

**METODOLOGIA 3CS NO
ENSINO DE QUÍMICA
FARMACÊUTICA
(CRIATIVIDADE,
COLABORAÇÃO E
CONHECIMENTO):
BIOCOMPATIBILIDADE E
CITOTOXICIDADE DE
NANOPARTÍCULAS DE
PRATA**

**3CS METHODOLOGY IN PHARMACEUTICAL CHEMISTRY TEACHING
(CREATIVITY, COLLABORATION AND KNOWLEDGE): BIOCOMPATIBILITY
AND CYTOTOXICITY OF SILVER NANOPARTICLES**

Ciências Exatas e da Terra • 10/04/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/775692481](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/775692481)

Francisco José Mininel¹

Silvana Márcia Ximenes Mininel²

RESUMO

O avanço da nanotecnologia tem impulsionado progressos relevantes na Química Farmacêutica, sobretudo no estudo de sistemas coloidais e nanomateriais com propriedades químicas diferenciadas. Nesse contexto, as nanopartículas de prata (AgNPs) destacam-se por sua elevada reatividade superficial, decorrente da alta razão área/volume, o que intensifica sua atividade biológica. Este estudo descreve uma abordagem didática aplicada a estudantes de Farmácia, na qual o professor utilizou a metodologia dos 3Cs (Contextualização, Construção e Consolidação do conhecimento) para o ensino das propriedades e aplicações das AgNPs. A ação antimicrobiana dessas nanopartículas está relacionada à liberação controlada de íons Ag^+ , que interagem com grupos funcionais contendo enxofre (-SH) e fósforo presentes em biomoléculas, como proteínas e ácidos nucleicos, promovendo desnaturação proteica e inibição enzimática. Por outro lado, essa mesma reatividade pode ocasionar efeitos citotóxicos em células humanas, especialmente pela geração de espécies reativas de oxigênio (ROS), desencadeando estresse oxidativo e danos a estruturas celulares essenciais, como mitocôndrias e DNA. A aplicação da metodologia dos 3Cs favoreceu a compreensão crítica dos estudantes acerca dos benefícios e riscos associados ao uso das AgNPs na área farmacêutica.

Palavras-chave: Metodologia dos 3Cs. Nanotecnologia. Nanopartículas de prata. Ação antimicrobiana. Estresse oxidativo.

ABSTRACT

The advancement of nanotechnology has driven significant progress in Pharmaceutical Chemistry, particularly in the study of colloidal systems and nanomaterials with differentiated chemical properties. In this context, silver nanoparticles (AgNPs) stand out for their high surface reactivity, resulting from a high surface area/volume ratio,

which intensifies their biological activity. This study describes a didactic approach applied to Pharmacy students, in which the professor used the 3Cs methodology (Contextualization, Construction, and Consolidation of knowledge) to teach the properties and applications of AgNPs. The antimicrobial action of these nanoparticles is related to the controlled release of Ag⁺ ions, which interact with sulfur-containing (-SH) and phosphorus-containing functional groups present in biomolecules, such as proteins and nucleic acids, promoting protein denaturation and enzyme inhibition. On the other hand, this same reactivity can cause cytotoxic effects in human cells, especially through the generation of reactive oxygen species (ROS), triggering oxidative stress and damage to essential cellular structures, such as mitochondria and DNA. The application of the 3Cs methodology favored the students' critical understanding of the benefits and risks associated with the use of AgNPs in the pharmaceutical field.

Keywords: 3Cs methodology. Nanotechnology. Silver nanoparticles. Antimicrobial action. Oxidative stress.

1. INTRODUÇÃO

As metodologias ativas buscam promover uma educação mais significativa, crítica e contextualizada, incentivando o desenvolvimento de competências essenciais para o século XXI, como o pensamento crítico, a colaboração e a autogestão do aprendizado. Nesse contexto, as **metodologias ativas** de aprendizagem vêm ganhando espaço no ambiente educacional, tanto no setor público quanto no privado. Essas metodologias buscam romper com o modelo tradicional de ensino, em que o professor detém o conhecimento e o transmite aos alunos de maneira unilateral. Abordagens mais modernas e eficazes priorizam

a troca de conhecimento e o engajamento dos estudantes no processo de ensino-aprendizagem.

Para Gomes (2018), está clara a necessidade de se conhecer metodologias e estratégias pedagógicas capazes de fundamentar uma ligação entre os saberes escolares e correlacionar com o cotidiano, por meio de atividades práticas de experimentação e da observação. Neste contexto, o papel do educador passa a ser o de mediador e facilitador, instigando os alunos a buscar suas próprias respostas e estimulando o desenvolvimento de habilidades essenciais no século XXI, como **pensamento crítico, resolução de problemas e trabalho em equipe**. Muitas dessas técnicas incluem a aprendizagem baseada em projetos, aprendizagem colaborativa, ensino híbrido, entre outras. É importante ressaltar que as **metodologias ativas de aprendizagem** não substituem os métodos tradicionais, mas sim complementam e enriquecem o processo educacional. Cabe a cada instituição de ensino e a seus profissionais analisarem as melhores formas de implementação dessas técnicas inovadoras, a fim de melhor atender às necessidades específicas de seus estudantes.

As **Metodologias Ativas de Aprendizagem** têm suas raízes em teorias educacionais do século XX. Educadores importantes, como John Dewey, Jean Piaget e Lev Vygotsky, desenvolveram teorias que enfatizavam a importância do **aprendizado ativo**, em que os estudantes constroem seu conhecimento por meio das experiências vivenciadas. Com o avanço das tecnologias da informação e comunicação, as **Metodologias Ativas** foram se adaptando e evoluindo para atender às necessidades de um contexto educacional cada vez mais dinâmico. Nesse cenário, percebeu-se a

urgência em buscar formas de ensino mais eficazes e atrativas para os estudantes.

Diante disso, é importante ressaltar que essa participação seja com autenticidade no processo, permitindo autonomia, autoconfiança e autodeterminação. Promovendo um espaço reflexivo alinhado com a realidade, com vista à intervenção. A sociedade se beneficiará de novos atores capazes de atuar sobre os problemas existentes (PERES, 2020).

No contexto do Ensino Superior, as **metodologias ativas** têm sido adotadas em diversas áreas do conhecimento. Um exemplo é a **Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL)**, onde os estudantes são desafiados a resolver problemas reais e complexos, por meio da cooperação e trabalho em equipe.

As estratégias de ensino para aprendizagem ativa são projetadas para levar o aluno a descobrir fenômenos e compreender conceitos por conta própria e, por sua vez, levá-lo a relacionar suas descobertas com seu conhecimento prévio do mundo ao seu redor. Dessa forma, o conhecimento que se constrói ganha mais significado do que transferir passivamente informações aos alunos. Nas estratégias ativas de aprendizagem, os alunos são os principais agentes da construção do conhecimento e da aprendizagem pela ação, enquanto os professores desempenham o papel de facilitadores no processo de ensino. Ele deve atuar como um mediador cuidadoso no processo de construção do conhecimento do aluno (SANTOS, 2015).

Nesse trabalho, buscou-se utilizar a Metodologia dos 3 “Cs”, ou seja, Criatividade, Colaboração, Conhecimento, na busca de informações

sobre a aplicabilidade de nanopartículas de prata no contexto medicinal e no setor produtivo. O artigo foi desenvolvido de acordo com a metodologia da pesquisa de caráter qualitativo onde foi realizado um estudo bibliográfico integrativo, utilizando diversos referenciais de pesquisa que tratam da utilização das nanopartículas de prata na área medicinal e no setor produtivo, envolvendo metodologias ativas no contexto do ensino universitário.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A metodologia tradicional de aulas expositivas pressupõe que todos os estudantes compreendem as informações transmitidas pelo docente em um mesmo ritmo (MILHORATO & GUIMARÃES, 2016).

As metodologias ativas contrapõem-se ao ensino tradicional ao colocar o aluno como protagonista do seu próprio aprendizado, em vez de um receptor passivo de informações. O professor assume o papel de mediador e facilitador, que instiga a reflexão e o desenvolvimento de habilidades como pensamento crítico e resolução de problemas. As metodologias ativas focam na experiência e na construção do conhecimento, utilizando ferramentas como aprendizagem baseada em problemas, sala de aula invertida e projetos práticos, o que difere do modelo tradicional que se baseia na transmissão unilateral de conteúdo pelo docente.

Ao utilizar Metodologia Ativas, o docente pode disponibilizar materiais de ensino, como videoaulas e textos didáticos, por meio das TDIC, para que o estudante compreenda da maneira que considere mais adequada, promovendo um intercâmbio de conhecimento dinâmico e pensamento crítico entre estudantes e docentes (SUHR, 2016).

Assim sendo, os métodos de ensino onde os estudantes são proativos e protagonistas de seu próprio aprendizado possuem várias vantagens que os tornam viáveis sua implementação, inclusive no ensino superior. Segundo Valente (2015), tal fenômeno é viável graças ao desenvolvimento da tecnologia e da crescente disponibilidade de informações em todo lugar e tempo, além da facilidade de acesso a tais.

A Metodologia 3 “Cs” não é um termo padronizado, mas pode ser interpretada como uma referência a abordagens de ensino que integram Ciência, Comunicação e Cultura (ou cotidiano), como no modelo CTSA (Ciência, Tecnologia e Sociedade).

Essa metodologia busca dar sentido ao conteúdo químico, conectando-o a questões sociais, tecnológicas e ambientais, promovendo a aprendizagem significativa e a participação ativa dos estudantes universitários.

A metodologia refere-se a 3 “Cs” para inovação na Educação: Criatividade, Colaboração, Conhecimento (Figura 1).

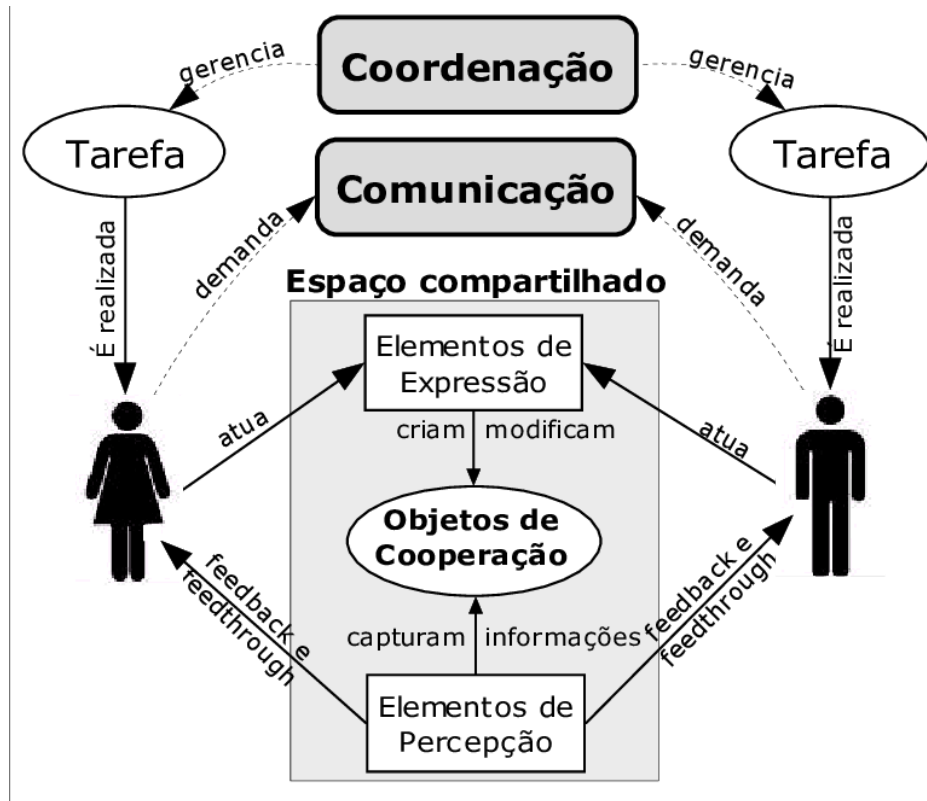
- **Aplicabilidade:** Uma proposta para inovar as práticas educacionais, focando no desenvolvimento de competências essenciais.

Descrição:

- **Criatividade:** Estimular a inovação, o pensamento original e a busca por novas soluções.
- **Colaboração:** Promover o trabalho em equipe e a troca de saberes entre os alunos e educadores.

- **Conhecimento:** Fomentar a construção e o aprofundamento do conhecimento de forma significativa e contextualizada.

Figura 1: Metodologia 3 “Cs”



Fonte: BORGHOFF & SCHLICHTER, 2000.

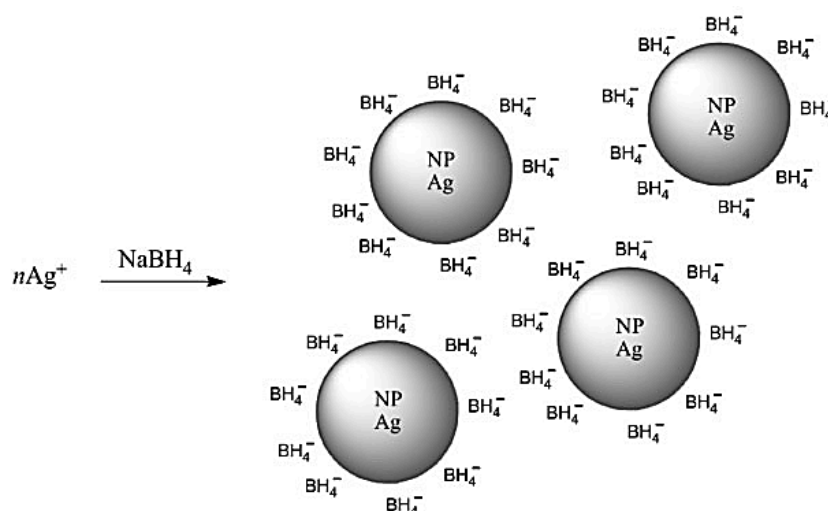
2.1. Síntese Química das Nanopartículas de Prata

As nanopartículas de prata (AgNPs) podem ser sintetizadas por diferentes abordagens, incluindo métodos químicos, físicos e biológicos, sendo o método de redução química amplamente empregado em contextos laboratoriais farmacêuticos devido à sua simplicidade, reprodutibilidade e controle das propriedades finais do material (MIRANDA, SAMPAIO & ZUCOLLOTTI, 2021). Nesse método, um sal de prata, comumente o nitrato de prata (AgNO_3), atua como precursor, fornecendo íons Ag^+ em solução aquosa, os quais são reduzidos a prata metálica (Ag^0) por meio da ação de agentes redutores (ZHANG, et al., 2021). De forma simplificada, o processo pode ser representado pela equação: $\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}^0(\text{s})$,

evidenciando a transferência de elétrons responsável pela formação das nanopartículas.

Diversos agentes redutores podem ser utilizados nesse processo, destacando-se o citrato de sódio, que além de atuar como redutor também exerce função estabilizante, contribuindo para a dispersão das partículas; o borohidreto de sódio (NaBH_4), reconhecido como um redutor forte capaz de promover rápida nucleação e formação de partículas de menor tamanho (WELLER, 2017); e o ácido ascórbico, uma alternativa mais branda e frequentemente associada a abordagens mais sustentáveis (Figura 2).

Figura 2: Síntese de nanopartículas de prata (NP Ag) contendo íons boridreto adsorvidos.



Fonte: Quím. Nova, v. 35 (9), 2012.

O controle do tamanho, forma e estabilidade das AgNPs está diretamente relacionado a variáveis químicas e físico-químicas do sistema reacional, como o pH da solução, que influencia a taxa de redução e a carga superficial das partículas; a concentração dos reagentes, que afeta os processos de nucleação e crescimento; a temperatura, que modula a cinética reacional; e a presença de agentes estabilizantes, também conhecidos como *capping agents*,

que impedem a agregação das nanopartículas ao promoverem barreiras estéricas ou eletrostáticas. Dessa forma, o ajuste criterioso desses parâmetros permite a obtenção de nanopartículas com características controladas, fundamentais para aplicações farmacêuticas e biomédicas (VIEGAS, 2020).

2.2. Propriedades Físico-químicas

As nanopartículas apresentam propriedades ópticas específicas, como a **ressonância de plasmons de superfície (SPR)**, que resulta em coloração característica (amarelo a marrom).

Essa propriedade pode ser monitorada por espectroscopia UV-Vis, geralmente com pico entre 400–450 nm, sendo um importante indicativo da formação das AgNPs.

Além disso, apresentam:

- Alta energia superficial;
- Capacidade de adsorção de biomoléculas;
- Potencial redox elevado.

2.3. Mecanismo Químico da Ação Germicida

A atividade antimicrobiana envolve múltiplos mecanismos químicos:

1. Liberação de íons Ag^+

- Interação com proteínas bacterianas;

Formação de complexos com grupos tiol (-SH).

2. Geração de ROS

- $O_2 + e^- \rightarrow O_2^-$ (ânion superóxido)
- Formação de H_2O_2 e radicais hidroxila ($\cdot OH$)

3. Danos à membrana celular

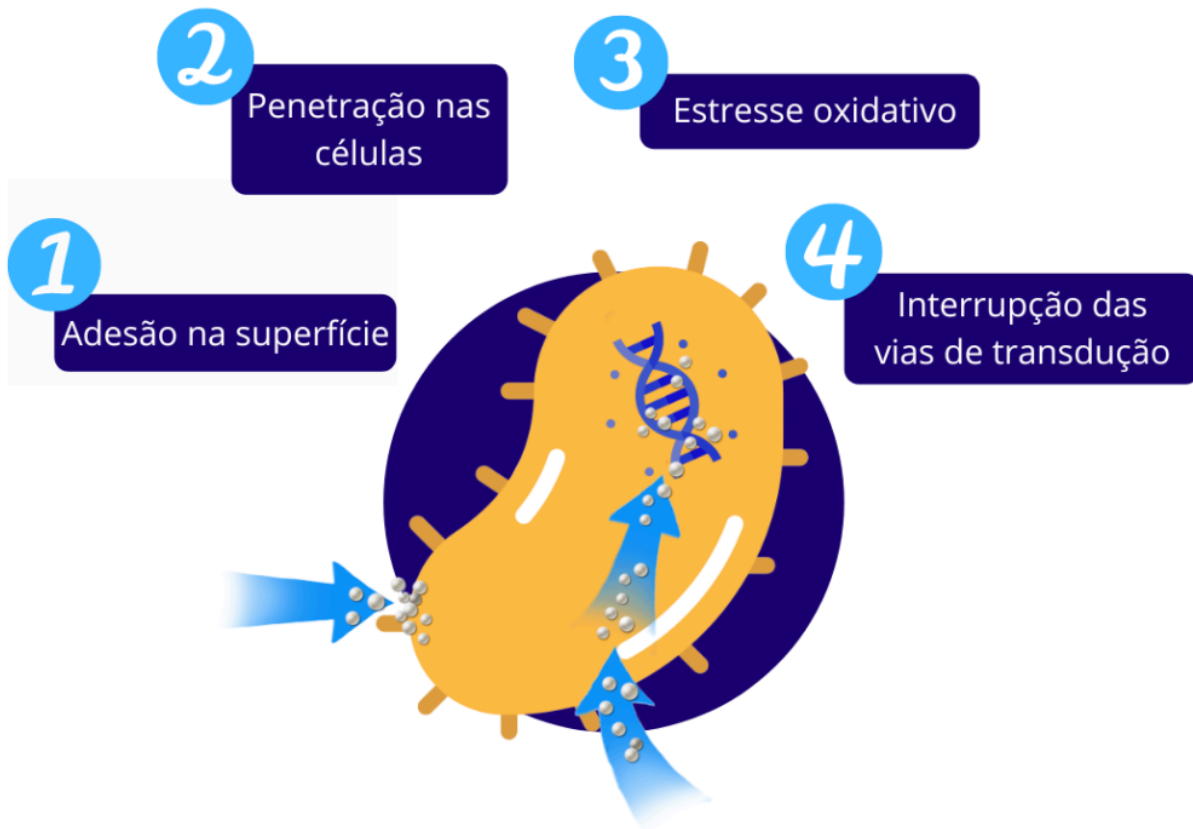
- Oxidação de lipídios (lipoperoxidação).

4. Interação com DNA

- Ligação com bases nitrogenadas;
- Interferência na replicação.

O mecanismo de ação das nanopartículas de prata para combate as bactérias podem variar de acordo com o sistema (WELLER, 2017). Atualmente, quatro ações antimicrobianas são conhecidas (Figura 3).

Figura 3: Mecanismos antibacterianos das nanopartículas de prata.



Fonte: <https://s3nano.com/acao-antimicrobiana-da-nanoprata-como-funciona/>

- 1. Adesão a superfície:** uma vez em contato com o microrganismo, a nanop prata adere a parede celular ou membrana plástica bacteriana em função de atrações eletrostáticas. Ou seja, os íons positivos de prata são atraídos para a superfície negativa da bactéria. Como consequência dessa adesão, o envolto bacteriano sofre mudanças morfológicas irreversíveis, alterando a integridade da bicamada lipídica e a permeabilidade. Tais alterações afetam a capacidade da célula de regular as suas funções, podendo levar a morte celular.
- 2. Penetração nas células:** como a nanop prata possui afinidade com o envolto bacteriano, para alguns microrganismos ela tem a capacidade de penetrar a membrana. Uma vez dentro da célula, as nanopartículas de prata interagem com diferentes biomoléculas danificando a estrutura interna da bactéria. No caso das proteínas, por exemplo, os íons prata

podem provocar a desnaturação, enquanto que no DNA podem atuar diminuindo a estabilidade da estrutura por repulsões eletrostáticas.

3. **Estresse oxidativo:** um dos mecanismos mais difundidos de ação da nanop prata está vinculado a sua capacidade de produzir espécies reativas de oxigênio (EROs). Tais moléculas, como superóxidos, óxidos e radicais livres, são altamente instáveis e reagem com facilidade com as estruturas bacterianas e demais biomoléculas. Nesse cenário, EROs promovem o estresse oxidativo, podendo levar a apoptose celular.

4. **Interrompe as vias de transdução:** em algumas bactérias a nanop prata pode atuar como modulador de transdução de sinal. Ou seja, gerar interferências significativas na comunicação celular. Nesse cenário, estudos mostram que as nanopartículas podem causar alterações morfológicas no citoesqueleto de actina, levando ao aumento de fluidez da membrana e, eventualmente, a ruptura celular (Tabela 1).

Tabela 1: Exemplos de como as nanopartículas atuam para controle de bactérias

BACTÉRIA	SINTOMAS	MECANISMO DE AÇÃO DA NANOPRATA
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Febre, perda de audição, inflamação de tecidos e dor de ouvido severa	Estresse oxidativo e adesão à superfície
<i>Escherichia coli</i> AB 1157	Dor abdominal, diarreia, dor e ardor ao urinar, presença	Penetração na parede celular e interações

	de sangue nas fezes ou na urina e febre	com o DNA bacteriano
<i>Staphylococcus aureus</i> multirresistente (MMC-20)	Febre, náusea, dor abdominal, diarreia e vômito	Estresse oxidativo

Fonte: <https://s3nano.com/acao-antimicrobiana-da-nanoprata-como-funciona/>

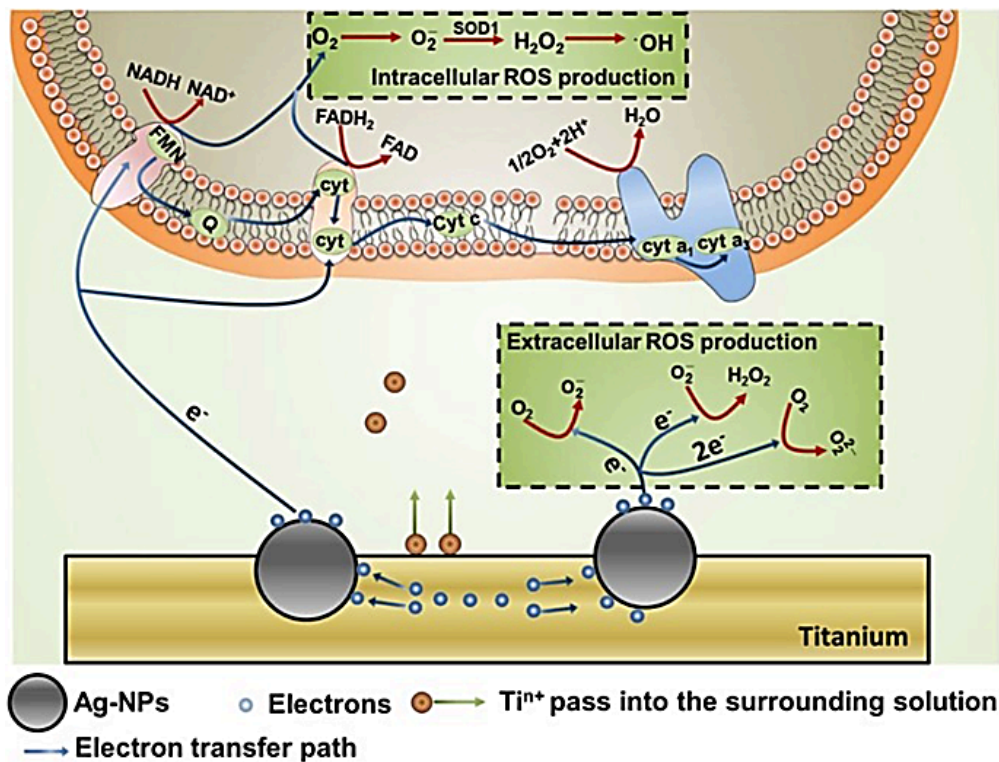
2.4. Toxicidade Mitochondrial: Abordagem Química

As mitocôndrias são altamente sensíveis ao estresse oxidativo. A presença de AgNPs pode levar a:

- Inibição da cadeia transportadora de elétrons;
- Redução do potencial de membrana mitocondrial;
- Aumento da produção de ROS.

Quimicamente, isso ocorre devido à interferência em reações de oxirredução essenciais na fosforilação oxidativa. A produção de ROS induzida por NPs em soluções e células circundantes. Os elétrons gerados a partir de NPs podem entrar nas células e perturbar as funções da cadeia respiratória, aumentando a produção de ROS intracelular. Os elétrons também podem reagir com O₂ diretamente e aumentou a geração de ROS extracelulares (Figura 4).

Figura 4: Principais explicações mecanísticas para as explosões de ROS são que os íons metálicos liberados por NPs.



Fonte:

<https://pt.mfgrobots.com/material/nanomaterials/1004012318.html>

2.5. Danos Ao DNA: Aspectos Moleculares

Os danos ao DNA induzidos por AgNPs estão relacionados a:

- Oxidação de bases nitrogenadas (ex: guanina → 8-oxoguanina);
- Quebras de fita simples e dupla;
- Formação de adutos metálicos.

Esses processos têm base em reações químicas de oxidação e coordenação metálica.

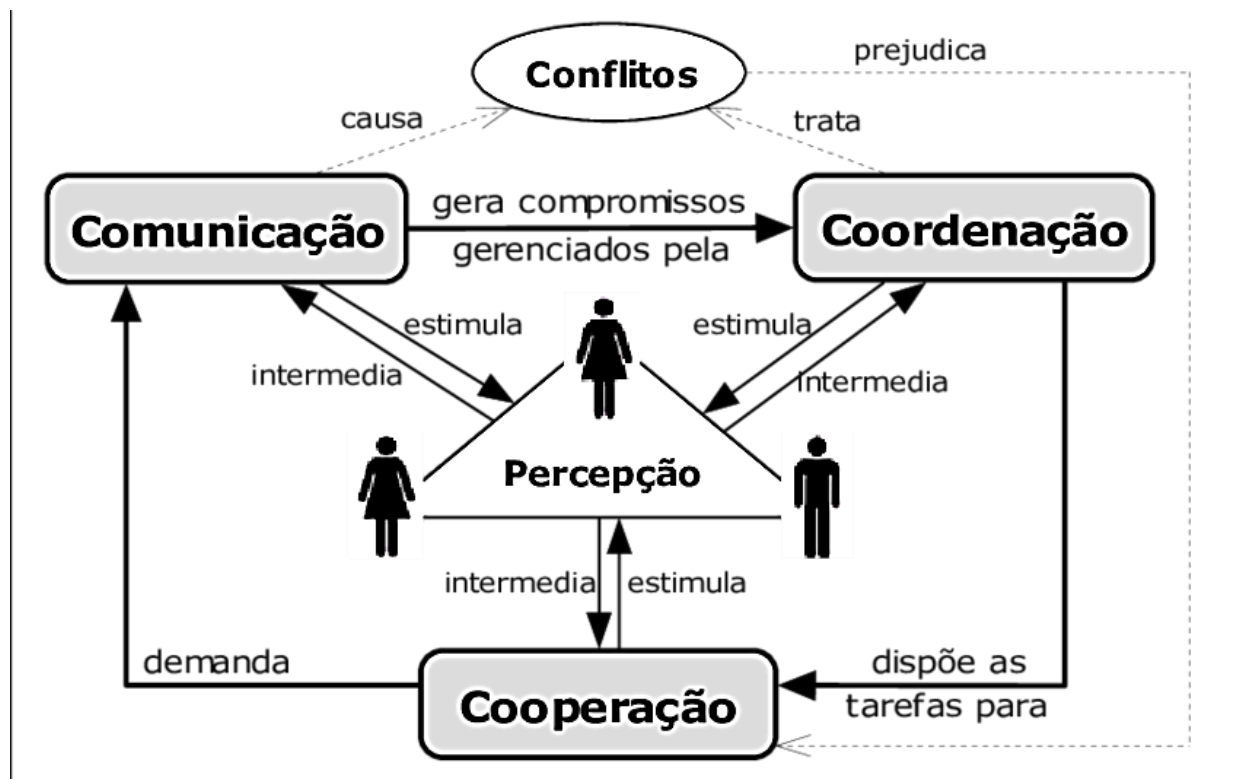
3. METODOLOGIA

3.1. Características da Metodologia 3 C's/CTSA:

- **Integração de Conteúdo:** O conteúdo químico não é ensinado isoladamente, mas sim em seu contexto real.
- **Foco na Aprendizagem Significativa:** O objetivo é que os alunos construam conexões entre o que aprendem e suas experiências, em vez de apenas memorizar fórmulas.
- **Relevância Social:** A metodologia aborda a relação entre ciência, tecnologia e sociedade, capacitando os alunos a entender e intervir em questões cotidianas.
- **Envolvimento Ativo:** Procura-se engajar os estudantes através de discussões, projetos e a análise de situações do dia a dia para resolver problemas.
- **Desenvolvimento de Habilidades:** Além do conhecimento químico, a metodologia promove o desenvolvimento da argumentação, investigação e autonomia dos estudantes.

Ao adotar essa abordagem, o ensino de química no ensino superior pode se tornar mais relevante e interessante, ajudando os alunos a ver a química como uma ferramenta para compreender e transformar o mundo à sua volta. No caso deste trabalho, adotaremos a Metodologia 3 “Cs” para estudar significativamente a aplicabilidade de nanopartículas de prata na medicina e no setor produtivo. Desta forma, deverão ser construídos conhecimentos sólidos e significativos sobre Química de Coordenação e seus compostos no contexto do sistema produtivo, através de pesquisas em diferentes meios (internet, artigos científicos, simpósios etc). O trabalho foi realizado em uma turma do 4º Período de Farmácia de uma Universidade da cidade de Fernandópolis-SP e seguiu o método disposto no fluxograma da Figura 5.

Figura 5: Metodologia adotada seguindo os 3 “Cs”.



Fonte: BORGHOFF & SCHLICHTER, 2000.

Dessa forma, este estudo integra uma abordagem teórica e experimental fundamentada nos princípios dos 3Cs — criatividade, colaboração e conhecimento — como estratégia de aprendizagem ativa no ensino de Química Farmacêutica. A criatividade é estimulada por meio da elaboração de hipóteses químicas relacionadas aos mecanismos de ação das nanopartículas de prata, especialmente no que se refere às interações com biomoléculas e à geração de espécies reativas. A colaboração é promovida pela organização dos estudantes em grupos para execução das etapas experimentais, análise de resultados e discussão científica. Já o conhecimento é consolidado pela integração de conteúdos de Química Geral, Química Analítica e Química Farmacêutica, permitindo uma compreensão interdisciplinar dos fenômenos estudados.

No âmbito experimental, propõe-se a realização de uma atividade intitulada “Síntese, Caracterização e Avaliação da Atividade Antimicrobiana de Nanopartículas de Prata”, direcionada a estudantes do 4º período do curso de Farmácia. O experimento tem como objetivos sintetizar nanopartículas de prata por meio de redução química, caracterizá-las por espectroscopia na região do ultravioleta-visível (UV-Vis), avaliar sua atividade antimicrobiana frente a microrganismos modelo e discutir seus potenciais efeitos tóxicos em sistemas biológicos.

Para a execução do experimento, são utilizados reagentes e materiais como nitrato de prata (AgNO_3), citrato de sódio como agente redutor e estabilizante, água destilada, placas de Petri, cultura bacteriana de *Escherichia coli* e espectrofotômetro UV-Vis. Inicialmente, procede-se à síntese das nanopartículas por meio do aquecimento de uma solução aquosa de nitrato de prata, seguida da adição controlada de citrato de sódio sob agitação constante, sendo a formação das AgNPs evidenciada pela mudança de coloração da solução, atribuída ao fenômeno de ressonância de plasmons de superfície. Em seguida, realiza-se a caracterização das nanopartículas por espectroscopia UV-Vis, com análise do pico de absorção característico na faixa de 400 a 450 nm, confirmando sua formação e estabilidade coloidal.

Posteriormente, avalia-se a atividade antimicrobiana das nanopartículas por meio da aplicação da solução sintetizada em placas contendo cultura bacteriana, sendo mensurado o halo de inibição como indicador da eficácia germicida. Por fim, os resultados obtidos são discutidos à luz de aspectos toxicológicos, estabelecendo relações entre concentração das nanopartículas, geração de espécies reativas de oxigênio e possíveis efeitos adversos

em células humanas, como estresse oxidativo e danos a estruturas celulares. Essa abordagem permite não apenas a compreensão dos aspectos químicos envolvidos, mas também o desenvolvimento de uma visão crítica sobre os riscos e benefícios do uso de nanomateriais na área da saúde.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados demonstram uma clara relação entre propriedades químicas das AgNPs e seus efeitos biológicos. A liberação de Ag^+ e a geração de ROS explicam tanto a eficácia antimicrobiana quanto os efeitos tóxicos.

Do ponto de vista da Química Farmacêutica, isso evidencia a importância do controle de variáveis químicas na formulação de dispositivos médicos.

Os dados apresentados na Tabela 2 confirmam a formação e a adequada caracterização das nanopartículas de prata (AgNPs). A coloração observada na faixa de amarelo a marrom é um indicativo qualitativo da síntese bem-sucedida das AgNPs, estando associada ao fenômeno de ressonância de plasmons de superfície (SPR), característico de nanopartículas metálicas.

A análise por espectroscopia UV-Vis revelou um pico de absorção em aproximadamente 420 nm, o que confirma a presença do SPR das AgNPs. Esse resultado é consistente com a formação de nanopartículas esféricas e relativamente homogêneas, uma vez que a posição do pico está diretamente relacionada ao tamanho, forma e distribuição das partículas no meio.

Além disso, a alta estabilidade observada indica uma boa dispersão coloidal das nanopartículas, sugerindo baixa tendência à agregação. Esse comportamento pode estar relacionado à presença de agentes estabilizantes ou cargas superficiais que promovem repulsão eletrostática entre as partículas, mantendo o sistema estável ao longo do tempo.

Em conjunto, esses resultados demonstram que as AgNPs sintetizadas apresentam características físico-químicas adequadas, com formação confirmada, propriedades ópticas típicas e estabilidade coloidal satisfatória, aspectos fundamentais para suas aplicações na área farmacêutica.

Tabela 2: Caracterização das AgNPs

Parâmetro	Resultado esperado	Interpretação
Cor	Amarelo/marrom	Formação de nanopartículas
UV-Vis	420 nm	Presença de SPR
Estabilidade	Alta	Boa dispersão coloidal

Os resultados apresentados na Tabela 3 demonstram que as nanopartículas de prata (AgNPs) exibem atividade antimicrobiana dependente da concentração. Observa-se um aumento progressivo no diâmetro do halo de inibição com o incremento da concentração, evidenciando uma relação dose-resposta.

Na concentração de 10 µg/mL, foi registrado um halo de inibição de 5 mm, caracterizando um efeito antimicrobiano baixo, possivelmente associado à menor disponibilidade de íons Ag⁺ para interação com os microrganismos. Em 25 µg/mL, o halo aumentou

para 10 mm, indicando um efeito moderado, sugerindo maior interação das nanopartículas com estruturas celulares microbianas.

Na maior concentração avaliada (50 µg/mL), observou-se um halo de inibição de 18 mm, classificado como efeito alto, o que evidencia forte atividade antimicrobiana. Esse comportamento pode ser atribuído ao aumento da liberação de íons Ag⁺ e à intensificação dos mecanismos de ação, como a interação com proteínas e ácidos nucleicos, além da indução de estresse oxidativo nas células microbianas.

De forma geral, os resultados confirmam a eficácia das AgNPs como agentes antimicrobianos, destacando a influência direta da concentração na magnitude do efeito biológico.

Tabela 3: Atividade Antimicrobiana

Concentração (µg/mL)	Halo de inibição (mm)	Efeito
10	5	Baixo
25	10	Moderado
50	18	Alto

Os resultados apresentados na Tabela 4 evidenciam uma relação direta entre a concentração das nanopartículas de prata (AgNPs), a geração de espécies reativas de oxigênio (ROS) e os efeitos celulares observados, caracterizando um perfil típico de dose-toxicidade.

Em baixas concentrações, observa-se produção moderada de ROS, associada a um efeito celular adaptativo. Nesse contexto, as células são capazes de ativar mecanismos de defesa antioxidante, como a

ação de enzimas (por exemplo, superóxido dismutase e catalase), mantendo a homeostase celular.

Em concentrações médias, há aumento significativo na geração de ROS, levando ao estabelecimento de estresse oxidativo. Esse estado resulta do desequilíbrio entre a produção de espécies reativas e a capacidade antioxidante celular, promovendo danos a biomoléculas, como lipídios, proteínas e DNA, além de comprometer funções celulares essenciais.

Já em altas concentrações, a produção de ROS atinge níveis muito elevados, culminando em efeitos citotóxicos mais severos, como a indução de apoptose. Esse processo está relacionado a danos irreversíveis às estruturas celulares, incluindo disfunção mitocondrial, ativação de vias de morte celular programada e fragmentação do material genético (DAVIDSON, et al., 2022).

De modo geral, os dados demonstram que o aumento da concentração das AgNPs intensifica a geração de ROS e agrava os efeitos celulares, reforçando a importância do controle de dose para garantir segurança em aplicações farmacêuticas.

Tabela 4: Relação Dose-Toxicidade

Concentração	ROS	Efeito celular
Baixa	Moderado	Adaptativo
Média	Alto	Estresse oxidativo
Alta	Muito alto	Apoptose

Em relação ao processo de **colaboração** entre os alunos (abordagem construtivista) o professor buscou fomentar nos alunos a participação efetiva em sala de aula, de modo cooperativo, pois isso possibilitava a interação do indivíduo em sala de aula ou fora dela, auxiliando os colegas que apresentavam maior dificuldade em relação ao assunto abordado. Dessa forma, os alunos mais experientes auxiliavam aqueles que não haviam ainda entendido os conceitos necessários para avançar em relação aos conteúdos pretendidos.

Seguindo essa ideia, (FIGUEIREDO, 2006) diz:

[...] [não] é suficiente [...] que os parceiros simplesmente trabalhem juntos ou que um parceiro domine e demonstre soluções para o outro. Eles devem co-construir a solução para o problema ou compartilhar, em conjunto, as decisões a serem tomadas sobre as atividades que serão coordenadas para resolver o problema.

Dessa maneira, podemos entender que essa abordagem, possui métodos importantes não só no processo de ensino e aprendizagem, mas também na formação profissional, pois ela exige o engajamento de todos os professores e alunos, ou seja, a construção do conhecimento em equipe para que assim, obtenham resultados satisfatórios.

O ensino de Química, de um modo geral, tem se estabelecido na mera transmissão de conteúdos oferecidos como prontos, não

apresentando qualquer relação com a vivência dos estudantes. No entanto, de acordo com Driver et al (1999), é papel do professor de ciências/Química atuar como mediador entre o conhecimento científico e os aprendizes, auxiliando-os a conferir sentido pessoal ao modo como as asserções do conhecimento são geradas e validadas. Assim, é desejável que o professor de ciências/Química trabalhe temas que explorem o cotidiano dos estudantes, contribuindo com o desenvolvimento de competências e habilidades necessárias para o exercício pleno da cidadania.

Trabalhar os conteúdos químicos por meio dessa abordagem pode contribuir significativamente com a formação de um indivíduo crítico, consciente e engajado, porque promove a articulação da química com suas aplicações científicas, tecnológicas, sociais e ambientais. Tendo em vista que a disciplina de química estuda a matéria, suas transformações e a energia envolvida nelas, através de três níveis de representação: macroscópico, microscópico e simbólico (ROSA & SCHNETZLER, 1998), seus conteúdos acabam por promover dúvidas e falta de interesse entre alunos, o que pode ser minimizado por meio do trabalho, nas aulas, com o foco em CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente).

Dessa forma, a fim de trabalhar CTSA como abordagem pedagógica, o professor orientou os alunos para a pesquisa de como os nanomateriais são utilizados no setor produtivo e em medicina.

Essa colocação serviu de ponte a fim de aguçar o interesse dos alunos para a pesquisa da aplicabilidade dos complexos de metais de transição no setor produtivo. Para realização da pesquisa, orientou que os alunos utilizassem o laboratório de informática, assim como o acervo da biblioteca. Orientou que produzissem slides

para apresentação ou também, poderiam usar da **criatividade** para elaborarem maquetes ou dispositivos outros, para consolidação de aprendizagens.

Sobre isso Souza (2007) afirma que o recurso didático pode ser fundamental para que ocorra desenvolvimento cognitivo, mas o recurso mais adequado, nem sempre será o visualmente mais bonito e nem o já construído. Muitas vezes, durante a construção de um recurso, o aluno tem a oportunidade de aprender de forma mais efetiva e marcante para toda sua vida. Ressaltando a importância desses recursos a maquete se destaca nas aulas de ciência, pois tanto os alunos quanto os professores demonstram interesse e motivação durante esse processo de ensino e aprendizagem. E aliado a isso está a comunicação oral dos saberes, uma vez que o discente é motivado a repetir, a replicar seus conhecimentos o mesmo o faz refazendo suas ligações cognitivas e consolida o que aprendeu até então.

Nos momentos de aulas expositivas, percebia-se que os alunos estavam bastante motivados em perceber a grande utilidade das nanopartículas na vida cotidiana. O interesse era grande quando traziam referências dessas substâncias no processo industrial e na saúde. Portanto, ficava evidente que a aplicabilidade de materiais no processo produtivo era uma poderosa ferramenta para motivar os alunos, pois transformava conceitos abstratos em experiências concretas e relevantes. Quando conseguem visualizar a conexão entre o que aprendem em sala de aula e o mundo real, os estudantes se tornaram mais engajados e interessados. A aplicação prática dos materiais demonstra como o conteúdo teórico é usado na resolução de problemas do dia a dia e na produção de bens. Isso responde à pergunta "Para que vou usar isso na vida?" e torna o

aprendizado mais significativo. Além do conhecimento técnico, os estudantes desenvolvem competências essenciais para o mercado de trabalho, como pensamento crítico, solução de problemas e trabalho em equipe, à medida que colaboram em projetos práticos.

A manipulação de materiais e a participação em um processo produtivo ajudam os alunos a visualizarem e construir significados, levando a uma assimilação mais fácil e profunda do conteúdo.

Dessa forma, à medida que as aulas avançavam, percebia-se que os alunos construíam significativamente o **conhecimento** pretendido, ou seja, a aplicabilidade dos complexos de metais de transição no setor produtivo. A construção de conhecimento por meio de atividades colaborativas é um método pedagógico que promove a interação e a participação ativa dos alunos, incentivando a troca de experiências e a co-construção do saber. Nessa abordagem, o professor atua como mediador, e os estudantes assumem um papel central no processo de aprendizagem, utilizando a interação social para desenvolver novas ideias.

A aprendizagem colaborativa vai além da simples divisão de tarefas em grupo. Ela envolve uma dinâmica ativa onde os alunos:

- **Compartilham ideias e recursos:** Juntos, exploram diferentes perspectivas e abordam problemas de forma mais ampla.
- **Engajam-se em discussões e debates:** O diálogo estimula o pensamento crítico e a capacidade de argumentação.
- **Desenvolvem responsabilidade mútua:** O sucesso do grupo depende do envolvimento de todos, o que incentiva a responsabilidade individual e coletiva.

- **Aprendem uns com os outros:** A troca de conhecimento e a observação dos colegas contribuem para o aprendizado de todos os integrantes.

Portanto, as atividades colaborativas coadunam-se ao pensamento de Vygotsky (1982). Esse autor vem embasando um grande número de estudos voltados para o trabalho colaborativo na escola. Ele argumenta que as atividades realizadas em grupo, de forma conjunta, oferecem enormes vantagens, que não estão disponíveis em ambientes de aprendizagem individualizada. O autor explica que a constituição dos sujeitos, assim como seu aprendizado e seus processos de pensamento (intrapsicológicos), ocorrem mediados pela relação com outras pessoas (processos interpsicológicos).

Wells (2001), outro pesquisador que segue as ideias de Vygotsky, descreve o que ocorre entre pessoas que tentam resolver um problema significativo para todos e estabelecem um diálogo no qual soluções são propostas, ampliadas, modificadas ou contrapostas. A isso ele chama de co-construção do conhecimento, considerando-a como parte essencial do processo de aprendizagem.

A avaliação da atividade utilizando a Metodologia Ativa 3 “Cs” foi finalizada a partir da produção de um Mapa Conceitual, onde através da mediação do professor, foram elencados os diferentes assuntos abordados, bem como, os conceitos aprendidos (Figura 9).

5. CONCLUSÕES

As nanopartículas de prata (AgNPs) demonstram elevado potencial de aplicação na área biomédica, especialmente em função de suas propriedades antimicrobianas. No entanto, sua elevada reatividade química, associada à liberação de íons Ag^+ e à geração de espécies

reativas de oxigênio, evidencia a necessidade de controle rigoroso de parâmetros como concentração, estabilidade e condições de uso, a fim de minimizar efeitos citotóxicos e garantir segurança em aplicações farmacêuticas.

Nesse contexto, a integração entre fundamentos teóricos da Química Farmacêutica e atividades experimentais mostrou-se essencial para promover uma compreensão mais aprofundada e crítica acerca dos benefícios e riscos associados às AgNPs. A aplicação da metodologia dos 3Cs (Contextualização, Construção e Consolidação do conhecimento) revelou-se altamente eficaz como estratégia didática, favorecendo o desenvolvimento de competências científicas, pensamento crítico e autonomia intelectual.

Observou-se que os estudantes de Farmácia apresentaram maior facilidade na assimilação dos conceitos relacionados à nanotecnologia, à atividade antimicrobiana e aos mecanismos de toxicidade, evidenciando melhor articulação entre teoria e prática. Além disso, a abordagem contribuiu para um aprendizado mais ativo, significativo e interdisciplinar, preparando os discentes para a análise crítica de sistemas nanoestruturados no contexto da atuação farmacêutica.

Dessa forma, conclui-se que a utilização da metodologia dos 3Cs não apenas potencializa o processo de ensino-aprendizagem em Química Farmacêutica, mas também constitui uma ferramenta eficaz para a formação de profissionais mais críticos e capacitados frente aos desafios contemporâneos da nanotecnologia aplicada à saúde.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORGHOFF, Uwe M.; SCHLICHTER, Johann H. Computer-supported cooperative work. In: **Computer-Supported Cooperative Work: Introduction to Distributed Applications**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2000. p. 87-141.

DAVIDSON, C. B. et al. Toxicidade oral de nanopartículas de prata: uma revisão de literatura. **Disciplinarum Scientia**, 2022.

DRIVER, R.; ASOKO, H.; LEACH, J.; MORTIMER, E.; SCOTT, P. Construindo conhecimento científico na sala de aula. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v.1, n.9, p.31-40, mai.1999.

FIGUEIREDO, Francisco José Quaresma de. **A aprendizagem de língua inglesa em contextos colaborativos**. 2006. 312 f. Tese (Doutorado em Linguística Aplicada) – Instituto de Estudos da Linguagem, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Campinas, SP, 2006.

GOMES, I. D. Ensino de biologia e metodologias ativas: relato de trabalho com turmas do 2º ano do ensino médio. **Revista Professare**, v.7, n. 3 (17), p. 19-33, 2018.

MILHORATO, P. R., & GUIMARÃES, E. H. R. Challenges and possibilities of implementation of the inverted classroom methodology: case study in a private higher education institution. **Revista de Gestão e Secretariado**, 7(3), 253-276, 2016.

MIRANDA, R. R.; SAMPAIO, I.; ZUCOLLOTTO, V. **Nanomedicina e nanopartículas de prata**. IFSC/USP, 2021.

PERES, Aline Neves; ARIDE, Paulo Henrique Rocha. Participação social e protagonismo: possibilidades a partir das diretrizes curriculares para Educação Profissional e Técnica de Nível Médio. **Revista Sítio Novo**, v. 4, n. 4, p. 260-270, 2020.

ROSA, M.I.F.P.; SCHNETZLER, Roseli Pacheco. Sobre a importância do conceito transformação química no processo de aquisição do conhecimento químico. **Química nova na escola**, v. 8, p. 31, 1998.

SANTOS, C. A. M. O uso de metodologias ativas de aprendizagem a partir de uma perspectiva interdisciplinar. In: **CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO – EDUCERE**. Formação de Professores, Complexidade e Trabalho Docente. Paraná, PR, v. 10, n. 4, p. 27203 – 27212, 2015.

SOUZA, S. E. **O uso de recursos didáticos no ensino escolar**. Arq. Mudi, 2007.

SOUSA, A. et al. Nanopartículas de prata. **Revista de Ciência Elementar**, 2022.

SUHR, I. R. F. Desafios no uso da sala de aula invertida no ensino superior. **Revista Transmutare**, 1(1), 4-21, 2016.

VALENTE, J. A. **A sala de aula invertida e a possibilidade do ensino personalizado: uma experiência com a graduação em midialogia**, 2015.

VIEGAS, M. F. F. **Toxicidade de nanopartículas de prata**. FUNDACENTRO, 2020.

VYGOTSKY, L. S. **Obras Escogidas II** (Pensamento Y Language). Moscú: Editorial Pedagógica, 1982.

ZHANG, X. et al. Silver nanoparticles: synthesis, characterization, and applications. **Journal of Nanotechnology**, 2021.

WELLS, G. **Indagación dialógica**: hacia una teoría y una práctica socioculturales de la educación. Barcelona: Paidós, 2001.

WELLER, Mark et al. **Química inorgânica**. Bookman Editora, 2017.

¹ Docente do Curso Superior de Farmácia da Universidade Brasil, *Campus* de Fernandópolis-SP. Doutor em Química pelo Instituto de Química UNESP, *Campus* de Araraquara-SP. E-mail: kmininel17@gmail.com

² Docente do Curso Superior de Farmácia da Universidade Brasil, *Campus* de Fernandópolis-SP. Mestre em Química (PPGQUIM/UNESP - Araraquara-SP). E-mail: silvana.mininel@ub.edu.br