4 (Quadro 4) evidencia o momento em que os três níveis de conhecimento são explorados.

Todas as etapas da sequência didática foram estruturadas com base nos princípios da experimentação investigativa, contemplando momentos de problematização, levantamento de

hipóteses, planejamento experimental, execução da investigação, sistematização dos resultados e resolução do problema inicial (SOUZA, F; et al, 2022). Paralelamente, as concepções pedagógicas de Paulo Freire e David Ausubel foram consideradas para a elaboração das atividades propostas. A organização das etapas tiveram como objetivo identificar os conhecimentos prévios dos estudantes acerca da temática abordada, valorizando suas experiências e promovendo o diálogo como ponto de partida para a construção do conhecimento. Da mesma forma, o momento de sistematização e confronto de ideias, realizado na Etapa 5 foi planejado para que os estudantes retomassem seus conhecimentos anteriores e os articulassem com as evidências obtidas durante a investigação, favorecendo a ocorrência da aprendizagem significativa, conforme os pressupostos de Ausubel (Masini; Moreira et al., 2008).

Por fim, destaca-se que os conteúdos científicos e pedagógicos utilizados na elaboração da sequência didática foram selecionados a partir de pesquisas realizadas no Google Acadêmico, priorizando trabalhos relacionados ao ensino de Química, à experimentação investigativa e às aplicações da Química Forense, de modo a garantir embasamento teórico e metodológico para a proposta apresentada.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A sequência didática proposta busca integrar os conceitos da Química dos complexos metálicos ao cotidiano dos estudantes por meio da experimentação investigativa. Para tanto, foi escolhida a temática forense do teste de Scott na identificação de cocaína como contexto inicial para o ensino de química dos complexos.

O objetivo central da proposta é promover uma abordagem pedagógica que ultrapasse a mera transmissão de conhecimentos característica do modelo tradicional de ensino, favorecendo o desenvolvimento do caráter investigativo dos estudantes. Nesse sentido, busca-se estimular o questionamento, a curiosidade científica e a autonomia dos alunos por meio de uma metodologia contextualizada e significativa. Desse modo, visa criar um ambiente de aprendizagem no qual o estudante assume o papel de protagonista na construção do próprio conhecimento, desenvolvendo habilidades como o pensamento crítico, a formulação e a análise de hipóteses, a interpretação de resultados experimentais e a tomada de decisões fundamentadas em evidências científicas. (SOUZA, F;et al, 2022).

A SD foi elaborada com base na experimentação investigativa, sendo organizada com as seguintes etapas: Proposição do problema, levantamento de hipóteses, planejamento, execução e sistematização do conhecimento, conforme ilustrado na Figura 10.

Figura 10 - Etapas para construção da sequência didática



Fonte: Autora (2026).

Foram planejadas 5 aulas, com duração de 120 minutos cada, visando contemplar as etapas de uma experimentação investigativa. A primeira etapa corresponde a proposição de um problema, que deve ser realizada na aula 1 por meio da aplicação da situação-problema. A segunda etapa refere-se ao levantamento de hipóteses, também presente na aula 1, após a apresentação do problema. A terceira etapa de planejamento está apresentada na aula 2, a partir da proposição do procedimento experimental, sendo que a etapa de execução situa-se na aula 3, com a realização do experimento, o qual deve estar associado ao teste das hipóteses levantadas pelos estudantes. Já a etapa da sistematização do conhecimento deve ser realizada nas aulas 4 e 5 por meio da discussão dos relatórios experimentais e na conclusão da resolução da situação-problema.

O Quadro 5 que relaciona as etapas da experimentação investigativa e as aulas da sequência didática apresentada.

Quadro 5 - Relação entre as etapas da experimentação investigativa e as aulas da sequência didática.

Etapas da experimentação investigativa	Aula da sequência didática
Etapa 1 - Proposição do problema.	Aula 1- Aplicação da situação-problema.
Etapa 2 – Levantamento de hipóteses.	Aula 1 - Momento em que os estudantes buscam resolver a situação-problema a partir de suposições.
Etapa 3 - Planejamento.	Aula 2 - Elaboração dos procedimentos experimentais.
Etapa 4 - Execução.	Aula 3 - Realização dos testes experimentais no laboratório.
Etapa 5 - Sistematização do conhecimento.	Aula 4 e 5 - Discussão dos resultados obtidos, análise dos relatórios experimentais e resolução da situação-problema.

Fonte: A autora (2026).

4.1 SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A sequência didática enquadra-se na perspectiva da experimentação investigativa, iniciando-se a partir de uma problematização relacionada a situações reais e contextualizadas. Essa abordagem favorece a participação ativa dos estudantes no processo de ensino e aprendizagem, estimulando-os a formular hipóteses, questionar, pesquisar, debater, refletir, avaliar, aplicar conhecimentos em novas situações e comunicar suas conclusões (Prsybyciem et al.,2018).

A atividade experimental investigativa caracteriza-se como de nível de abertura 2, uma vez que o problema é elaborado pelo professor, enquanto a formulação de hipóteses e proposição dos procedimentos experimentais ficam sob responsabilidade dos alunos (Pella, 1961).

4.1.1 Etapa 1: Apresentação da situação-problema.

A situação-problema insere os alunos em um ambiente investigativo, estimulando-os a analisar, discutir e elaborar estratégias para a resolução do problema proposto (Colares; Delaia; Silva, 2023). Assim, os estudantes mobilizam conhecimentos prévios e buscam novas informações para formular hipóteses e construir possíveis soluções (Silva; et al, 2013). Dessa forma, o uso da situação-problema favorece a participação ativa dos alunos no processo de ensino e aprendizagem (Araújo; et al, 2024).

A aula 1 deve ser iniciada com a apresentação da seguinte situação-problema:

Quadro 6 - Proposição do problema e levantamento de hipóteses.

Tema: Complexos na Química Forense: O teste de Scott
Em uma madrugada chuvosa na cidade de Recife, a polícia foi acionada após denúncias de movimentação suspeita em um galpão abandonado na zona portuária. Ao chegar ao local, os agentes encontraram sinais claros de atividade recente: embalagens plásticas espalhadas, balanças digitais e pequenos invólucros contendo um pó branco. Durante a perícia inicial, uma equipe técnica decidiu realizar um teste rápido no local para verificar a possível presença de substâncias ilícitas. Um dos peritos utilizou um reagente líquido rosa que, ao entrar em contato com o pó, produziu imediatamente uma coloração azul intensa.  O diagrama ilustra o teste de Scott. À esquerda, uma gota de reagente líquido rosa é adicionada a um pó branco. Uma seta branca aponta para a direita, onde o pó agora é de cor azul intensa, com o texto 'coloração azul' escrito acima dele. Apesar da aparente confirmação preliminar, outro perito presente no local demonstrou

cautela. Ele alertou que substâncias diferentes poderiam produzir respostas semelhantes no teste inicial, e que fatores como impurezas, concentração e composição da amostra poderiam interferir no resultado observado.

A equipe decidiu encaminhar parte do material para análise laboratorial mais detalhada, mas a interpretação inicial dos fenômenos observados gerou debate entre os envolvidos.

Considerando o cenário apresentado e assumindo o papel de integrante da equipe de análise química, como você explicaria os fenômenos observados durante o teste realizado? Qual substância poderia estar sendo investigada e qual teste químico possivelmente foi utilizado? Como os complexos e as transições eletrônicas (transições d-d) podem estar relacionados à mudança de coloração observada?

Além disso, analise quais fatores poderiam interferir nos resultados, levando a interpretações equivocadas, e proponha procedimentos experimentais que possibilitem reproduzir, investigar e validar as hipóteses levantadas a partir dos conceitos químicos envolvidos.

Fonte: Elaborado pela autora (2026).

4.1.2 Etapa 2: Levantamento de hipóteses

Após a leitura da situação-problema, os estudantes deverão ser convidados a refletir sobre o caso, assumindo o papel de integrantes de uma equipe de análise química forense, sendo incentivados a formular hipóteses iniciais sobre os fenômenos observados (Quadro 7).

Os momentos de reflexão e discussões iniciais baseiam-se nos estudos de Freire e Ausubel, valorizando os conhecimentos prévios dos estudantes como ponto de partida para o processo de aprendizagem, uma vez que a construção da resposta final parte das respostas dos estudantes às questões orientadoras (Carril et al., 2017).

Esta primeira aula se relaciona à primeira etapa da investigação guiada, na qual o tema a ser investigado é apresentado pelo professor (Souza et al., 2022). As hipóteses fornecidas

pelos alunos serão comparadas e articuladas aos conceitos presentes nas obras de Peter Atkins (2009).

Quadro 7- Questões orientadoras

Levantamento de hipóteses (ETAPA 2)

Os alunos serão incentivados a discutir coletivamente o problema, buscando explicar os fenômenos químicos envolvidos e relacioná-los aos seus conhecimentos prévios. Para orientar a discussão, será conduzido um momento dialogado com questões orientadoras, tais como:

- Você sabe o que é um complexo?
- Sabe o que acontece, do ponto de vista da Química Inorgânica, quando um complexo muda de cor?
- O que você acha que é uma ligação coordenada?
- Por que análises confirmatórias são relevantes em testes periciais?
- Quando você ouve a expressão "Química Forense", o que vem à sua mente?
- Você acredita que a Química pode ajudar na solução de crimes?
- Na sua opinião, como os peritos conseguem identificar substâncias desconhecidas?
- O pó branco apreendido pela polícia apresentou coloração azul após a realização de um teste. Qual teste você acha que pode ter sido realizado?
- Você acredita que esse teste pode ser reproduzido em laboratório? Se sim, como?
- Qual substância você acredita ter sido identificada?

Os estudantes farão registro, em um diário de bordo, de suas concepções iniciais e hipóteses sobre o tema proposto. A partir da leitura dessas anotações, o professor poderá conduzir uma discussão coletiva, valorizando os conhecimentos prévios da turma e estimulando a participação ativa dos alunos. Esse momento pode permitir identificar ideias e interpretações iniciais dos estudantes, constituindo o ponto de partida para o desenvolvimento das etapas subsequentes da sequência didática.

Material de apoio indicado para aprofundamento da química forense para ser estudado após a aula:



Testes colorimétricos
empregados na
Química forense

1.



Confiabilidade do teste
de Scott frente à
adulterantes

2.



Preparo e análise de
simulacros de drogas
de abuso

3.

4.



Além dos materiais indicados, recomenda-se a consulta a bases de dados científicas e acadêmicas confiáveis para realizar pesquisas sobre complexos, teoria do campo cristalino e realização de testes colorimétricos na perícia química:

1. <https://scholar.google.com.br>
2. https://www.scielo.org/pt/?utm_source=chatgpt.com

Posteriormente, será realizado um momento em aula no qual o professor deverá orientar os estudantes sobre a utilização dessas plataformas para a realização de pesquisas. Essa atividade terá como objetivo desenvolver a capacidade de busca e seleção de informações confiáveis, reduzindo o uso de fontes de pesquisa inadequadas e evitando a realização de atividades exclusivamente por meio de inteligências artificiais.

Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Em seguida, os alunos deverão ser incentivados pelo pesquisador a elaborar uma proposta experimental capaz de reproduzir resultados análogos aos observados na situação-problema, levando em consideração a alteração dos orbitais d do cobalto e transições d-d, de acordo com as orientações do seguinte enunciado: Com base na situação-problema apresentada, elabore uma proposta experimental capaz de reproduzir fenômenos químicos análogos aos observados no teste analisado. Sua proposta deve incluir os materiais necessários, os procedimentos a serem realizados, as possíveis observações esperadas e a justificativa química para os fenômenos observados.

O momento dialogado busca aproximar os estudantes à temática forense inserindo essa discussão dentro do ensino de Química Inorgânica. No Ensino Superior, a utilização da Química Forense empregada por meio da contextualização, incentiva os estudantes a

resolverem problemas reais e desenvolver habilidades de pensamento crítico e investigativo, além de tornar o aprendizado mais relevante (Oliveira et al., 2025).

A questão proposta na situação-problema exige um nível de cognição 3, requerendo que os estudantes utilizem os dados obtidos para formular hipóteses e propor possíveis soluções para o problema apresentado (Souza et al., 2022), conforme destacado no quadro 8.

Quadro 8 - Nível de cognição da questão proposta para os alunos.

Nível	Descrição
1	Requer que o estudante somente recorde uma informação partindo dos dados obtidos.
2	Requer que o estudante desenvolva atividades como sequenciar, comparar, contrastar, aplicar leis e conceitos para a resolução do problema.
3	Requer que o estudante utilize os dados obtidos para propor hipóteses, fazer inferências, avaliar condições e generalizar.

Fonte: Silva (2013, p.18).

A resposta da situação-problemas considerada significativa pelos estudantes pode ser aquela que o teste apresentado corresponde ao teste de Scott, utilizado na identificação preliminar de cocaína em cenas de crime (Conceição et al., 2014). Esse teste baseia-se em conceitos de coordenação química, evidenciados pela mudança de coloração causada pela complexação e pelas transições descritas pela teoria do campo cristalino (Soares, 2011).

4.1.3 Etapa 3: Planejamento

No primeiro momento da aula 2, sugere-se ser discutido e analisado o planejamento do procedimento experimental pelos estudantes para a execução do Teste de Scott em laboratório. Os estudantes poderão elaborar, em grupos de no máximo cinco participantes, um roteiro experimental contendo os materiais e reagentes necessários, a sequência das etapas do ensaio e os procedimentos de segurança, partindo dos modelos iniciados na (aula 1). Em seguida, os estudantes podem apresentar os planejamentos experimentais elaborados. Nesse

momento, podem ser discutidas a aplicabilidade, a viabilidade e os cuidados necessários para a realização dos testes, com mediação do professor. Durante essa etapa, o professor pode acompanhar e orientar a construção dos roteiros, como sugerido no Quadro 9.

Quadro 9 - Aula 2: Planejamento experimental

Tema: Complexos na Química Forense: Planejamento do teste de Scott
Planejamento experimental (ETAPA 3) Durante a etapa de planejamento do experimento, serão propostas questões orientadoras com a finalidade de estimular a reflexão dos estudantes sobre os aspectos teóricos e práticos envolvidos na atividade, favorecendo a construção do procedimento experimental e o desenvolvimento do pensamento científico, como: • Qual é o objetivo do Teste de Scott e em quais situações ele é utilizado? • Quais princípios da Química Inorgânica estão envolvidos na realização desse teste? • Quais reagentes e materiais são necessários para a execução do procedimento? • Qual a função de cada reagente empregado no experimento? • Quais evidências experimentais indicarão a formação do complexo esperado? • Quais cuidados de segurança e biossegurança devem ser observados durante a manipulação dos reagentes? • De que forma o roteiro experimental pode ser estruturado para garantir a reprodutibilidade do ensaio? • Quais são as limitações do Teste de Scott e por que ele não deve ser utilizado isoladamente para conclusões definitivas?
Momento expositivo dialogado No segundo momento, pode ser desenvolvida uma aula expositiva dialogada, de 120 minutos, com o objetivo de aprofundar os conhecimentos teóricos relacionados à química dos complexos, enfatizando os princípios que fundamentam o Teste de Scott e sua utilização em análises químicas. Essa abordagem buscará fornecer o embasamento científico necessário para a execução consciente e crítica do experimento, que será realizado na aula seguinte.
Materiais de apoio indicados para aprofundamento após a aula:



Fonte: A autora (2026).

A proposição de uma atividade experimental pelos estudantes incentiva tanto a criticidade quanto sua autonomia, contribuindo para o desenvolvimento do raciocínio lógico (Ferreira; Leite; Silva, 2023).

Para a elaboração dessa etapa da intervenção, o uso da contextualização no ensino de Química foi tomada como base, buscando conectar os conteúdos teóricos à realidade, experiências e ao cotidiano dos alunos e possivelmente transformar o conhecimento abstrato em algo significativo (Bejarano; Silva; Wartha, 2013).

Esse modelo valoriza o aluno como protagonista do processo educativo, sendo que o papel do professor no momento expositivo dialogado é de auxiliar para que os estudantes possam construir relações conceituais para explorar o problema que estão resolvendo (Souza et al., 2022).

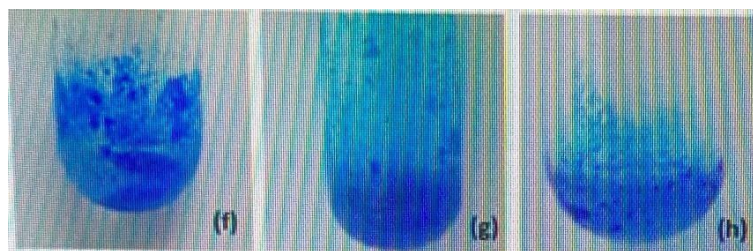
4.1.4 Etapa 4: Execução experimental

Na aula 3 poderá ser realizada uma atividade experimental no laboratório, na qual os estudantes executarão os procedimentos planejados e sistematizados na aula anterior,

colocando em prática os roteiros experimentais por eles elaborados para a realização do Teste de Scott (Quadro 10).

É necessário considerar que a presença de adulterantes e diluentes em amostras de cocaína provoca resultados falso-positivos em testes colorimétricos. Fármacos como a prometazina e a lidocaína são capazes de produzir resposta positiva no teste de Scott, em razão da formação do complexo colorido $[\text{Co}(\text{SCN})_2]^{2-}$ como demonstrado na Figura 10. Tal comportamento pode ser reproduzido experimentalmente em laboratório (Conceição et al., 2014).

Figura 11 – Substâncias com resultado positivo ao Teste de Scott.



Fonte: Adaptado de Conceição et al (2014).

As amostras (f) Cocaína, (g) Prometazina e (h) Lidocaína apresentaram resultado positivo no Teste de Scott, conforme demonstrado pela formação do complexo azul característico da reação.

Quadro 10 - Aula 3: Execução experimental e teste das hipóteses

Tema: Complexos na Química Forense: Realização do teste de Scott	
Execução (ETAPA 4)	
Com o intuito de aproximar a prática das Ciências Forenses, sugere-se a que os estudantes assumam o papel de peritos criminais responsáveis pela análise de uma amostra suspeita. Durante a execução do experimento, os grupos poderão registrar todas as etapas do procedimento em um diário de bordo, contendo descrições das atividades realizadas, observações sobre as alterações ocorridas, e registros fotográficos (imagens simuladas da perícia) das evidências experimentais.	
Ao longo da atividade, o professor pode atuar como mediador, acompanhando a	

execução dos procedimentos, orientando quanto às normas de segurança e incentivando a análise crítica dos resultados obtidos, relacionando-os aos conceitos de química dos complexos estudados nas aulas anteriores. Dessa forma, busca-se desenvolver habilidades de investigação científica, registro de dados e argumentação baseada em evidências.

Para favorecer a reflexão sobre os fenômenos observados durante a prática, o professor poderá realizar perguntas que poderão ser discutidas durante a execução do experimento, como:

- Qual é o papel do íon cobalto (II) na realização do Teste de Scott?
- Por que ocorre a mudança de coloração durante as diferentes etapas do procedimento?
- que está acontecendo, do ponto de vista químico, durante a formação e a transformação dos complexos observados?
- Teste de Scott pode ser considerado um método conclusivo para a identificação da substância analisada? Por quê?
- De que maneira a Química contribui para o trabalho da perícia criminal e para a produção de evidências científicas?
- Represente o esquema dessa reação nas suas anotações.

Fonte: A autora (2026).

Essas atividades planejadas dentro da experimentação investigativa fundamentam-se nos princípios do ensino por investigação. No entanto, para que uma atividade seja caracterizada como experimentação investigativa, é indispensável a presença dos experimentos como elemento central do processo de ensino e aprendizagem (Cabral; Chaves; Morte, 2024).

Na etapa 4, destaca-se o momento em que os três níveis de conhecimento são explorados. O nível fenomenológico está presente na realização do Teste de Scott, por meio do manuseio dos reagentes e da observação das mudanças de coloração durante a análise das amostras. O nível submicroscópico manifesta-se na interpretação das transformações químicas envolvidas no teste, especialmente no papel desempenhado pelo íon cobalto (Co^{2+}) na formação dos complexos responsáveis pela alteração de cor. Já o nível simbólico é contemplado pela utilização de equações químicas, esquemas estruturais e representações dos compostos de coordenação empregados para descrever as espécies formadas durante a reação.

4.1.5 Etapa 5: Sistematização do conhecimento.

Na aula 4, com base na situação-problema e nos resultados obtidos na prática, os estudantes deverão elaborar um laudo pericial, apresentando a análise das evidências, a interpretação do resultado do Teste de Scott (positivo ou negativo), suas limitações e os conceitos químicos envolvidos no experimento.

Além da atividade escrita (laudo pericial), os grupos poderão produzir um vídeo em formato de investigação forense, no estilo *CSI*, utilizando os registros e as "provas" coletadas durante a atividade experimental para apresentar a resolução do caso.

Os resultados das atividades produzidas pelos estudantes poderão ser discutidas e aprofundadas na posteriormente, na aula 5 (Quadro 11).

Quadro 11 - Aula 5: Sistematização do conhecimento

Tema: O Papel da Química na Investigação Criminal: Uma Simulação Pericial
Discussão dos resultados A partir do laudo pericial e dos vídeos produzidos pelos próprios grupos, os estudantes poderão analisar e discutir coletivamente os resultados obtidos, com a mediação do professor, buscando estabelecer relações entre as evidências experimentais e os conceitos envolvidos nos complexos metálicos. Durante essa etapa, os alunos podem relacionar suas observações aos conteúdos de Química de Coordenação e Teoria do Campo Cristalino (TCC), utilizando esses conceitos para interpretar o comportamento dos complexos e construir, em grupo, a resolução da situação-problema apresentada no início da sequência didática.

Fonte: A autora (2026).

Em síntese, a Sequência Didática proposta busca integrar os conhecimentos da Química de Coordenação à experimentação investigativa por meio de uma abordagem contextualizada na Química Forense, favorecendo a construção ativa do conhecimento pelos estudantes. Ao articular problematização, elaboração de hipóteses, planejamento, experimentação e sistematização dos resultados, a proposta visa promover o desenvolvimento do pensamento científico, da autonomia e da capacidade de argumentação fundamentada em evidências, tornando o processo de ensino e aprendizagem mais significativo e alinhado às demandas da formação em Química.

5 CONCLUSÕES

A sequência didática elaborada nesta pesquisa, voltada para o ensino dos complexos metálicos na Química Inorgânica a partir de uma temática forense, visa contribuir para o processo de ensino e aprendizagem por meio da contextualização, problematização e da experimentação investigativa. Além disso, a proposta teve como objetivo valorizar os conhecimentos prévios dos estudantes, uma vez que o público-alvo corresponde a uma etapa da graduação na qual os discentes já possuem contato inicial com conceitos relacionados aos complexos metálicos. Dessa forma, a atividade possibilita que esses conhecimentos sejam mobilizados e ampliados ao longo do processo investigativo.

Para a elaboração da sequência buscou-se integrar os três níveis de representação do conhecimento químico propostos no triplete de Johnstone (macroscópico, microscópico e simbólico), promovendo um ambiente de aprendizagem capaz de favorecer a construção de significados e minimizar lacunas associadas ao modelo tradicional de ensino, frequentemente baseado na memorização e reprodução de conceitos. A articulação entre esses níveis possibilita que os estudantes compreendam os fenômenos químicos não apenas pela observação experimental.

A sequência didática foi estruturada em cinco etapas principais: proposição do problema, levantamento de hipóteses, planejamento, execução e sistematização do conhecimento. Essas etapas foram organizadas de acordo com os princípios da experimentação investigativa, mantendo-se em um nível de abertura 2, no qual o problema é elaborado pelo professor, enquanto as etapas seguintes são conduzidas pelos estudantes com mediação docente. Nesse formato, o professor assume o papel de orientador do processo investigativo, auxiliando os estudantes por meio de questionamentos, direcionamentos e suporte durante o desenvolvimento das atividades.

A escolha desse nível de abertura teve como objetivo equilibrar autonomia e orientação. Uma atividade excessivamente fechada poderia limitar a participação dos estudantes e aproximar-se de uma abordagem tradicional, baseada apenas na execução de procedimentos previamente estabelecidos. Por outro lado, uma proposta totalmente aberta poderia gerar dificuldades relacionadas à organização da investigação, considerando a necessidade de adaptação dos estudantes a essa metodologia. Dessa forma, a liberdade proporcionada durante o planejamento das atividades experimentais permitiu que os

estudantes explorassem os fenômenos, tomassem decisões e assumissem responsabilidades no processo de construção do conhecimento.

Durante todas as etapas, buscou-se aproximar os estudantes da temática investigada a fim de auxiliá-los na elaboração e no teste de suas hipóteses, por meio da indicação de fontes confiáveis de pesquisa e da realização de questionamentos que estimulem a argumentação, a reflexão e o confronto de ideias. Todas as atividades foram relacionadas aos conteúdos de Química Inorgânica, especificamente aos compostos de coordenação, tendo como temática central o teste de Scott, uma análise colorimétrica utilizada na identificação de determinadas substâncias e fundamentada na formação de complexos envolvendo o íon cobalto.

A mudança de coloração observada no teste de Scott está relacionada à formação de diferentes espécies complexas de cobalto em função dos ligantes presentes no meio reacional. Essa alteração pode ser compreendida a partir da Teoria do Campo Cristalino, que explica a interação entre o metal de transição e os ligantes ao seu redor. De acordo com essa teoria, a aproximação dos ligantes provoca o desdobramento dos orbitais d do metal em diferentes níveis de energia, devido às interações eletrostáticas entre os elétrons dos orbitais d e os pares de elétrons dos ligantes. Quando a luz branca incide sobre o complexo formado, determinadas frequências são absorvidas para promover transições eletrônicas entre esses níveis energéticos, enquanto a radiação não absorvida é transmitida ou refletida, sendo percebida como a cor observada. Assim, a coloração apresentada pelo complexo está diretamente relacionada à diferença de energia entre os orbitais d e às características do campo gerado pelos ligantes.

A escolha da temática forense pode permitir que os estudantes compreendam e expliquem o fenômeno químico a partir de uma situação contextualizada e próxima de seu cotidiano, considerando a ampla presença de investigações criminais em séries, filmes e meios de comunicação. Além disso, a abordagem permite relacionar a Química com aspectos sociais, científicos e tecnológicos, promovendo reflexões sobre o papel da ciência na sociedade.

A temática escolhida favorece ainda uma abordagem interdisciplinar entre Química e sociedade, estimulando discussões sobre aspectos éticos, científicos e tecnológicos relacionados à utilização do conhecimento químico.

Por fim, a proposta desenvolvida reafirma a importância de uma educação química fundamentada na investigação, na valorização dos conhecimentos prévios dos estudantes e na articulação dos diferentes níveis de representação do conhecimento químico. Dessa maneira, busca-se favorecer uma aprendizagem mais motivadora, significativa e duradoura, contribuindo para a redução de dificuldades relacionadas à desmotivação, reprovação e evasão nos cursos de Química.

Como perspectivas futuras, pretende-se disponibilizar a sequência didática para docentes de Química Inorgânica, contribuindo com novas propostas para o ensino dessa disciplina. Além disso, almeja-se sua aplicação em contexto real de ensino, com a realização de análises sobre o processo de aprendizagem dos estudantes, a fim de avaliar as potencialidades da proposta, bem como seus impactos na compreensão dos conceitos relacionados aos complexos metálicos e no desenvolvimento de habilidades investigativas.

REFERÊNCIAS

- ALBANO, Wladimir Mattos; DELOU, Cristina Maria Carvalho. **Principais dificuldades apontadas no ensino-aprendizagem de Química para o Ensino Médio**: revisão sistemática.[s.l.]. SciELO Preprints, 2023.
- ALMEIDA, Célio dos Santos; BENTES, Vera Lúcia Imbiriba; YAMAGUCHI, Klenicy Kazumy de Lima. **Aprendizagem em Química**: relato de experiência sobre as dificuldades detectadas durante as monitorias das disciplinas de Química Teórica e Experimental. *Revista Profissão Docente*, Uberaba, MG, v. 23, n. 48, p. 01-15, 2023.DOI:10.31496/rpd.v23i48.1500.
- ALVES, Natália Bozzetto; SANGIOGO, Fábio André; PASTORIZA, Bruno dos Santos. Dificuldades no ensino e na aprendizagem de química orgânica do ensino superior-estudo de caso em duas Universidades Federais. *Química Nova*, v. 44, pág. 773-782, 2021.
- ÂNGELIS, Rebeca. **Descubra a importância da química forense**. Univeritas Guarulhos (UNG), 2018. Disponível em: <https://www.ung.br/noticias/descubra-importancia-da-quimica-forense>. Acesso em: 29 nov. 2025.
- ANTUNES-SOUZA, Thiago; ALEME, Helga Gabriela. Reinterpretando o triângulo de Johnstone: o papel constitutivo da linguagem e suas contribuições para a experimentação no ensino de Química. *Revista Cocar*, v. 19, n. 37, p. 1-20, 2023.
- ATKINS, Peter; JONES, Loretta; LAVERMAN, Leroy. **Princípios de Química**: Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente. Bookman Editora, 2018.
- BARBOSA, Rodrigo Cesar Fernandes; CORDEIRO, Flavio Couto. **Preparo e análise qualitativa de simulacros de drogas de abuso**: adaptações de métodos analíticos de química forense para experimentação em sala de aula – uma proposta didática. Campina Grande. Realize Editora, 2021. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/82519>. Acesso em: 28 mai. 2026.
- BARROS, Dorvanei Maciel et al. **A experimentação no ensino de química**: reflexões a partir dos trabalhos do ENEQ. 2021. Trabalho de conclusão de curso (licenciatura em química) – instituto federal de educação, ciência e tecnologia do Amazonas (IFAM), Manaus, 2021.
- BATISTA, Renata FM; SILVA, Cibelle Celestino. A abordagem histórico-investigativa no ensino de Ciências. *Estudos avançados*,[s.l.], v. 32, p. 97-110, 2018.
- BATISTONI, Maíra et al. A importância da autonomia dos estudantes para a ocorrência de práticas epistêmicas no ensino por investigação. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, p. 905-933, 2018.
- BORBA, Fabiane Inês Menezes de Oliveira; GOI, Mara Elisângela Jappe. Resolução de Problemas e Experimentação implementadas nas aulas de Ciências Naturais em turma de Nono Ano da Educação Básica. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 5, p. e10511527975-e10511527975, 2022.
- BRAIT, Lílían Ferreira Rodrigues et al. A relação professor/aluno no processo de ensino e aprendizagem. *Itinerarius Reflectionis*, Jataí, GO, v. 6, n. 1, 2010.
- BRIGHENTE, Miriam Furlan; MESQUIDA, Peri. Paulo Freire: da denúncia da educação bancária ao anúncio de uma pedagogia libertadora. *Pro-Posições*, Campinas, SP, v. 27, n. 1, p. 155-177, 2016.
- BURKS, Raychelle; ÖHRSTRÖM, Lars; NOA, Francoise M. Amombo. Clarifying the complex chemistry of cobalt(II) thiocyanate-based tests for cocaine using single-crystal X-ray diffraction and spectroscopic techniques. *Journal of Forensic Sciences*, Washington, DC, v. 69, n. 1, p. 291–300, 2024.
- CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. Fundamentos teóricos e metodológicos do ensino por investigação. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, São Paulo, p. 765-794, 2018.
- CARVALHO, Lucelma Pereira de. **Experimentação investigativa no ensino de Química**: fluxionalidade estrutural em compostos de coordenação. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) – Centro Acadêmico do Agreste, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2018.

CAVALHEIRO, Fabiéle de Oliveira. **Fotossíntese: uma proposta de experimentação investigativa para o ensino fundamental**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura interdisciplinar em ciências naturais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Ponta Grossa, PR, 2018.

CHAVES, Élison Patrício; MORTE, Guilherme Rubens Soares Boa; CABRAL, Wallace Alves. A experimentação investigativa em um itinerário formativo como ferramenta para a promoção dos níveis do conhecimento químico. **Revista Educação em Foco**, Juiz de Fora, v. 29, e29017, 2024.

CONCEIÇÃO, Vitor N et al. Estudo do teste de Scott via técnicas espectroscópicas: um método alternativo para diferenciar cloridrato de cocaína e seus adulterantes. **Química Nova**, v. 37, p. 1538-1544, 2014.

COSTA, José Henrique Batista da et al. Química forense na educação: aplicação do luminol na detecção de sangue e a divulgação científica em escolas públicas. **Revista Delos**, Curitiba, v.18, n.69, p.01-18, 2025.

COSTA, Matheus Pires da; ASSAI, Natany Dayani de Souza; ARRIGO, Viviane. Proposta de validação de sequências de ensino e aprendizagem: o estudo de uma SEA sobre cálculo estequiométrico. **Revista Tempos e Espaços em Educação**, v. 15, n. 34, 2022.

DALL'OGGIO, Camila; HOEHNE, Lucélia. Compostos de coordenação e a química inorgânica. **Revista Destaques Acadêmicos**, Lajeado, RS, v. 5, n. 4, 2013.

DEL PINO, Jose Claudio; FRISON, Marli Dallagnol. Química: um conhecimento científico para a formação do cidadão. **Revista de Educação, Ciências e Matemática**, v. 1, n. 1, 2011.

FERIGOLO, Maristela; SIGNOR, Luciana. **Cocaína**. Versão 1.0. 30 ago. 2007. Disponível em: <https://www1.ibb.unesp.br/Home/UnidadesAuxiliares/CentrodeAssistenciaToxicologica-CEATOX/cocaina.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2026.

FERNANDEZ, Carmen. Formação de professores de Química no Brasil e no mundo. Estudos avançados, v. 32, p.205-234, 2018.

FERREIRA, Adriane Guedes. Química forense e técnicas utilizadas em resoluções de crimes. **Acta de Ciências e Saúde**, v. 2, n. 1, p. 1-13, 2016.

FERREIRA, Luiz Henrique; HARTWIG, Dácio Rodney; OLIVEIRA, Ricardo Castro de. Ensino experimental de química: uma abordagem investigativa contextualizada. **Química nova na Escola**, v. 32, n. 2, p. 101-106, 2010.

FREITAS, Aline Souza de. **Química forense como ferramenta didática no ensino de química: perspectivas e aplicações**. 2025. Trabalho de conclusão de curso (Curso de especialização em ensino de ciências e matemática) – Instituto Federal de educação, ciência e tecnologia, Paraíba, 2025.

FREITAS, I. da S.; SILVA, C. N. M.; BARBOSA, A. de P. Abordagens metodológicas que auxiliam na identificação química da cocaína apreendida no Brasil. **Revista Brasileira de Criminalística**, Rio de Janeiro, v. 6, n. 3, p. 23-29, 2017.

FREITAS-SILVA, Gilson de; CORRÊA, Roberta Guimarães; QUADROS, Ana Luiza de. Promovendo o envolvimento e a aprendizagem de estudantes no Ensino Superior: uma experiência com a escrita científica na disciplina de Química Inorgânica. **Química Nova**, v. 45, p. 466-473, 2022.

GIFFONI, Joel de Sousa; BARROSO, Maria Cleide da Silva; SAMPAIO, Caroline de Gois. Aprendizagem significativa no ensino de Química: uma abordagem ciência, tecnologia e sociedade. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 6, p. e13963416, 2020.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GIORDAN, Marcelo. O papel da experimentação no ensino de ciências. **Química nova na escola**, v. 10, n. 10, p. 43-49, 1999.

KASAKOFF, Leonardo Baird. **Quantificação do teor de cocaína e seus principais adulterantes em amostras de droga apreendidas no estado do Acre no ano de 2014**. Dissertação (Mestrado em Ciência, Inovação e Tecnologia para a Amazônia) – Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2015.

LEITE, Bruno Silva. A experimentação no ensino de química: uma análise das abordagens nos livros didáticos. **Educación química**, v. 29, n. 3, p. 61-78, 2018.

MACEDO, Dalilla Franciele et al. Adulterantes na cocaína e outras drogas e os riscos para o organismo: revisão de literatura. **Ciências biológicas e da saúde: integrando saberes em diferentes contextos**, v. 1, p. 37-56, 2022.

MARQUES, Giovanna Borba. **Padronização do teste de Scott na Polícia Científica do Paraná**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Farmácia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2021.

MARTINS, Guilherme BC; SUCUPIRA, Renata R.; SUAREZ, Paulo AZ. A Química e as Cores. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 4, p. 1508-1534, 2015.

MASINI, Elcie F. Salzano; MOREIRA, Marcos Antonio. **Aprendizagem significativa**: condições para ocorrência e lacunas que levam a comprometimentos. Vetor Editora, v.1, p.16-24, 2013.

MELO, João Paulo Cunha de. **Educação bancária versus educação problematizadora em Paulo Freire**. Universidade Federal do Maranhão (UFMA), São Bernardo, 2025.

NUNES, João Batista Mendes; GONÇALVES, Terezinha Valim Oliver. Experimentação investigativa no ensino-aprendizagem de conhecimentos químicos socialmente relevantes. **Interfaces da Educação**, v. 13, n. 37, 2022.

OLIVEIRA, Gilvania Santos de et al. A aplicabilidade da Química Forense no ensino superior em diferentes áreas da Química. **RevistaFT**, v.29, n.143, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.69849/revistaft/th10250221234>. Acesso em: 2 jun. 2026.

PELIZZARI, Adriana et al. Teoria da aprendizagem significativa segundo Ausubel. **revista PEC**, v. 2, n. 1, p. 37-42, 2002.

PEREIRA, Kézia de Jesus; ROTTA, Jeane Cristina Gomes. A experimentação investigativa na formação de professores de ciências naturais: a importância da extensão universitária. **Educação On-line**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 47, 2024.

PRSYBYCIEM, Moises Marques; SILVEIRA, R. M. C. F.; SAUER, Elenise. Experimentação investigativa no ensino de química em um enfoque CTS a partir de um tema sociocientífico no ensino médio. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 17, n. 3, p. 602-625, 2018.

REIS, Geilson Mendes dos et al. O USO DE SITUAÇÕES-PROBLEMA NO ENSINO DE MATEMÁTICA FINANCEIRA: uma proposta pedagógica para os alunos do 9º ano do ensino fundamental. **Ensino da Matemática em Debate**, p. 145-164, 2024.

RESENDE, Vitória; LINDEMANN, Renata Hernandez. A Química Forense no Ensino de Química:: Análise bibliográfica do ENEQ e RASBQ de 2010 a 2022. **Anais dos Encontros de Debates sobre o Ensino de Química- ISSN 2318-8316**, n. 42, 2023.

ROQUE BRAVO, Rita et al. Cocaína: uma visão geral atualizada sobre química, detecção, biocinética e aspectos farmacotóxicológicos, incluindo padrões de abuso. **Toxins**, v. 14, n. 4, p. 278, 2022.

SANTANA, Ana Júlia Soares; MOTA, Maria Danielle Araújo; LORENZETTI, Leonir. Ensino por Investigação no ensino de biologia: uma revisão sistemática dos eventos ENEBIO e ENPEC. **Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 5, n. 1, 2022.

SANTOS, Leandro Marcos et al. Química de Coordenação: Um Sonho Audacioso de Alfred Werner. **Revista Virtual de Química**, v. 6, n. 5, p. 1260-1281, 2014.

SANTOS, Lucelia Rodrigues dos; MENEZES, Jorge Almeida de. A experimentação no ensino de Química: principais abordagens, problemas e desafios. **Revista Eletrônica Pesquiseduca**, v. 12, n. 26, p. 180-207, 2020.

SASSERON, Lúcia Helena. Alfabetização científica, ensino por investigação e argumentação: relações entre ciências da natureza e escola. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 17, n. spe, p. 49-68, 2015.

SCHNETZLER, Roseli P.; ANTUNES-SOUZA, Thiago. Proposições didáticas para o formador químico: a importância do triplete químico, da linguagem e da experimentação investigativa na formação docente em química. **Química nova**, v. 42, p. 947-954, 2019.

SILVA, Antônio Caian de Souza et al. Reflexões sobre o ensino tradicionalista de Química e uma comparação entre as ferramentas de ensino: visita técnica e softwares de simulação interativa. **Research, Society and Development**, Universidade Federal de Itajubá, v. 8, n. 8, 2019.

SILVA, Oberto Grangeiro da; LEITE, José Widson de Queiroz; FERREIRA, Ulysses Vieira da Silva. O grau de abertura das práticas experimentais desenvolvidas por professores de química. **Realize editora**, Caldas novas, GO, 2023.

SILVA, Sonjenaria Guedes. **As principais dificuldades na aprendizagem de química na visão dos alunos do ensino médio**. In: IX congresso de iniciação científica do ifrn. 2013.

SILVEIRA, Felipe Alves; VASCONCELOS, Ana Karine Portela. Uma revisão sistemática da literatura da inter-relação entre experimentação e aprendizagem significativa no ensino da química. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 22, n. 3, p. 484-507, 2023.

SOARES, Brunna Torres de Souza. **Os compostos de coordenação em uma perspectiva histórica**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Técnico em Análises Clínicas) — Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2011.

SOUSA, Lucas Felipe Reis de. **O uso de sequência didática e Situações-Problema como metodologia ativa para o ensino de química em escola da cidade de Santana do Araguaia-PA**. Araguaína, TO, 2023.

SOUSA, Marcos Paulo Moreira de et al. **Aprendizagem significativa proposta por David Ausubel e sua contribuição na EPT**. SciELOPreprints.12096. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.12096>. Acesso em: 28 jun. 2026.

SOUZA, Ana Kédyna Ribeiro de; et al. A química forense como ferramenta de ensino através de uma abordagem em cts. **Conexões-Ciência e Tecnologia**, v. 11, n. 6, p. 7-16, 2017.

SOUZA, Anne Michelle Garrido Pedrosa de. **Fundamentos da química de coordenação**. São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, 2009.

SOUZA, Fabio Luiz de et al. **Atividades experimentais investigativas no ensino de química**. Centro Paula Souza (Setec/MEC), São Paulo, 2022.

SUSSUCHI, Eliana Midori; SANTOS, Danilo Oliveira. **Teoria de ligação de valência (TLV) e repulsão dos pares de elétrons da camada de valência (RPECV)**. Universidade Federal de Sergipe (UFS), CESAD, 2017.

TREVISAN, Tatiana Santini; MARTINS, Pura LO. **A prática pedagógica do professor de química**. Curitiba, 2005.

TURAN-OLUK, NURCAN. Conhecimento de futuros professores de química sobre o número de coordenação e o número de oxidação em compostos de coordenação. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 24, n. 1, p. 234-244, 2023.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA. **Química Forense**. Ponta Grossa: Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2017.

VILELA, Charleide Xisto; AMARAL, Edenia Maria Ribeiro do; BARBOSA, Rejane Martins Novais. O USO DE SITUAÇÕES-PROBLEMA NO ENSINO NOTURNO DE QUÍMICA THE USE OF PROBLEM-SITUATION IN THE NIGHT CHEMISTRY TEACHING.

WARTHA, Edson José; SILVA, EL da; BEJARANO, Nelson Rui Ribas. Cotidiano e contextualização no ensino de química. **Química nova na escola**, v. 35, n. 2, p. 84-91, 2013.

ZÔMPERO, Andreia Freitas; LABURÚ, Carlos Eduardo. Atividades investigativas no ensino de ciências: aspectos históricos e diferentes abordagens. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, v. 13, n. 3, p. 67-80, 2011.