

A História da Química de Coordenação à luz da epistemologia Kuhniana

Geilson Rodrigues Da Silva¹, Lucas Pereira Gandra², Taniel Ferreira da Cruz³

^{1, 2, 3} Graduado em Química pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso do Sul – IFMS.

¹ Professor de Química da E. E. Viriato Bandeira - Coxim/MS.

² Diretor de Educação à Distância da Universidade Norte do Paraná - UNOPAR, pólo Coxim/MS.

³ Professor de Química da E. E. Leontino Alves de Oliveira, SED/MS.

The History of Chemistry of Coordination in light of Kuhnian epistemology

Informações do Artigo

Recebido: 01/12/2018

Aceito: 12/07/2019

Palavras chave:

história da ciência.
epistemologia da ciência. ensino de química.

Key words:

history of science. epistemology of science. chemistry teaching.

E-mail:

geilsonrodrigues367@gmail.com

ABSTRACT

The use of the Epistemology of Science integrated with the History of Science allows the discussion of the process of production of scientific knowledge contributing to overcome the distorted view of science that teachers present and are taken to their classes. Thus the present study aims to analyze the historical process of Coordination Chemistry from the contributions of the epistemology of Thomas Samuel Kuhn and to point out reflections for the Teaching of Chemistry. For this, we used normal science, paradigms and scientific revolution that were interpreted to discuss Kekulé's valence principle, the chain theory adapted by Jorgensen and Werner's contributions to valence and stereochemistry. This discussion is important to demonstrate the not only empirical character of science.

INTRODUÇÃO

A utilização da História da Ciência no Ensino de Ciências é defendida por diversos pesquisadores (FORATO, PIETROCOLA & MARTINS, 2011; SOUZA & JUSTI, 2012; SAITO & BELTRAN, 2014; RODRIGUES-JÚNIOR, 2015; CALLEGARIO et al, 2015; DAMASIO & PEDUZZI, 2016; DAMASIO & PEDUZZI, 2017). Um dos motivos é por essa abordagem propiciar a discussão do processo de construção da Ciência, como um constructo humano que é passível de acertos e erros, além de favorecer a aproximação entre o contexto histórico e cultural que permeia a Ciência.

Além da utilização da História da Ciência, estudos realizados por Gama e Zanetic (2009); Tauceda, Nunes e Del Pino (2011); Massoni e Moreira (2016); dentre outros,

apontaram para a importância de agregar a utilização da Epistemologia da Ciência¹ na História da Ciência para contribuir no processo de ensino e aprendizagem de Ciências.

E tratando-se especificamente da formação de professores que é um dos ramos do Ensino de Ciências, consideramos os aportes de Lôbo e Moradillo (2003), ao apresentarem que as concepções epistemológicas dos docentes influenciam a forma de como a sua prática pedagógica é empregada, contribuindo para o direcionamento de concepções epistemológicas dos estudantes de acordo com a visão do docente sobre Ciências.

Sobre a discussão da relação entre a prática pedagógica dos docentes e a epistemologia da Ciência, Praia, Cachapuz e Gil-Pérez (2002), perceberam um predomínio da concepção empírico-indutivista, levando a ideia de que a Ciência é construída a partir de etapas rígidas e não flexíveis estruturados em observação da natureza para elaborar proposições, do qual surgem leis e teorias que representam o conhecimento científico. Essa concepção reflete diretamente em aulas experimentais, por exemplo, que priorizam apenas a capacidade dos estudantes de observarem, realizarem medições, estabelecerem comparações para elaborarem conclusões, valorizando assim o produto do desenvolvimento científico, permitindo com isso o surgimento de concepções dos cientistas como pessoas que apresentam inteligência sobre-humana e afastada do contexto sociocultural (LÔBO & MORADILLO, 2003).

Diante de práticas pedagógicas pautadas na concepção empírico-indutivista é comum os estudantes apresentarem concepções distorcidas sobre os cientistas e sobre o fazer Ciência, sendo que o estudo desenvolvido por Kosminsky e Giordan (2002), identificaram que os estudantes, caracterizam os cientistas como sendo unicamente do sexo masculino, pessoas solitárias e que não possuem interação com outros cientistas, trabalhando unicamente em laboratórios.

Esses autores ainda ressaltam que as dificuldades de ensino e de aprendizagem de Ciências, estão relacionadas ao desconhecimento da construção das teorias científicas, tanto entre os docentes, como entre os estudantes. Esse desconhecimento do funcionamento da Ciência leva ao distanciamento da discussão da cultura científica com sendo um processo humano. Sendo que o método empírico-indutivista contribuiu para perpetuar esse afastamento ao ser empregado de forma majoritária durante a formação docente ao ser catalisado por métodos tradicionais de ensino que reforçam a importância única do treinamento de Ciências, não propiciando a reflexão dos processos de produção do conhecimento científico (PORLÁN, RIVERO & MARTÍN DEL POZO, 1998).

¹ A epistemologia é um campo de estudo da Filosofia, que visa estudar o conhecimento, sendo comum o emprego desta nas ciências, para estudar de forma crítica a natureza e seus princípios, bem como, a validade e a abrangência de teorias científicas (MASSONI, 2010).

A respeito dos métodos tradicionais utilizados na formação docente, Damasio e Peduzzi (2016), apontaram a importância de reestruturação dos cursos de formação docente, para superarem esses métodos e permitirem a articulação do conjunto de disciplinas do conteúdo científico com a História e Filosofia da Ciência para incluir atividades que possibilitem os egressos terem uma sólida formação epistemológica de Ciência. A respeito dessa formação em epistemologia de Ciência temos:

...Simplificando, poderíamos afirmar que uma boa e consistente formação epistemológica é um dos pilares para uma boa e consistente formação docente; o que equivale a dizer que a ausência ou o pouco investimento na formação epistemológico dos professores de ciências repercute negativamente no seu desempenho em sala de aula enquanto profissionais da educação (CAVALCANTI, SILVA & MACÊDO, 2013, p. 4).

Diante do exposto, a discussão epistemológica de Ciência pode contribuir em avanço do Ensino de Ciências, assim como, para o Ensino de Química. Pois é no momento de formação inicial docente que se constituiu o ambiente de formulações de concepções epistemológicas que não devem prezar por visões deformadas da Ciência que se ocorrerem provocam também o afastamento dos estudantes do Ensino Médio, das carreiras científicas, por acreditarem que Ciência são um mero conjunto de fórmulas, equações, reações e que as teorias científicas são definitivas e não alteráveis (MOREIRA & MASSONI, 2016).

Sendo assim, o presente estudo, teve como objetivo analisar o processo histórico de constituição da Química de Coordenação² a partir das contribuições da epistemologia de Thomas Samuel Kuhn e apontar reflexões para o Ensino de Química no âmbito da formação docente.

A escolha pela Química de Coordenação ocorreu devido ao amplo conjunto de aplicações desta na sociedade, como a atividade biológica dos compostos de coordenação na forma de complexos que são utilizados no tratamento de tumores, de doenças sexualmente transmissíveis, de doenças relacionadas aos parasitas, dentre outros. E por outro lado, pela lacuna de pesquisas no contexto do Ensino de Química que reflitam acerca das dificuldades de ensino e aprendizagem de Química de Coordenação na formação docente. Apesar dessa ausência de pesquisas, não significa que essa área está livre de visões deformadas do processo de construção do conhecimento científico devido a uma formação docente defasada do ponto de vista histórico e epistemológico. Dessa forma, uma reconstrução histórica da Química de Coordenação a partir da epistemologia kuhniana poder ser utilizado para auxiliar discussões epistemológicas na formação docente.

² A Química de Coordenação é um dos ramos da Química Inorgânica que estudo o comportamento dos átomos e cátions e de seus ligantes em complexos (FARIAS, 2009).

A fim de situar o leitor, o texto está dividido na apresentação dos aportes da epistemologia de Thomas S. Kuhn, seguido por uma reconstrução histórica da Química de Coordenação à luz da epistemologia kuhniana em consonância com reflexões acerca desse processo para o Ensino de Química.

A epistemologia de Thomas Kuhn

Thomas Samuel Kuhn (1922-1996) nasceu nos Estados Unidos, sendo graduado e doutor em Física pela Universidade de Harvard, tendo como interesse de pesquisa inicialmente a Física Teórica, área ainda em expansão no início da década de 1950. Após o término do seu doutorado Thomas Kuhn, passou a atuar como professor assistente em Harvard, ao qual teve contato com a História e a Filosofia da Ciência, durante um curso de Ciências que estava sob a sua responsabilidade para estudantes das áreas de humanidades, tendo como plano de fundo, episódios de História da Ciência. Essa solicitação de ministração da História da Ciência, fazia parte de um projeto liderado pelo reitor da Universidade de Harvard, James Bryant Conant, que reestruturou o Ensino de Física dessa universidade, implementando a disciplina de História da Ciência como tronco comum para todos os cursos universitários (FRAGOSO, et al, 1998).

Dessa necessidade de ministrar essa disciplina Thomas Samuel Kuhn, passou a estudar intensamente obras originais e produziu suas próprias ideias, acerca da História e Filosofia da Ciência, tendo como ponto culminante a obra “A estrutura das revoluções científica” publicada originalmente em 1962. Essa obra permitiu à análise da construção do conhecimento, tendo como eixo balizador o processo social e sua complexidade, permitindo discutir aspectos históricos e sociológicos (OKI, 2004). E da discussão do processo de construção do conhecimento é possível estabelecer a relação de influência entre a Ciência e a sociedade, aspecto que contribui para demonstrar que a Ciência é uma atividade humana, fruto de dilemas, ideias, avanços, retrocessos, influenciados pelos aspectos econômicos e políticos.

Não é o foco de a presente pesquisa analisar todos os aspectos da teoria kuhniana, mas sim suscitar reflexões acerca da Ciência normal, paradigmas e de revoluções científicas que propiciam uma frutífera discussão do desenvolvimento histórico da Química de Coordenação.

Na teoria kuhniana o progresso científico segue períodos de Ciência normal e de Ciência extraordinária (revoluções científicas), sendo que na Ciência normal os cientistas seguem um paradigma estruturado que é consensual para os cientistas, enquanto na Ciência extraordinária ocorrem resultados conflitantes com o paradigma aceito, provocando instabilidades que levam a ruptura do paradigma aceito (OSTERMANN, 1996; OKI, 2004).

Diante disso, o paradigma é um conceito teórico importante, pois, “considero paradigmas as realizações científicas universalmente reconhecidas que, durante algum tempo, fornecem problemas e soluções modelares para uma comunidade de praticantes de uma ciência” (KUHN, 2010, p. 13).

Kuhn (2010) apontou que o termo paradigma pode ser utilizado em dois sentidos distintos, sendo que de um lado temos o conjunto de crenças, valores, procedimentos que são comuns para determinada comunidade. Enquanto no outro temos valores unitários que apresentam soluções parciais para os problemas científicos e que passam a ser considerados modelos para os procedimentos experimentais, passando a ser utilizados para a solução dos demais problemas no período de Ciência normal.

Ainda nessa linha Moreira e Massoni (2016) apontaram que os paradigmas delimitam os problemas e metodologias utilizadas pela comunidade de cientistas, sendo que inicialmente o paradigma vai tendo uma aceitação maior conforme consegue solucionar um conjunto mais abrangente de problemas que seu predecessor.

Esses autores ainda discutiram que os cientistas ao aderirem a um paradigma, assumem responsabilidades com o mesmo, levando em conta os aspectos teóricos metodológicos e filosóficos. Com isso o paradigma não é um conjunto de etapas de fazer Ciência e sim uma matriz disciplinar que é comum para a comunidade de cientistas, durante o período de Ciência normal.

Já a Ciência normal segundo Kuhn:

... significa a pesquisa firmemente baseada em uma ou mais realizações científicas passadas. Essas realizações são reconhecidas durante algum tempo por alguma comunidade científica específica como proporcionando os fundamentos para sua prática posterior (KUHN, 2010, p. 29).

Sendo assim, a Ciência normal é o processo de forçar os resultados a estarem dentro de limites já estabelecidos e inflexíveis que são gerados pelo paradigma, tratando-se então de utilizar um modelo para a solução de novas questões a partir de problemas já conhecidos que servem como exemplos. Com isso a Ciência normal não busca elucidar novos fenômenos, rejeitando os problemas que não se ajustam ao paradigma, visando apenas à articulação dos fenômenos com as teorias já fornecidas pelo paradigma (OSTERMANN, 1996).

E o paradigma aceito vai agir como égide para que a comunidade científica, não discuta como os objetos novos devem ser investigados, se os métodos experimentais utilizados devem ser melhorados ou substituídos e se as soluções para novos problemas devem receber a atenção da comunidade (MENDONÇA & VIDEIRA, 2007).

Para Souza (2012) o período de Ciência normal, pode ser interpretado a partir da analogia de um quebra-cabeça, em que conhecemos todas as peças que o constituem.

Porém quando acumulamos resultados em que a teoria vigente fracassa em solucionar surgem às anomalias no paradigma, gerando instabilidade no mesmo, nesse momento não é mais possível acumular conhecimentos produzidos em modelos já conhecidos, sendo necessária então uma ruptura com o paradigma estabelecido. Osterman (1996) relatou que a comunidade de cientistas não abandona os paradigmas meramente por se defrontarem com anomalias, pois uma teoria científica após ter passado por todas as tentativas de refutação até alcançar o status de paradigma apresentam grande resistência para ser substituída.

Segundo Souza (2012), na Ciência normal temos três possibilidades para resolver as anomalias de um paradigma, a Ciência normal consegue resolver a anomalia e transforma esta em parte do quebra-cabeça, ou o problema necessita de várias abordagens complexas, levando que o cientista deixe em segundo plano, passando como heranças para a próxima geração de cientistas ou ainda aceitam o surgimento de uma teoria candidata a se tornar paradigma, dando início à revolução científica.

Já a revolução científica demonstra que o conhecimento não pode ser acumulado de forma linear e sim é fruto de um avanço descontínuo que representam saltos qualitativos. De acordo com Kuhn:

...consideremos revoluções científicas aqueles episódios de desenvolvimento não-cumulativo, nos quais um paradigma mais antigo é total ou parcialmente substituído por um novo, incompatível com o anterior (KUHN, 2010, p. 125).

Sperandio (2014) discorreu que para ocorrer à revolução científica deve haver uma mudança de forma não fragmentada, sendo que a transformação é brusca, tendo consequência o rearranjo do fluxo de experimentos para elucidar padrões que não eram antes explicados. No período de revolução científica o novo paradigma encontra resistência entre os cientistas mais velhos e experientes que mobilizam os conhecimentos disponíveis para tentar refutar a nova teoria.

Esse momento é marcado por tensões, disputas, marcando assim a transição entre o antigo paradigma pelo novo, que não ocorre instantaneamente, sendo gradual e gerando assim discussões entre os membros da comunidade de cientistas e mesmo separações entre grupos de cientistas.

Somando-se a isso para que os cientistas passem a aderir ao novo paradigma existem influências de fatores econômicos, políticos e mesmo interesses pessoais em manter o status social. Moreira e Massoni (2011) apontaram alguns critérios para que a revolução científica estabeleça o novo paradigma.

1. Insatisfação com o paradigma existente (anomalias persistentes, crises),
2. Inteligibilidade de um novo paradigma (não haverá mudança se a comunidade científica não entender o novo paradigma),
3. Plausibilidade do novo paradigma (parece ter a capacidade de resolver anomalias não resolvidas pelo paradigma vigente).
4. Potencialidade no que se refere a um novo período de ciência normal frutífero (com muitos resultados e publicações) (MOREIRA & MASSONI, 2011, p. 34).

Portanto a revolução científica culmina com a aceitação de um novo paradigma pela comunidade científica com um novo período de Ciência normal.

Sendo assim a seguir apresentamos os aportes históricos da Química de Coordenação a partir das contribuições da Ciência normal, paradigma e revolução científica, visando também tecer discussões para o Ensino de Química.

A Química de Coordenação e seu desenvolvimento histórico: Reflexões a partir da teoria kuhniana

O surgimento da Química de Coordenação teve interligado ao desenvolvimento do conceito de valência que foi utilizado para explicar a combinação dos elementos químicos, ao qual esse modelo foi desenvolvido por Friedrich August Kekulé que afirmava que a valência é uma particularidade dos elementos e, portanto, não era variável (TOMA, 2014).

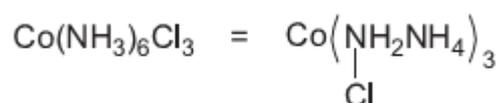
De acordo com Kauffman (1972), Kekulé defendeu de forma incisiva o princípio de valência, devido ao poder teórico de explicação para os compostos de carbono que são tetravalentes. Mas os resultados experimentais começaram a se acumular que demonstravam limitação do princípio de valência, quando aplicados a outros elementos que não fossem o carbono, em especial os compostos de coordenação que, por exemplo, levaram a representações incorretas para o FeCl_3 e o Fe_2Cl_4 (TOMA, 2014).

Com isso temos um período de Ciência normal, ao qual o paradigma vigente que era o princípio de valência é o mais aceito na comunidade científica para a elucidação dos fenômenos observados no laboratório. Porém é perceptível, o surgimento de anomalias no paradigma que demonstraram as limitações do princípio de valência e suscitaram novas pesquisas especificamente em compostos de coordenação. Apesar disso as anomalias não foram suficientes para romper com o paradigma da valência, sendo aceito ainda pela comunidade de cientistas que se dedicavam na maioria aos estudos na Química Orgânica, ao qual esse paradigma continuava elucidando os resultados das pesquisas experimentais. Diante disso não era necessário somente instalar anomalias no paradigma era necessário, formular uma nova teoria que tivesse condições de promover a revolução científica e desenvolver um novo período de Ciência normal.

Essas raízes começaram a surgir nos estudos experimentais com as aminas de cobalto, que teve como um dos pesquisadores percussores Leopold Gmelin que determinou a estequiometria e as propriedades com sucesso do composto $\text{Co}_2(\text{NH}_3)_{12}\text{C}_6\text{O}_{12}$. Outros pesquisadores desenvolveram novos compostos, dentre esses o $\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}_3$, sintetizado por Frémy e também compostos contendo cobalto, cromo e platina que foram desenvolvidos independentemente por pesquisadores nos Estados Unidos, Suécia e Dinamarca (TOMA, 2014).

Era comum ainda os cientistas que estudavam os compostos de coordenação terem formação em Química Orgânica e ainda tentarem utilizar o princípio de valência nos compostos de coordenação, demonstrando uma tentativa de encapsular os resultados anômalos dentro dos limites conceituais do paradigma vigente. Sendo assim os cientistas produziram representações para os compostos de coordenação, dentre estes temos o composto lúteo estudado por August Wilhelm Von Hofmann, apresentado na figura 1.

Figura 1: Representação do composto lúteo.



Fonte: TOMA, 2014, p. 576.

Um dos cientistas que não concordou com essa representação foi Sophus Mads Jorgensen, ao questionar “como a saída de uma amônia tornaria um dos átomos de cloro menos reativo que os demais, quando tratado com íons de prata” (TOMA, 2014, p. 576).

Segundo Kauffman (1959), as críticas de Jorgensen a representação da figura 1 decorre da sua modificação realizada na teoria da cadeia³ que foi elaborado pelo seu mentor e amigo Christian Wilhelm Blomstrand que sugeriu para Jorgensen estudar o composto lúteo. Essa teoria passou a ser utilizada para interpretar uma série de novos compostos de coordenação que foram sintetizados por Jorgensen.

Somando-se a essa discussão Kragh (1997), afirmou que Blomstrand e Jorgensen compartilhavam de concepções conservadoras que refletiam no empirismo profundamente enraizado e uma desconfiança de hipóteses que iam além dos fatos experimentais ou que mesmo rompessem com a tradição de pesquisa existente.

³ A teoria da cadeia, emerge na área de estudos dos compostos moleculares (coordenação), a partir da influência da Química Orgânica, como foi nítido por exemplo, na explicação das moléculas de amônia que foi interpretado, apresentando ligações dispostas em cadeias ($\text{NH}_3\text{-NH}_3$), sendo familiar a disposição dos compostos de carbono, por exemplo ($\text{CH}_2\text{-CH}_2$) (FARIAS, 2001).

Essas ideias foram empregadas na teoria da cadeia ao explicar os resultados empíricos e mostrou-se importante para determinar a constituição do sal lúteo, que era representado por três cadeias, duas com uma molécula de amônia e uma com quatro moléculas de amônia isto é: $\text{Co}(\text{NH}_3\text{-NH}_3\text{-NH}_3\text{-NH}_3\text{-Cl})\text{-}(\text{NH}_3\text{-Cl})_2$. Várias pesquisas foram realizadas com sais complexos e Jorgensen utilizou da teoria da cadeia para elucidar os resultados, sendo posteriormente aceita pela comunidade como a forma de representação mais plausível para a estrutura dos compostos de coordenação (KRAGH, 1997).

Dessa forma a teoria da cadeia foi ganhando mais aceitação na comunidade científica e passou a propiciar prestígio científico a Jorgensen, enquanto as pesquisas com sais de compostos de coordenação avançavam com cada vez mais resultados sendo obtidos e muitos destes não eram explicados pela teoria da cadeia, esses resultados eram muitas vezes forçados a entrar nos limites da teoria da cadeia (KAUFFMAN, 1994).

A teoria de Jorgensen foi cada vez sendo mais aceita e o paradigma da teoria de valência começou a gradativamente a ser superada, levando as aceitações das ideias de Jorgensen, mesmo que elas não correspondessem a todas as evidências experimentais, visto que ainda não eram bem explicados a geometria e o arranjo espacial dos átomos nos sais dos compostos de coordenação.

Dessa forma o paradigma foi instalado e no período de Ciência normal tentou manter os resultados conflitantes dentro do escopo da teoria da cadeia, sendo que novos campos de pesquisas são dificultados de serem criados pois os cientistas são orientados pelo paradigma e seu alcance conceitual.

Entretanto para Kuhn (2011), chega um momento que os resultados são tão conflitantes que a Ciência só irá avançar por abalos e rupturas no paradigma vigente. Sendo que especificamente no caso do desenvolvimento da Química De Coordenação, veio de Alfred Werner que em seu doutorado em Química Orgânica, estava investigando o arranjo espacial e a conectividade dos átomos de compostos contendo nitrogênio, visto que era um tema de intenso debate na comunidade científica e que a teoria da cadeia não elucidava de forma efetiva (SANTOS, et al, 2014).

Após o seu doutorado Werner conduziu uma série de estudos com compostos de coordenação, dando ênfase especificamente na valência e a estereoquímica desses compostos. Pois a valência ainda não era entendida como variável, enquanto a estereoquímica apresentava avanços advindo da Química Orgânica com as pesquisas de Jean Baptiste Biot e de Louis Pasteur que identificaram os compostos opticamente ativos, mas não forneceram explicações dessa propriedade. Foi apenas com as pesquisas independentes de Jacobus Henricus van't Hoff e de Joseph-Achille Le Bel, que foi proposto a ideia do carbono tetraédrico e com os ligantes diferentes (SANTOS, et al, 2014).

Dessa forma os avanços na Química Orgânica foram importantes para que Werner desenvolve-se as suas ideias e atribuisse a elas um caráter inovador, pois a hipótese

assimétrica dos ligantes só tinha sido elucidada para o átomo de carbono (SANTOS, et al, 2014).

Já em relação à valência, Werner propôs a existência nos compostos de coordenação da valência primária e secundária a partir de seus estudos nos complexos aminocobálticos. Dessas conclusões Werner refutou o modelo de Jorgensen que levava em consideração o caráter pentavalente do átomo de nitrogênio, ao atribuir que era possível variar o número de coordenação e este ser diferente do seu estado de oxidação que também poderia apresentar variações. Essa nova concepção de valência nos compostos de coordenação permitiu que Werner explicasse a valência nos cloretos iônicos que faziam parte do composto de coordenação que passaram a ser estudada como valência primária, enquanto os nãos iônicos passaram a ser interpretados a partir da valência secundária (SANTOS, et al, 2014).

Dessa concepção de valência surgiria mais tarde o estado de oxidação do metal e a esfera de coordenação do metal correspondendo ao formato espacial do composto de coordenação (LEE, 1999).

Para Kauffman (1997) outro ponto que Werner contribuiu para a Química de Coordenação, trata-se da estereoquímica ao qual Werner utilizou o método de resolução mais comum que era o de formação dos diastereoisômeros propostos por Pasteur. Porém esse método não foi eficiente no estudo dos compostos de coordenação, pois os sais estudados por Werner eram muitos estáveis em solução, sendo que a modificação do método de Pasteur, veio por sugestão de um dos alunos de Werner, que propôs o uso de agentes derivados da cânfora o: (+) -,canforsulfônico e o bromocanforsulfônico (+)- que são ácidos e bases fortes.

Somando-se a isso Toma (2014), apontou que Werner, além de empregar o método de Pasteur também utilizou um dos isômeros óticos presentes no íon tartarato para atuar como ânion externo. Werner então partiu da premissa que haveria interação com um dos isômeros óticos do complexo de cobalto (III) com a etilenodiamina, hipótese essa confirmada experimentalmente propiciando distinguir o isômero da mistura empregando a cristalização em suas possibilidades de seletiva ou fracionada.

Com isso Werner obteve sucesso na determinação ótica de diversos compostos de coordenação e também contribuiu para o desenvolvimento da isomeria geométrica cis e trans para os compostos de coordenação a partir do seu trabalho intitulado “Uma contribuição à constituição de Compostos de Inorgânicos”.

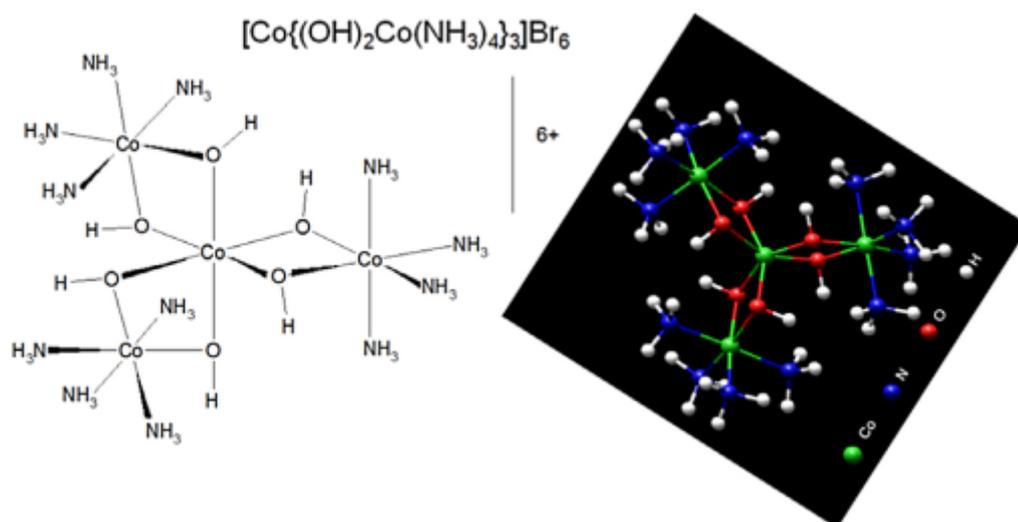
Entretanto mesmo com vários resultados experimentais apontando para existência da estereoquímica nos compostos de coordenação ainda restava muitas dúvidas, pois a comunidade de cientistas acredita que atividade óptica ainda era propriedade exclusiva dos compostos orgânicos e não tinha relação com a estereoquímica (TOMA, 2014).

Esse fato era congruente com os resultados experimentais até então obtidos por Werner e pelo seu grupo de pesquisa que só tinha conseguido elucidar a isomeria óptica de compostos de coordenação com ligantes carbônico etilenodiamino que não é um ligante com propriedades quirais o que levava a comunidade de cientistas a recursar os resultados do grupo de Werner, reforçando a hipótese de que apenas os compostos orgânicos tinham atividade óptica (SANTOS et al., 2014).

Diante disso é evidente que mesmo com os resultados indicando à existência de um novo paradigma a comunidade de cientistas resiste às novas ideias até que sejam refutadas de forma completa os vestígios das influências de teorias anteriores. No caso a Química Orgânica continuava exercendo influência no desenvolvimento da Química de Coordenação, pois inspirava grande confiança nos cientistas devido aos avanços no entendimento dos compostos de carbono.

Werner só conseguiu a prova experimental para refutar essa influência da Química Orgânica em 1914 com a resolução dos isômeros ópticos do complexo $[\text{Co}\{(\text{OH})_2\text{Co}(\text{NH}_3)_4\}_3]\text{Br}_6$. Portanto este era o primeiro isômero que é opticamente ativo e que não apresenta átomos de carbono em sua constituição (TOMA, 2014). Na figura 2 temos uma representação dessa estrutura opticamente ativa.

Figura 2: Representação estrutura do primeiro composto de coordenação opticamente ativo sem átomos de carbono.



Fonte: TOMA, 2014, p. 578.

Esse resultado confirmou as ideias de Werner e levou a estereoquímica nos compostos de coordenação ser aceita pela comunidade de cientistas, levando ao

desenvolvimento da Química dos compostos de Coordenação com uma das áreas da Química Inorgânica.

Sendo assim é importante destacar que vários dos compostos de coordenação estudado por Werner tinham sido sintetizados por Jorgensen que conhecia as bases experimentais do trabalho de Werner, porém ele não se interessou a desenvolver uma teoria semelhante ao de Werner. Pois Jorgensen seguia de forma tradicional os métodos do paradigma que instalou com a teoria da cadeia, seguindo a premissa que o conhecimento teórico não pode avançar mais que os resultados experimentais, sendo que os resultados experimentais devem pavimentar o caminho que o desenvolvimento teórico deve seguir (FARIA, 2001). Além disso, Toma (2014), apontou que Jorgensen utilizava das medidas experimentais para comprovar as hipóteses que já eram conhecidas. Desse modo temos uma proteção do paradigma que é movida pela acomodação dos resultados dentro dos limites do paradigma, outro ponto importante é que Jorgensen tinha 30 anos a mais do Werner sendo de uma geração anterior de pesquisadores o que dificultava a aceitação de novas teorias. Pois Segundo Kuhn (2010) os cientistas mais velhos têm mais resistência em aceitar novas evidências ou mesmo ideias uma vez que o resultado mais seguro deve ser mantido em relação aos duvidosos.

Com isso a revolução científica que superou o paradigma da teoria da cadeia ocorreu devida Werner não buscar encapsular seus resultados dentro dos limites do paradigma vigente que era o caminho comumente seguido pelos cientistas adeptos do paradigma, percorrendo então caminhos distintos em que a resolução teórica mostrou-se uma ferramenta importante para o desenvolvimento científico.

Essa postura de Werner não aceitar seguir de forma categórica o paradigma vigente levou este a emergir intensamente na crise do paradigma da teoria da cadeia levando a emergência de insight que propiciaram a formulação de suas ideias a respeito da valência e do estereoquímica dos compostos de coordenação que segundo Farias (2001, p. 30) “Às duas horas de certa madrugada, Werner acordou sobressaltado, com todo um conjunto de ideias já em sua mente. Após escrever freneticamente durante 18 horas, o trabalho estava praticamente pronto”. Essa afirmação concorda com o exposto por Kuhn (2010), ao qual um cientista intensamente imerso na crise do paradigma pode ter um insight que levava ao abalo e a revolução científica, podendo ocorrer em qualquer momento.

No caso do desenvolvimento da Química de Coordenação essa revolução científica foi gradual e a comunidade de cientistas resistiu aos resultados conflitantes ao máximo, sendo que apenas com a combinação do desenvolvimento teórico com os resultados experimentais foi possível superar o paradigma da teoria da cadeia que era influenciado pela Química Orgânica, para então instalar um novo período de Ciência normal que perdura até os dias atuais.

Na área da formação de professores de Química essas discussões podem ser aproveitadas para demonstrar que a Ciência é um constructo humano fruto de dilemas, ideias, avanços e retrocessos que passam pela aceitação e refutação de teorias. Contribuindo dessa forma para romper com a premissa do Ensino de Química de Coordenação estático e dissociado de seus aspectos históricos. Isso contribuiu para desconstruir a premissa que muitos professores de Química têm de que dominar o conhecimento científico é o único fator para o êxito da sua prática docente (DAMASIO & PEDUZZI, 2017).

Nessa perspectiva a formação inicial docente preconiza pelo predomínio de aulas teóricas/expositivas e com lista de problemas que levam ao professor a repetir o conhecimento que está nos livros, valorizando o ensino pela testagem no qual é importante obter a resposta correta tendo como consequência a aprendizagem mecânica, deixando em segundo plano o processo de construção do conhecimento científico (MOREIRA, 2017).

Ainda segundo esse autor, o Ensino de Ciências não é ensinar para decorar fórmulas e respostas para serem utilizadas em testes e depois obliteradas e avançar na formação humana e transformadora que seja incorporado aspectos do fazer científico tais como, a modelagem a argumentação, o desenvolvimento das conjecturas.

Somando-se a isso, Martins (2006) apontou que aproximar o contexto histórico cultural ao quais os cientistas estão imersos permite discutir o processo coletivo da produção de conhecimentos, desmitificando a ideia que a Ciência é realizada por gênios isolados da sociedade e que eles produzem teorias já consolidadas.

Assim sendo, a presente reconstrução histórica é uma possibilidade de abordagem da Química de Coordenação de forma a propiciar os caminhos para a superação de concepções distorcidas sobre o fazer científico e também sobre a ideia de uma Ciência “pronta e acabada”. Com isso buscamos apresentar uma visão não estática da Ciência, permitindo que os aspectos humanos façam parte das investigações científicas, possibilitando tecer inferências acerca da epistemologia kuhniana que valorize esses aspectos e apontamos a necessidade de a formação docente inicial abranger essas discussões visando à formação de docentes que não reproduzam visões distorcidas sobre ciências na Educação Básica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa buscou estabelecer reflexões entre o desenvolvimento histórico da Química de Coordenação a partir da epistemologia de Thomas Samuel Kuhn e apontar contribuições para a epistemologia na formação de professores.

Essas reflexões são necessárias para que os docentes compreendam a natureza da produção do conhecimento científico que não ocorre de forma linear e acumulativo apenas com resultados para confirmar a teoria, mas sim é um processo transformativo em que o

avanço do conhecimento científico demanda que sejam utilizadas diversas ferramentas de construção tais como a integração entre a área teórica e a experimental.

Deste modo a abordagem histórica apresentada permite demonstrar uma vertente pautada na dinamicidade do processo de construção do conhecimento científico reconhecendo assim a importância de apresentar como a Ciência é construída. Além de valorizar a criatividade como um fator inerente a construção da Ciência e também as diferentes abordagens metodológicas que são utilizadas pelos cientistas de acordo com suas concepções.

Portanto utilizar dessa abordagem que propicia demonstrar a construção da Ciência a partir da ótica epistemológica de Kuhn permite discutir a visão da Ciência como constructo estático de caráter absoluto e não passível de mudanças, contribuindo assim para que os docentes não passem uma visão distorcida da Ciência e de sua construção para os estudantes. Sendo também uma possibilidade de abordagem da Química de Coordenação de forma não dogmática ao não privilegiar unicamente abordagem pautada pelos métodos tradicionais de ensino.

REFERÊNCIAS

CALLEGARIO, L, J.; et al. A História da Ciência no Ensino de Química: Uma Revisão. **Revista Virtual de Química**. v.7, n.3, p. 977-991, 2015.

CAVALCANTI, A, de S.; SILVA, M, de F, V.; MACÊDO, F, C, da S. Bases epistemológicas em Educação em Ciências: Imagens da Ciência e o processo de ensino-aprendizagem. In: Conferencia de la asociación latino americana de Investigación en Educación en Ciencias, Lasera. **Anais...** Manaus: LASERA, 2013.

DAMASIO, F.; PEDUZZI, L, O, Q.; A formação de professores para um ensino subversivo visando uma aprendizagem significativa crítica: Uma proposta por meio de episódios Históricos de Ciência. **Labore Ensino de Ciências**. v. 1, n.1, p. 14-34, 2016.

DAMASIO, F.; PEDUZZI, L, O, Q.; História e Filosofia da Ciência na Educação Científica: Para Quê? **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**. v. 19, s/n, p. 1-20, 2017.

DAMASIO, F.; PEDUZZI, L, O, Q.; A formação continuada de professores para um ensino subversivo visando uma aprendizagem significativa crítica por meio da História e Filosofia da Ciência sob o viés relativista: Um estudo de caso. **Experiências em Ensino de Ciências**. v.12, n.5, p. 47-67, 2017.

FARIAS, R. F. **Química de coordenação, fundamentos e atualidades**. 2ª ed. Campinas: SP, Editora Átomo, 2009.

FARIAS, R. F. Werner, Jorgensen e o papel da intuição na evolução do conhecimento químico. **Química Nova na Escola**. n.13, p. 29-33, 2001.

FORATO, T, C, De M.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R, de, A.; Historiografia e Natureza da Ciência na Sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v.28, n.1, p.27-58, 2011.

FRAGOSO, M.; et al. Recordando Thomas S. Kuhn (1922-1996). **Gazeta de Física**. v.1, n,1, p. 2-6, 1998.

GAMA, L, D.; ZANECTIC, J.; Reflexões epistemológicas para o Ensino de Ciências: Questões problematizadoras. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 7., 2009, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ENPEC, 2009. Disponível em: <http://posgrad.fae.ufmg.br/posgrad/viienepec/pdfs/776.pdf>. Acesso em: 27/07/2018.

KAUFFMAN, G, B.; Werner, Kekulé, and the Demise of the of Constant Valency. **Journal of Chemical Education**. v. 49, n.12, p. 813-817, 1972.

KAUFFMAN, G, B.; Sophus Mads Jorgensen (187-1914). **Proceedings of the Pacific Southwest Association of Chemistry Teachers**. v.36, n.10, p. 521-527, 1959.

KAUFFMAN, G, B.; **Coordination Chemistry A Century of Progress**. Washington: American Chemical Society, 1994.

KAUFFMAN, G, B.; A Stereochemical Achievement Of The First Order: Alfred Werner'S Resolution Of Cobalt Complexes, 85 Years Later. **Bulletin History Of Chemistry**. v.20, s/n, p. 50-59, 1997.

KOSMINSKY, L.; GIORDAN, M. Visões de Ciência e sobre Cientistas entre Estudantes do Ensino Médio. **Química Nova na Escola**. n. 15, p. 11-18, 2002.

KRAGH, H.; S.M. Jorgensen and his controversy with A. Werner. **The British Journal for The History of Science**. v.30, s/n, p. 203-219, 1997.

KUHN, T. S. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. Tradução. Beatriz Viana Boeira. 10. ed. São Paulo: Perspectiva, 2010.

KUHN, T, S. **A tensão essencial**. Tradução: Marcelo Amaral Penna-Forte. Rio Claro: Editora Unesp, 2011.

LEE, J.D.; **Química Inorgânica não tão concisa**. 5 ed. Tradução: Henrique Eisi Toma. Rio de Janeiro: Blucher, 1999.

LÔBO, S, F.; MORADILLO, E, F.; Epistemologia e a Formação Docente em Química. **Química Nova na Escola**. n.17, maio, p. 39-41, 2003.

MARTINS, R. de. A. Introdução a história das ciências e seus usos na educação. (pp. 21-34). In: Silva, C, C. (ed.). **Estudos de História e Filosofia das Ciências**: subsídios para aplicação no ensino. São Paulo: Livraria da Física, 2006.

MASSONI, N, T.; **A epistemologia contemporânea e suas contribuições em diferentes níveis de Ensino de Física**: A questão da mudança epistemológica. 2010. 410f. Tese de Doutorado em (Ciências Instituto de Física), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

MASSONI, N, T.; MOREIRA, M, A.; Interfaces entre visões epistemológicas e Ensino de Ciências. **Ensino, Saúde e Ambiente**. v.9, n.1, p. 1-32, 2016.

MENDONÇA, A, L, O.; VIDEIRA, A, A, P.; Progresso científico e incomensurabilidade em Thomas Kuhn. *Scientiae Studia*, v.5, n.2, p. 169-183, 2007.

MOREIRA, M, A; MASSONI, N.T.; **Epistemologias do século XX**. Ed. EPU. São Paulo, 2011.

MOREIRA, M, A.; Bóson de Higgs: Uma conjectura audaz? **Ensino e Tecnologia em Revista**. v.1, n.2, p. 141-157, 2017.

OKI, M, C, M.; Paradigmas Crises e Revoluções: A História da Química na perspectiva Kuhniana. **Química Nova Na Escola**. n.20, p. 32-37, 2004.

OSTERMANN, F.; A Epistemologia de Kuhn. **Caderno Catarinense de ensino de física**. v.13, n.13, p. 184-196, 1996.

PORLÁN, R.; RIVERO, A.; MARTÍN DEL POZO, R. Conocimiento profesional y epistemologia de los profesores II: estúdios empíricos e conclusiones. *Enseñanza de las Ciências*: **Revista de Investigación y Experiencias Didáticas**. v. 16, n.2, p. 171-289, 1998.

PRAIA, J.; CHACHAPUZ, A.; GIL-PÉREZ, D.; A hipótese e a experiência científica em Educação em Ciência: Contributos para uma reorientação epistemológica. **Ciência & Educação**. v.8, n.2, p. 253-262, 2002.

RODRIGUES-JUNIOR, E.; et al. Implicações didáticas de História da Ciência no ensino de Física: Uma revisão de literatura através da análise textual discursiva. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v.32, n.3, p. 769-808, 2015.

SAITO, F.; BELTRAN, M, H, R.; Revisitando as relações entre Ciência e “techné”: Ciência, técnica e tecnologia nas origens da Ciência moderna. In: Seminário Nacional de História da

Ciência e da Tecnologia, 14., 2014, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SNHCT, 2014. Disponível em: https://www.14snhct.sbhc.org.br/arquivo/download?ID_ARQUIVO=1713. Acesso em: 27/07/2018.

SANTOS, L, M.; et al. Química de Coordenação: Um sonho audacioso de Alfred Werner. **Revista Virtual de Química**. v.6, n,5, p. 1260-1281, 2014.

SOUZA, T, A.; **A concepção de Ciência em Thomas Kuhn**. 2012. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Filosofia), Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

SOUZA, V.C.A. JUSTI, R.S. Diálogos possíveis entre o ensino fundamentado em modelagem e a História da Ciência. **Revista electrónica de enseñanza de las ciencias**. v. 11, n. 2, p. 385-405, 2012.

SPERANDIO, C, S.; **Incomensurabilidade: Uma Questão Epistemológica Ou de Linguagem**. 2014. 113f. Dissertação de Mestrado (Em Filosofia, Departamento de Filosofia da Escola de Filosofia, Letras e Ciências Humana- Universidade Federal de São Paulo), São Paulo, 2014.

TAUCEDA, K.C.; NUNES, V.M; DEL PINO, J.C. O livro didático e as representações mentais de bioquímica e biofísica em alunos do ensino médio. **Experiências em Ensino de Ciências**. v.6, n.1, p. 57-68, 2011.

TOMA, E, H.; Alfred Werner e Heinrich Rheinboldt: Genealogia e Legado Científico. **Química Nova**. v.37, n.3, p. 574-581, 2014.

RESUMO

A utilização da Epistemologia da Ciência integrada com a História da Ciência permite a discussão do processo de produção do conhecimento científico contribuindo para superar a visão distorcida da ciência que os docentes apresentam e que são levados para suas aulas. Dessa forma o presente estudo, tem como objetivo analisar o processo histórico da Química de Coordenação a partir das contribuições da epistemologia de Thomas Samuel Kuhn e apontar reflexões para o Ensino de Química. Para isso utilizou-se a ciência normal, paradigmas e revolução científica que foram interpretados para discutir o princípio de valência de Kekulé, a teoria de cadeia adaptado por Jorgensen e as contribuições de Werner para a valência e a estereoquímica. Sendo que essa discussão é importante para demonstrar o caráter não apenas empírico da ciência.

RESUMEN

La utilización de la Epistemología de la Ciencia integrado con la Historia de la Ciencia permite la discusión del proceso de producción del conocimiento científico contribuyendo a superar la visión distorsionada de la ciencia que los docentes presentan y que son llevados a sus clases. De esta forma el presente estudio, tiene como objetivo analizar el proceso histórico de la Química de Coordinación a partir de las contribuciones de la epistemología de Thomas Samuel Kuhn y señalar reflexiones para la Enseñanza de Química. Para ello se utilizó la ciencia normal, paradigmas y revolución científica que fueron interpretados para discutir el principio de valencia de Kekulé, la teoría de cadena adaptada por Jorgensen y las contribuciones de Werner a la valencia y la estereoquímica. Siendo que esta discusión es importante para demostrar el carácter no sólo empírico de la ciencia.