UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
NÚCLEO DE FORMAÇÃO DOCENTE
CURSO DE QUÍMICA – LICENCIATURA

CAIO CÉSAR DE OLIVEIRA VILELA

AFINIDADE ELETRÔNICA E PERIODICIDADE: ANÁLISE DA APRENDIZAGEM DOS DISCENTES NUM CURSO DE FORMAÇÃO DOCENTE EM QUÍMICA NO AGRESTE PERNAMBUCANO.

Caruaru
2021

CAIO CÉSAR DE OLIVEIRA VILELA

AFINIDADE ELETRÔNICA E PERIODICIDADE: ANÁLISE DA APRENDIZAGEM DOS DISCENTES NUM CURSO DE FORMAÇÃO DOCENTE EM QUÍMICA NO AGRESTE PERNAMBUCANO.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Colegiado de Química-Licenciatura do Campus do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciado em Química.

Área de concentração: Ensino de Química e Química Inorgânica.

Orientadora: Prof.ª Dr.ª Jane Maria Gonçalves Laranjeira

Caruaru

2021

Catalogação na fonte:
Bibliotecária – Simone Xavier - CRB/4 - 1242

V699a Vilela, Caio César de Oliveira.
Afinidade eletrônica e periodicidade: análise da aprendizagem dos discentes num curso de formação docente em química no agreste pernambucano. / Caio César de Oliveira Vilela. – 2021.
75 f.; il.: 30 cm.

Orientadora: Jane Maria Gonçalves Laranjeira.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA**,** Licenciatura em Química**,** 2021.
Inclui Referências.

1. Química – Estudo e ensino. 2. Dificuldades de aprendizagem. 3. Modelos matemáticos. I. Laranjeira, Jane Maria Gonçalves (Orientadora). II. Título.

CDD 371.12 (23. ed.) UFPE (CAA 2021-217)

CAIO CÉSAR DE OLIVEIRA VILELA

AFINIDADE ELETRÔNICA E PERIODICIDADE: ANÁLISE DA APRENDIZAGEM DOS DISCENTES NUM CURSO DE FORMAÇÃO DOCENTE EM QUÍMICA NO AGRESTE PERNAMBUCANO.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Colegiado de Química-Licenciatura do Campus do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciado em Química.

Aprovada em: 02/09/2021.

BANCA EXAMINADORA

_____

Profª. Drª. Jane Maria Gonçalves Laranjeira (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

_____

Profª. Drª. Regina Célia Barbosa de Oliveira (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

_____

Profª. Drª. Gilmara Gonzaga Pedrosa (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

A minha família Rosângela, Carlos e Caique que são meu porto seguro e acreditaram em mim, fazendo tudo o que puderam para que chegasse esse momento primordial em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me conceder o dom da vida e me proporcionar experiências maravilhosas ao longo desta.

A todos de minha família que contribuíram para que esse momento chegasse em minha vida, me encorajando e aconselhando, principalmente quando houveram as dificuldades ao longo da trajetória.

A minha namorada, Larissa Queiroz, por me acalmar nos momentos difíceis e pela paciência ao suportar os estresses do dia-a-dia causados ao longo deste trabalho.

A minha orientadora, a professora Jane Maria Gonçalves Laranjeira, pela paciência e as contribuições ao longo deste trabalho.

A minha professora Ana Paula de Souza Freitas, pelas contribuições na aprendizagem em todas as disciplinas que lecionou e principalmente na Metodologia da Pesquisa Educacional e no Trabalho de Conclusão de Curso, por dar um embasamento teórico sólido para que este documento fosse escrito.

A todos meus professores(as) do curso de Química-Licenciatura da Universidade Federal de Pernambuco do Campus Agreste por proporcionar tanta aprendizagem e conhecimento científico ao longo destes 5 anos, e também por propiciarem reflexões ao longo desta caminhada que vou levar para a vida.

A todos os sujeitos de pesquisa deste trabalho, que proporcionaram a realização do mesmo.

A todos meus amigos do curso, e principalmente da turma de 2015.2 por me acolherem tão bem ao longo destes anos e me ajudarem em momentos difíceis, graças a nossa parceria e compreensão, conseguimos superar tudo.

Enfim, agradeço a todos pela paciência, compreensão, compaixão, companheirismo, empatia e por serem tão amigos.

A vocês todo meu amor e agradecimento,
muitíssimo obrigado!

RESUMO

Este trabalho de natureza qualitativa e documental, têm como objetivo investigar quais as dificuldades de aprendizagem inerentes ao processo de ensino e aprendizagem do modelo conceitual matemático e termodinâmico, da propriedade atômica afinidade eletrônica no Ensino Superior, em um curso de formação docente em Química. Para isso, a metodologia adotada foi a análise de conteúdo que refere-se às construções textuais elaboradas pelos discentes para as situações problemas sobre este parâmetro atômico, formuladas pelo docente em dois instrumentos de avaliação: grupo de discussão do componente curricular na rede social *Facebook* e portfólio avaliativo, aplicadas para os discentes regularmente matriculados no componente curricular "Química Inorgânica I", ofertado no quarto período de um curso de formação docente em Química de uma instituição de Ensino Superior no Agreste Pernambucano, que contava com 15 (quinze) estudantes regularmente matriculados neste componente curricular obrigatório, dos quais a maioria – 9 (nove) – seguindo os critérios de inclusão e exclusão participaram desta pesquisa. Os resultados deste trabalho ajudaram a compreender como ocorreu o processo de ensino e aprendizagem dos discentes referente ao parâmetro atômico em questão e quais as dificuldades de aprendizagem que foram agregadas a ele. Possibilitou discutir com o docente do componente curricular em questão as referências bibliográficas adotadas, e foi sugerido que fosse definida uma única referência bibliográfica para este componente curricular, pois concluiu-se que os diferentes conceitos trabalhados pelos referenciais bibliográficos adotados contribuem para as dificuldades de aprendizagem dos discentes no componente curricular, além disso que seja também abordada a perspectiva matemática e analisar metodologias de fazer com que os discentes no processo de ensino e aprendizagem deste parâmetro atômico, consigam interpretar o conceito de AE nos diferentes níveis que o conhecimento químico exige, o macroscópico, submicroscópico e principalmente o simbólico ou representacional. Portanto, contribuiu na formação docente do pesquisador e da orientadora pelo fato de que o pesquisador pôde refletir sobre metodologias de ensino alternativas que possam auxiliar no ensino e aprendizagem neste contexto formativo.

Palavras-chave: Ensino e aprendizagem. Dificuldades de Aprendizagem. Propriedades atômicas. Modelo conceitual da afinidade eletrônica.

ABSTRACT

This qualitative and documentary work aims to investigate the learning difficulties inherent in the teaching and learning process of the conceptual, mathematical and thermodynamic model of the atomic property electronic affinity in Higher Education, in a teacher training course in Chemistry. For this, the adopted methodology was the content analysis, which refers to the textual constructions elaborated by the students for the problem situations about this atomic parameter, formulated by the professor in two evaluation instruments: discussion group of the curricular component in the Facebook social network and evaluative portfolio, applied to students regularly enrolled in the curricular component "Inorganic Chemistry I", offered in the fourth period of a teacher training course in Chemistry at a Higher Education institution in the Agreste of Pernambuco, which had 15 (fifteen) students regularly enrolled in this mandatory curricular component, of which the majority – 9 (nine) – following the inclusion and exclusion criteria participated in this research. The results of this work helped to understand how the teaching and learning process of students took place regarding the atomic parameter in question and which learning difficulties were added to it. It made it possible to discuss with the professor of the curricular component in question the adopted bibliographic references, and it was suggested that a single bibliographic reference be defined for this curricular component, as it was concluded that the different concepts worked by the adopted bibliographic references contribute to the learning difficulties of the students in the curricular component, in addition to addressing the mathematical perspective and analyzing methodologies to make students in the teaching and learning process of this atomic parameter, able to interpret the concept of EA at the different levels that chemical knowledge requires, the macroscopic , submicroscopic and mainly the symbolic or representational. Therefore, it contributed to the teacher training of the researcher and advisor because, analyzing this process, the researcher was able to reflect on alternative teaching methodologies that can help in teaching and learning in this formative context.

Keywords: *Teaching and learning. Learning difficulties. Atomic Properties. Conceptual model of atomic electronic affinity.*

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Definições e fatores da variação periódica de vários autores para afinidade eletrônica (AE)..... 29

Quadro 2 - Situação problema proposta pelo docente para estudo sobre o modelo conceitual da afinidade eletrônica dos elementos do Grupo 15 da tabela periódica..... 44

Quadro 3 - Afinidade eletrônica dos elementos do Grupo 15..... 44

Quadro 4 - Transcrição da discussão do discente D5 e o Docente sobre o item (viii) da situação problema 5..... 45

Quadro 5 - Transcrição da discussão do discente D8 e o Docente sobre a situação problema 5..... 50

Quadro 6 - Valores das afinidades eletrônicas de alguns elementos do Grupo 15..... 53

Quadro 7 - Situação problema proposta pelo Docente para estudo da propriedade atômica AE referente aos elementos do Grupo 18 da tabela periódica..... 58

Quadro 8 - Registros elaborados pelos discentes no portfólio formativo sobre os itens da situação problema 6..... 58

Quadro 9 - Objetivos específicos para o módulo do Grupo 18..... 67

Quadro 10 - Avaliação autocrítica dos discentes sobre o ensino e aprendizado no módulo do Grupo 18..... 69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AE	Afinidade eletrônica
D	Discente (numeração de 1 a 9)
C	Categoria de análise (numeração de 1 a 5)
et al.	e outro

SUMÁRIO

1	**INTRODUÇÃO**	11
2	**OBJETIVOS**.....	14
2.1	Objetivo Geral.....	14
2.2	Objetivos Específicos.....	14
3	**REFERENCIAL TEÓRICO**	15
3.1	Dificuldades de aprendizagem no ensino de Química.....	15
3.2	Modelos e representações matemáticas e suas implicações no processo de ensino e aprendizagem de Química.....	23
3.3	Modelo conceitual matemático e termodinâmico da afinidade eletrônica atômica.....	28
4	**METODOLOGIA**	36
4.1	Classificação da pesquisa.....	36
4.2	Sujeitos e campo de pesquisa.....	37
4.3	Instrumentos de coleta de dados.....	38
4.4	Análise dos resultados.....	39
5	**RESULTADOS E DISCUSSÃO**.....	43
5.1	Análise dos registros elaborados pelos discentes no grupo de discussão do *Facebook* do componente curricular de Química Inorgânica I.....	43
5.2	Análises das interpretações dos discentes sobre o modelo conceitual, matemático e termodinâmico, da propriedade atômica afinidade eletrônica (AE) nos portfólios formativos.....	57
6	**CONSIDERAÇÃO FINAIS**.....	72
	REFERÊNCIAS.....	74

1 INTRODUÇÃO

Percebe-se que devido a prática tradicional de ensino utilizada nas aulas de Química na Educação Básica, os estudantes apresentam dificuldades em compreender os conteúdos vivenciados nos ambientes formais de ensino, como por exemplo, no caso da periodicidade das propriedades atômicas dos elementos químicos que são explicadas, na maioria das vezes, com ênfase na direcionalidade da variação dos seus valores, indicada por meio de setas e sem aprofundamento da sua relação com outras propriedades, tais como: carga nuclear efetiva, raio atômico e distribuição eletrônica dos orbitais de valência, que são determinantes das propriedades atômicas, estruturais e químicas dos elementos químicos, e, portanto, sem a compreensão sobre as causas da periodicidade nos valores das propriedades atômicas. Neste contexto formativo, muitas vezes, os estudantes não são estimulados a dar significados àquelas setas que aparecem nos livros didáticos, perpetuando-se, assim, a prática da memorização no ensino de Química (ZAMBONI, 2013).

Nesta metodologia de ensino utilizada na Educação Básica, as setas sinalizam a direcionalidade do aumento ou decréscimo dos valores das propriedades atômicas considerando o formato da tabela periódica, por exemplo, o raio atômico cresce de cima para baixo nos grupos ou famílias e da direita para a esquerda nos períodos. Sendo assim, devido a maneira como as propriedades periódicas são ensinadas, entende-se por que os estudantes não conseguem dar significados a estas setas. Nos livros didáticos do Ensino Médio, esse conteúdo é abordado de maneira simplificada, com figuras trazendo a representação da tabela periódica com as setas indicando a variação dos valores (da esquerda para a direita e de cima para baixo) de forma que cada propriedade atômica tem variações nos seus valores e na sua periodicidade de acordo com a direção e sentido estabelecidas graficamente, sem explicações detalhadas dos fatores que determinam esta periodicidade, priorizando a memorização em detrimento da compreensão, e com isso os professores tendem a reproduzir os conteúdos dos livros didáticos favorecendo ainda mais a memorização deste conteúdo.

No entanto, a partir do início do século XXI, sabe-se que os pesquisadores da área do ensino de Química orientam para que seja necessário fazer com que os estudantes desenvolvam um senso crítico e autonomia, e por isso alguns conteúdos são mais explorados que outros, como por exemplo, o estudo das transformações

químicas é um conteúdo essencial para desenvolver competências e habilidades nos alunos, de forma que eles sejam capazes de interpretar, analisar e julgar as informações presentes em seu cotidiano (TRASSI *et al.*, 2001). Mas, mesmo diante destes avanços no ensino de Química, numa perspectiva de propiciar o senso crítico e autonomia dos estudantes, ainda persistia, no início do século XXI, uma abordagem dos fenômenos químicos, tanto teórica como empírica, sem se preocupar com as propriedades atômicas que contribuem para estas transformações, tais como: a eletronegatividade, a energia de ionização e a afinidade eletrônica (TRASSI *et al.*, 2001).

Como postulado na teoria atômica de Dalton, as transformações químicas se dão através da combinação, separação ou rearranjo de átomos, não existindo criação e nem destruição dos deles no percurso da reação. Portanto pode-se inferir que as transformações químicas só ocorrem devido ao fato de que os átomos possuem propriedades que permitem a combinação, separação ou rearranjo dos mesmos. Além disso, os valores destas propriedades atômicas apresentam variação periódica em função do número atômico destes elementos. Sendo assim é necessário que estas propriedades sejam abordadas de maneira que suas representações e conceitos sejam realmente compreendidos e que os estudantes consigam dar significados a eles.

Sendo assim, no Ensino Superior da Química Inorgânica, especialmente nos cursos de formação docente, esta perspectiva de compreensão aprofundada dos fenômenos e dos fatores físico-químicos e termodinâmicos, nos níveis de compreensão submicroscópico, macroscópico e representacional, é de fundamental importância em detrimento da prática tradicional de memorização no ensino de Química.

De acordo com o que foi discutido anteriormente, este trabalho busca resposta para a seguinte questão: Quais são as dificuldades dos estudantes na compreensão do modelo conceitual, matemático e termodinâmico, da propriedade atômica afinidade eletrônica e sua periodicidade num curso de formação docente em Química?

Como hipóteses para esta problemática investigada foram consideradas que estas dificuldades podem ocorrer em função: (i) De divergências nas interpretações conceituais apresentadas nos referenciais bibliográficos da Química Inorgânica comumente usados na graduação. (ii) Da forma como os estudantes interpretam

matematicamente o conceito deste parâmetro atômico e (iii) da abstração deste modelo conceitual.

Neste sentido, foi analisado, no contexto do processo de ensino e aprendizagem da Química Inorgânica, quais as dificuldades de aprendizagem do modelo conceitual matemático e termodinâmico, do parâmetro atômico afinidade eletrônica vivenciadas pelos discentes num curso de formação docente em Química de uma Universidade Pública no Agreste de Pernambuco, através da análise documental das interpretações dos sujeitos da pesquisa para as questões formuladas pelo docente, nos instrumentos avaliativos que foram aplicados ao longo deste processo formativo. A motivação para a investigação desta problemática surgiu a partir da constatação de que a maioria dos discentes apresentavam dificuldades na interpretação e compreensão do modelo conceitual matemático e termodinâmico dessa propriedade atômica e na interpretação na variação periódica dos seus valores.

Esse estudo foi relevante pois, a partir da análise e compreensão das dificuldades de aprendizagem dos discentes pôde-se repensar a formação docente dos estudantes de Licenciatura em Química, na perspectiva de orientar estes estudantes no planejamento de estratégias visando superar os obstáculos de aprendizagem tanto na interpretação conceitual como na fundamentação matemática desta propriedade atômica, fornecendo subsídios para que isso não seja reproduzido de maneira equivocada no Ensino Básico.

A seguir são apresentados os objetivos da pesquisa, que indicam o que pretendeu-se alcançar com o desenvolvimento dela, o referencial teórico que embasa a discussão dos resultados, a metodologia, que informa sobre quais foram as estratégias e caminhos que foram adotados para dar condições o suficiente de que os objetivos fossem alcançados, como foram sistematizados os dados e como ocorreu a análise destes, e por fim, as referências bibliográficas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Investigar quais as dificuldades de aprendizagem do modelo conceitual matemático e termodinâmico do parâmetro atômico afinidade eletrônica, pelos discentes, num curso de formação docente em Química de uma universidade pública no Agreste de Pernambuco.

2.2 Objetivos Específicos

- Analisar as interpretações dos discentes no Ensino Superior de Química sobre o modelo conceitual da afinidade eletrônica.
- Investigar as divergências entre as interpretações dos discentes e aquelas dos referenciais bibliográficos sobre este parâmetro atômico.
- Verificar se as divergências nas interpretações deste parâmetro atômico nos referenciais bibliográficos contribuem para as dificuldades de aprendizagem dos discentes.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste tópico será apresentado um conjunto de ideias e resultados de algumas pesquisas sobre o tema, realizadas por alguns pesquisadores da área, para fundamentar, posteriormente, a análise e discussão dos resultados deste estudo.

3.1 Dificuldades de aprendizagem no ensino de Química.

No cotidiano da educação em Química, percebe-se que o real significado de ensinar e aprender essa Ciência não é compreendido tanto pelos professores como pelos estudantes e isso é um dos principais fatores que contribuem para a desmotivação e a falta de engajamento dos estudantes no ensino e na aprendizagem dos conceitos químicos. Portanto, neste contexto formativo é necessário saber qual a importância da ciência Química para a formação científica e cidadã destes sujeitos permitindo-lhes ter compreensão sobre: as causas e os fatores termodinâmicos dos fenômenos naturais, os avanços das tecnologias atreladas, e favorecendo, o desenvolvimento científico, a exploração dos recursos naturais e seus impactos socioambientais, a produção de materiais e produtos importantes na sociedade atual – por exemplo: cosméticos, fármacos, plásticos, metais, semicondutores etc. – além da matriz energética, pautados na sustentabilidade do nosso Planeta. Mas, para se ter consciência sobre a essencialidade do conhecimento químico precisa-se do engajamento, tanto dos professores como dos estudantes, para que, a partir desta compreensão possam se tornar sujeitos críticos e ativos na sociedade (ZABALA, 2007 apud ROCHA *et al.*, 2016).

Considerando que o objeto de estudo da Química é a matéria e suas transformações, vale destacar a importância de que as práticas e as metodologias de ensino sejam ativas, permitindo trazer a realidade socioambiental do estudante para o cotidiano escolar, fazendo assim com que ele compreenda os aspectos das transformações que ocorrem a sua volta na ótica do conhecimento formal da Química possibilitando, a partir desta compreensão, o seu posicionamento crítico no exercício da sua cidadania (ROCHA *et al.*, 2016).

No entanto, estudos recentes apontam que no ensino e aprendizado de Química ainda estão arraigadas as práticas tradicionais de ensino, com os estudantes sendo sujeitos passivos e meros receptores do conhecimento que é reproduzido pelos

professores, contribuindo, dessa forma, para a memorização dos conceitos e do seu formalismo representacional – símbolos, fórmulas e equações químicas – com a consequente desmotivação dos estudantes para a aprendizagem dessa ciência (ANDRADE, SANTOS; SANTOS, 2008; MARCONDES, 2008; MELLO E SANTOS, 2012; MALDANER; PIEDADE, 1995 apud ROCHA *et al.*, 2016).

De acordo com Santos *et al.* (2013 apud ROCHA *et al.*, 2016) neste contexto formativo, as práticas tradicionais de ensino contribuem para dar origem às dificuldades de aprendizagem que estão relacionadas com fatores diversos, tais como: (i) Ausência de uma fundamentação, teórica e matemática, sólida. (ii) Nível de abstração dos conteúdos químicos. (iii) Déficit de atenção. (iv) Metodologias de ensino. (v) Falta de significação dos conteúdos pelos estudantes. A partir disso, entende-se que os principais problemas relacionados ao processo de aprendizagem da Química estão relacionados com fatores tanto cognitivos como metodológicos e que se correlacionam. No entanto, estas dificuldades podem ser amenizadas através de ações efetivas dos professores.

Através da ocorrência desses fenômenos, discutiu-se a necessidade de implementar novas formas de metodologias ativas de ensino, como por exemplo, através da contextualização do Ensino de Química, preconizada pelo Ministério da Educação (MEC), no início do século XXI, como destacado na fala do Coordenador Geral do Ensino médio do MEC nesse período:

> Formar indivíduos que se realizem como pessoas, cidadãos e profissionais exige da escola muito mais do que a simples transmissão e acúmulo de informações. Exige experiências concretas e diversificadas, transpostas da vida cotidiana para as situações de aprendizagem. Educar para a vida requer a incorporação de vivências e a incorporação do aprendido em novas vivências (PEREIRA, 2000 apud LOPES, 2002, p. 390).

O Ensino de Química contextualizado e interdisciplinar surgiu no início do século XX a partir das ideias precursoras de John Dewey, Kilpatrick e outros representantes da pedagogia ativa (PAULINO FILHO *et al.*, 2004). Nesta pedagogia ativa, os estudantes são os principais sujeitos do processo de ensino e aprendizagem aplicando o conhecimento químico nas situações do cotidiano (LOPES, 2002).

Desde o início do século XX até os dias atuais, a tabela periódica vem sendo ensinada de maneira tradicional, limitando-se a apresentar as propriedades físico-químicas dos elementos, sem explicar a origem e o significado de tais propriedades. Consequentemente as propriedades periódicas, que é um assunto que se enquadra

nesse eixo temático, também são ensinadas desta maneira tradicional sem uma aplicação prática das mesmas no cotidiano dos estudantes, fazendo assim com que seja um conteúdo abstrato e de difícil compreensão, sendo necessária a base de outros fundamentos teóricos para que essas propriedades possam ser compreendidas, como exemplo, as teorias atômicas, sendo estas um conteúdo do currículo de Química que também têm um elevado nível de abstração, e isso pode contribuir para gerar as dificuldades de aprendizagem referentes às propriedades periódicas (MEDEIROS, 2013 apud SALVADOR *et al.*, 2017).

Neste sentido, pode-se presumir que devido a esses fatores, as práticas tradicionais de ensino de Química contribuem para a uma aprendizagem pouco efetiva dos conteúdos no Ensino Médio que irão impactar na formação destes estudantes ingressantes no Ensino Superior, como pode-se observar nos dados do estudo realizado por Souza *et al.* (2015) com o objetivo de analisar as dificuldades dos discentes ingressantes num curso de licenciatura em Química e cujos dados indicaram que a maioria destes estudantes compreendiam que a formação básica do Ensino Médio não havia sido adequada e que por isso eles tinham uma dificuldade maior na aprendizagem dos conteúdos referentes às disciplinas introdutórias do referido curso, como a Química Geral.

Kirkwood *et al.* (1996, tradução nossa) realizou um estudo, numa universidade na Austrália, que buscava compreender as percepções individuais dos estudantes sobre as dificuldades no primeiro ano do curso de Química e como essas dificuldades poderiam ser minimizadas. De acordo com os dados levantados neste estudo as dificuldades na aprendizagem do conhecimento químico, na percepção dos estudantes investigados, estão relacionadas com: (i) A estrutura curricular do curso – sobrecarga da memória de capacidade de trabalho e a fragmentação dos conteúdos. (ii) A formação dos estudantes – preparação, experiência ou conhecimento prévio – além da motivação para estudar Química.

Ainda de acordo com esta Autora, além da percepção dos estudantes sobre as dificuldades na aprendizagem relatadas por eles, existe também as dificuldades de aprendizagem que podem ser resultantes devido a própria estrutura curricular do curso, como a (i) fragmentação entre os conhecimentos vistos nos componentes curriculares que têm como consequência fazer com que os estudantes não percebam a ligação que há entre as áreas de conhecimento da Química, como a Inorgânica e a Físico-Química. Além disso, a pesquisa dessa Autora também traz como resultado a

questão dos (ii) modelos conceituais em Química serem difíceis, isso pode ser explicado também como o fato de que a interpretação e compreensão dos conceitos nesta Ciência, por serem abstratos, exigem demasiada capacidade dos estudantes representarem mentalmente os modelos conceituais para conseguir dar significados a eles.

Essas dificuldades de aprendizagem também podem ser observadas no artigo de revisão elaborado por Sirhan (2007, tradução nossa) com este Autor destacando cinco áreas principais relacionadas com as dificuldades dos estudantes na aprendizagem da Química no Ensino Superior, descritas a seguir:

I. O CURRÍCULO: os conteúdos curriculares são vistos de maneira lógica e linear, com os referenciais bibliográficos apresentados sempre em uma sequência lógica de conteúdos que se torna a gramática e a sintaxe da Química. No entanto, essa sequência lógica pode não ser acessível psicologicamente aos discentes.
II. A SOBRECARGA DA "MEMÓRIA DE CAPACIDADE DE TRABALHO" que, de acordo com este Autor "é um *link* entre o que deve ser mantido na memória consciente e as atividades de processamento necessárias para manipulá-lo, transformá-lo, e prepará-lo para armazenamento na memória de longo prazo". Neste sentido, quando um novo conteúdo é iniciado e os estudantes se deparam com ele, caso estejam com essa memória de capacidade de trabalho sobrecarregada, eles devem ter dificuldades de selecionar quais são as informações mais importantes desse novo conteúdo, das menos importantes, e isso gera justamente as dificuldades de aprendizagem conceituais.
III. A LINGUAGEM E A COMUNICAÇÃO. Estudos realizados por Cassels e Johnstone (1985 apud SIRHAN, 2007, tradução nossa) indicam que os vocabulários desconhecidos ou técnicos da Química contribuem para os problemas de aprendizagem relativos a linguagem e a comunicação dessa ciência. Por exemplo, o termo volátil foi compreendido pelos estudantes como algo inflamável, explosivo ou até mesmo instável, desconhecendo o seu significado relativo à facilidade de vaporização gerando, assim, uma dificuldade de aprendizagem referente a este conteúdo.
IV. A CONSTRUÇÃO DOS CONCEITOS QUÍMICOS com as dificuldades de aprendizagem decorrentes da linguagem abstrata desta Ciência (ABRAHAM *et al.*, 1992, 1994; NAKHLEH, 1992 apud SIRHAN, 2007, tradução nossa). Segundo estes autores é necessário fazer com que os estudantes

desenvolvam bem a questão dos conceitos fundamentais para que assim possam compreender conceitos mais complexos posteriormente.

V. A MOTIVAÇÃO PARA O ENSINO E APRENDIZADO DA QUÍMICA. Quanto mais engajados e interessados estiverem os estudantes na realização das atividades, maior é a aprendizagem dos mesmos frente aquele conteúdo. Desta forma, os professores devem desenvolver métodos e estratégias alternativas para motivá-los.

Neste sentido, a seguir, são realizadas algumas de nossas considerações sobre as áreas de dificuldades de aprendizagem no Ensino de Química abordadas anteriormente com fundamentação também em outros pesquisadores da área.

Relacionado ao currículo de Química compreende-se que este engloba atualmente a compreensão desta ciência nos seguintes níveis de conhecimento: (1) Macroscópico; (2) Submicroscópico ou atômico-molecular; (3) Simbólico ou representacional. Neste contexto, para a efetivação de um ensino de Química mais significativo para os estudantes se faz necessário a compreensão e a abordagem dos fenômenos químicos nestes três níveis, sem estabelecer qualquer hierarquia entre eles. No caso de existir problema na compreensão do conhecimento químico em qualquer desses níveis isso pode influenciar na compreensão dos demais, dificultando a aprendizagem dos estudantes (JOHNSTONE, 1991 apud SIRHAN, 2007, tradução nossa).

Johnstone (2000, apud SIRHAN, 2007, tradução nossa) destaca, além destes três níveis de compreensão do conhecimento químico a necessidade de que o currículo no Ensino de Química seja estruturado de forma não linear, sugerindo que tanto a ordem quanto o método de apresentação dos conteúdos devam respeitar a psicologia da aprendizagem dos estudantes. Neste sentido, levando-se em consideração a linguagem com conceitos e representações abstratas da Química, os estudantes vão precisar desenvolver estratégias de estudo que possibilitem a sua compreensão nestes três níveis de representação, distinguindo-os e estabelecendo correlações entre eles.

Na perspectiva do curso de formação docente em Química do Campus Agreste da Universidade Federal de Pernambuco, ofertado no período noturno, o pesquisador entende que muitos dos estudantes que fazem parte desta comunidade acadêmica exercem atividades laborais diurnas que limita a memória de capacidade de trabalho

dos mesmos que, ao final do dia, encontram-se tanto física como mentalmente esgotados. Esta condição, além de outros problemas de natureza socioeconômica e familiar, irá contribuir para que o espaço destinado a aprendizagem seja sobrecarregado por outros fatores que contribuem para as dificuldades no Ensino desta Ciência.

No contexto deste estudo as dificuldades de aprendizagem associadas aos termos técnicos à linguagem científica específica da Química tem como exemplo as dificuldades de compreensão dos estudantes sobre a afinidade eletrônica, um parâmetro atômico que exige dos estudantes a compreensão do modelo matemático que o descreve: “A diferença de energia entre o átomo neutro e seu ânion monovalente, no estado gasoso, a temperatura de 0 K” (SHRIVER *et al.*, 2008) além do significado físico do valor desta diferença de energia ser maior ou menor que zero. No primeiro caso o átomo neutro tem energia maior que o seu respectivo ânion e, desta forma, a variação de entalpia do ganho de elétron por um átomo neutro é exotérmico. No entanto, estes vocabulários podem ser desconhecidos ou compreendidos de maneira errônea ou superficial pelos estudantes na sua formação anterior e, desta forma, contribuindo para as dificuldades de aprendizagem deste parâmetro atômico.

Com relação a construção do conhecimento químico é importante ressaltar a necessidade de que os fundamentos conceituais que embasarão a compreensão dos conceitos mais complexos subsequentes estejam construídos adequadamente pelos estudantes. Por exemplo, para compreender as propriedades periódicas é necessário que os estudantes tenham uma base sólida sobre: distribuição eletrônica, carga nuclear efetiva, efeito de blindagem e orbitais de fronteira, e que também são utilizadas para descrever a periodicidade de algumas propriedades atômicas tais como: eletronegatividade, raio atômico, energia de ionização e afinidade eletrônica.

Com relação aos aspectos motivacionais dos estudantes para o ensino e aprendizado da Química os professores devem desenvolver métodos e estratégias didáticas alternativas buscando-se motivá-los para a aprendizagem. De acordo com Entwistle *et al.* (1974 apud SIRHAN, 2007, tradução nossa), existem fatores extrínsecos e intrínsecos relacionados com a motivação dos estudantes para aprender Química. Os fatores extrínsecos estão relacionados à visão de que os estudantes precisam aprender os conteúdos desta Ciência porque serão cobrados nas avaliações para o ingresso no Ensino Superior. Já os fatores intrínsecos se relacionam com o

querer próprio, a curiosidade e gosto pela ciência dos estudantes. Vallerand e Bissonnette (1992 apud SIRHAN, 2007, tradução nossa) também chama a atenção para uma terceira classe de aprendizado, aquele dito amotivacional, em que o estudante faz algumas ações sem perspectiva nenhuma de aprendizado, como por exemplo, assistir uma palestra.

White (1988, apud SIRHAN, 2007, tradução nossa) também se refere aos objetivos, a curto e longo prazos, como fatores que podem contribuir para a motivação dos estudantes pela aprendizagem, pois existe a questão de que alguns estudantes assistem as aulas frequentemente com o objetivo a curto prazo de aprender os conteúdos que serão cobrados em um exame ou avaliação, e serão recompensados mais à frente pela aprovação no vestibular ou na disciplina em questão. Mas também existem aqueles que realmente compreendem o significado de estarem estudando alguns conteúdos ou de estarem presente em um local formativo de ensino, sendo assim responsáveis pelo próprio processo de ensino e aprendizado, como pode-se observar, por exemplo, ao assistir uma palestra de Química Inorgânica sobre teoria do campo cristalino, o estudante pode estar verificando que aquele conhecimento será necessário a longo prazo, como na pós graduação, para lhe ajudar a compreender mais sobre aquela determinada área da ciência.

Adar (apud TRUMPER, 1995 apud SIRHAN, 2007, tradução nossa) propôs a classificação dos estudantes em quatro traços de padrão motivacional para a aprendizagem que são: os realizadores, os curiosos, os sociáveis e os conscienciosos. Hofstein e Kempa (1985 apud SIRHAN, 2007, tradução nossa) seguiram essa linha de raciocínio assinalando que estudantes com diferentes padrões motivacionais também podem ter seus estilos preferidos de aprendizagem fora destes padrões, verificando, por exemplo, que estudantes com padrão motivacional consciente apresentaram uma forte tendência de aprendizagem por métodos tradicionais de ensino (KEMPA; DIAZ, 1990b apud SIRHAN, 2007, tradução nossa). Neste aspecto, o docente pode refletir sobre esses padrões motivacionais dos estudantes em aprender Química no momento em que ele estiver elaborando suas aulas, de modo que as elabore de maneira que esses quatro padrões motivacionais sejam contemplados, para assim atingir os diversificados padrões de motivação dos estudantes em sua sala de aula, portanto contribuindo com a aprendizagem dos estudantes possa ser construída.

Além do que já foi discutido anteriormente deve-se ressaltar a consideração de Sirhan (2007, tradução nossa) sobre a significação dos conceitos pelos estudantes, ou seja, para que um dado conceito seja realmente compreendido é necessário que os estudantes também deem significados a eles, como é destacado na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel (1968). Na perspectiva deste estudo, pode-se relacionar que as dificuldades de aprendizagem do modelo conceitual matemático e termodinâmico, da propriedade atômica afinidade eletrônica estejam relacionadas com a impossibilidade dos estudantes em visualizar, no nível macroscópico, fenômenos da natureza em que esse conceito seja aplicado, ou seja, eles não conseguem dar significados ao mesmo e isso pode ser um obstáculo de aprendizagem.

Também vale ressaltar que as concepções prévias ou concepções alternativas dos estudantes, como está sendo discutido hoje em dia, também pode ser um agravante frente a aprendizagem significativa no ensino de Química. Isso ocorre devido ao fato de que os estudantes não conseguem assimilar os conhecimentos novos aos que já estão organizados em sua mente, levando então a uma interpretação equivocada dos conceitos ao longo do seu processo formativo (KIRKWOOD *et al.*, 1996, tradução nossa; SIRHAN, 2007, tradução nossa).

Pode-se considerar que as divergências e os equívocos conceituais se dão quando a interpretação dos estudantes sobre determinado conceito é diferente da sua explicação científica, como sendo um dos fatores que contribuem para as concepções alternativas ou concepções prévias construídas pelos mesmos. Mas, algumas pesquisas sinalizam que estes equívocos conceituais dos estudantes também são decorrentes das práticas de ensino nas quais os professores desconhecem as concepções prévias de seus estudantes (DRIVER; EASLEY, 1978; MCDERMOTT, 1984 apud SIRHAN, 2007, tradução nossa). De acordo com Duschl e Osborne (2002 apud SIRHAN, 2007, tradução nossa) o desconhecimento das concepções alternativas dos estudantes pelos professores implicaria num problema de aprendizagem em que o conhecimento químico deve ser reestruturado, adaptado ou até mesmo descartado. Se os professores não conhecem as concepções prévias dos estudantes, não será possível fazer o processo de mediação no ensino-aprendizado do conhecimento desta Ciência.

Sendo assim, pode-se pensar que sempre existirão conceitos errôneos no ensino-aprendizado da Química e demais ciências, pois os estudantes chegam num

determinado nível de ensino com suas concepções prévias e neste contexto formativo, quando a interpretação de um dado conceito é diferente da sua explicação científica, gera-se uma das dificuldades de aprendizagem em Química. Portanto pode-se considerar que a construção dos conceitos químicos envolve a remediação ou alteração das ideias que já existem na mente dos estudantes. Nesta perspectiva, se os conceitos forem abordados e aprofundados partindo-se da concepção previa dos estudantes, existindo ainda o cuidado com a linguagem empregada, os mesmos poderão desenvolver uma aprendizagem mais eficaz (SIRHAN, 2007, tradução nossa).

Ainda neste sentido, de acordo com Resnick (1987 apud SIRHAN, 2007, tradução nossa) é necessário que os problemas propostos aos estudantes no processo de ensino-aprendizagem sejam desafiadores, instigantes e que, dentro do possível, estejam relacionados ao contexto social e geográfico no qual estão inseridos, possibilitando aos mesmos compreender a importância do conhecimento químico no seu cotidiano.

De acordo com o que foi discutido neste tópico, pode-se constatar que existe uma variedade de fatores que podem interferir na eficácia da aprendizagem dos estudantes no ensino de Química, tais como: a formação de conceitos, a linguagem e comunicação, o currículo, a motivação e a sobrecarga da memória de capacidade de trabalho, a questão da fundamentação teórica escassa na educação básica em conceitos desta área de conhecimento e de outras tais como linguagem e matemática contribuindo diretamente para uma compreensão errônea de conceitos químicos, tanto no Ensino Médio como no Ensino Superior, além da abstração dos próprios conceitos desta Ciência, com representações e simbologias específicas, além do formalismo matemático utilizado na descrição destes conceitos. Portanto, no tópico seguinte serão discutidos os modelos conceituais, suas representações matemáticas e implicações no processo de ensino-aprendizagem da Química.

3.2 Modelos e representações matemáticas e suas implicações no processo de ensino e aprendizagem de Química.

Desde o início do século XXI, o ensino de Química preocupa-se em traduzir o que se observa através da realidade dos sujeitos – no seu mundo físico exterior – para os sistemas submicroscópicos e após, a compreensão dos fenômenos, traduzi-los no

nível simbólico, através de modelos teóricos ou matemáticos. Logo compreende-se que a natureza do conhecimento químico se dá através do processo em que os modelos teóricos elaborados têm uma aplicação prática na interpretação da realidade, ou seja, são construídos para facilitar a compreensão da realidade a partir de uma explicação científica ou suporte teórico científico, e muitas vezes esse modelo teórico pode ser compreendido como sendo a representação do real, ou seja, a própria realidade (DE LA TORRE, 1992; ADÚRIZ-BRAVO; GALAGOVSKY, 1997 apud WARTHA *et al.*, 2011).

Através do que é discutido na literatura, as ciências hermenêuticas e sociais deram suas primeiras contribuições para a definição do termo representação mental, entendido como tudo aquilo que é a imagem ou dá a ideia de alguma entidade ou espécie que não é encontrada na consciência do indivíduo que a reproduz. Já as ciências cognitivas compreendem uma representação mental como construções de hipóteses que os discentes utilizam para investigar, compreender, analisar, interpretar e modelar algum tipo de fenômeno que foi observado ou pensado (WARTHA *et al.*, 2011).

Portanto é necessário que seja apresentado aos estudantes quais são os verdadeiros significados dos termos modelos e representações, possibilitando-lhes uma compreensão dos níveis de construção do conhecimento Químico e evitando-se, desta forma, interpretações equivocadas para esses termos. Desta forma as chances de construção do conhecimento químico de maneira significativa e eficaz serão maiores. Uma definição, com um significado bastante simples e de fácil interpretação, que pode ser apresentada aos estudantes, tanto de Ensino Médio como do Ensino Superior, apresenta o "modelo" como sendo uma "representação parcial de uma entidade, elaborado com um, ou mais, objetivo(s) específico(s) e que pode ser modificado" (GILBERT *et al.*, 2000 apud JUSTI, 2010, p. 211).

Portanto essa definição pode ser apresentada e interpretada junto com os estudantes, na perspectiva de que eles reflitam sobre o fato de que os modelos não são representações da realidade propriamente dita. Esta definição ainda aborda a questão de que os modelos são elaborados pelas reflexões das mentes humanas, geralmente dos cientistas, com objetivos que são definidos por eles, propósito de explicar, investigar ou interpretar algum tipo de fenômeno.

No contexto educacional existem os modelos didáticos que são utilizados com objetivos de facilitar a compreensão dos estudantes sobre algum conteúdo específico,

geralmente de natureza abstrata e que, por isso os docentes utilizam-se de estratégias metodológicas para traduzir ou dar a ideia do que seria aquele fenômeno abstrato possibilitando aos estudantes uma compreensão melhor do conteúdo.

Esta definição também favorece a discussão sobre o fato de que o conhecimento científico não é posto como uma verdade absoluta ao afirmar que os modelos podem ser modificados, justamente porque são produtos do conhecimento científico, e naturalmente no cotidiano da ciência, existem estudos sobre fenômenos que dão contribuições e/ou alteram os postulados, as teorias, e os modelos que já existiam sobre eles, sendo necessário a elaboração de novos modelos que traduzam, sem refutações, as novas observações dos fenômenos.

Mas, através da análise das definições e da representação mental dos modelos é necessário que sejam abordados os níveis de representação do conhecimento químico no processo de ensino-aprendizagem. De acordo com Wartha *et al.* (2011) os níveis de representação da ciência Química são discutidos há quase 30 anos, mas o único modelo que usa esta abordagem foi proposto por Johnstone no artigo *Macro-and micro-chemistry*, publicado em 1982 no periódico *School Science Review*, descrevendo os três níveis de representação que são necessários para que o conhecimento químico seja realmente compreendido.

Johnstone (2000, apud WARTHA *et al.*, 2011) considera que o conhecimento Químico se dá através de três níveis de compreensão: macroscópico, submicroscópico e simbólico. O nível macroscópico está relacionado com a observação, descrição e compreensão dos fenômenos químicos que ocorrem no seu cotidiano, ou seja, na sua realidade, como por exemplo, a evaporação de um líquido. Já o nível submicroscópico está relacionado com a compreensão desses fenômenos no nível atômico-molecular, ou seja, quais são as condições para que aquele fenômeno ocorra, por exemplo, se há quebra ou não de ligações para que o líquido se transforme em um gás. E por fim, o nível simbólico onde os dois níveis anteriores, principalmente o submicroscópico, são traduzidos em equações e fórmulas químicas ou representações matemáticas.

Esse modelo sugerido por Johnstone é bastante amplo, pois trata dos aspectos referentes à compreensão dos fenômenos na Química através de níveis de representação. Logo, se o estudante consegue interpretar um fenômeno a nível submicroscópico (atômico-molecular), ele pode também ser capaz de representar esse fenômeno através da linguagem científica da Química, por meio de fórmulas e

equações químicas que descrevem as reações, propiciando ao estudante fazer um *link* entre estes três níveis de compreensão do conhecimento químico com capacidade para observar uma transformação, compreender porque a mesma ocorre e representá-la através da linguagem científica da ciência Química.

Sendo a linguagem da Química abstrata e representada por termos técnicos, isso pode contribuir para que os estudantes não consigam compreender o nível submicroscópico, e consequentemente também não representem as informações a nível simbólico. Essa discussão é pertinente no contexto deste estudo buscando-se compreender se as dificuldades de aprendizagem do modelo conceitual matemático e termodinâmico da afinidade eletrônica estão relacionadas com esses níveis de compreensão do conhecimento químico. Acredita-se que a maior dificuldade está relacionada com o nível simbólico, da representação do modelo conceitual em um modelo matemático.

De acordo com Biembengut e Hein (2003, p. 12 apud MOREIRA, 2014, p. 10) o "modelo matemático é um conjunto de símbolos e representações matemáticas que procura traduzir, de alguma forma, um fenômeno em questão ou problema de situação real". Considerando esse aspecto, compreende-se que há uma implicação direta no processo de ensino-aprendizagem da Química, pois existe uma representação de um conceito químico para um modelo matemático, e essa representação ocorre a nível simbólico. É nesse processo de traduzir o conceito num modelo matemático que ocorrem os equívocos, e os discentes são levados a prática de memorização e reprodução mecânica tanto do conceito quanto do modelo matemático, pois um depende do outro, e os modelos matemáticos deveriam dar suporte ao modelo conceitual, ou seja, reforçar a ideia do que é dito conceitualmente.

Por exemplo, na educação básica pode ser relatado o conceito de equilíbrio químico dinâmico, que como o próprio nome sugere, diz que a quantidade de reagentes e produtos em uma determinada reação química é mantida constante, pois ao longo da reação os reagentes formam os produtos e vice-versa (ÖZMEN, 2007 apud BARBOSA, 2009). Neste sentido, provavelmente chegará um momento em que o professor irá apresentar aos estudantes o conceito de constante de equilíbrio, para determinar em que instante da reação o equilíbrio químico é atingido, logo considerando a seguinte reação genérica:

$$aA + bB \longleftrightarrow cC + dD$$

a expressão da constante de equilíbrio a ser apresentada para os estudantes é a seguinte:

$$Keq = \frac{[C]^c \cdot [D]^d}{[A]^a \cdot [B]^b},$$

em que Keq é a constante de equilíbrio, $[C]^c$ e $[D]^d$ são as concentrações dos produtos elevados aos seus devidos coeficientes estequiométricos e $[A]^a$ e $[B]^b$ são as concentrações dos reagentes elevados também aos seus respectivos coeficientes estequiométricos.

Através desse exemplo, percebe-se que um conceito químico está sendo apresentado aos estudantes por meio de um modelo matemático e de acordo com Barbosa (2009, p. 77) é neste caso que “o modelo matemático não está servindo ao propósito de subsidiar uma certa conclusão, mas ele mesmo é o conceito a ser exposto aos alunos, o qual é enunciado em termos matemáticos”, ou seja, este conceito é definido de maneira quantitativa, não têm como avaliar em que instante irá ocorrer o equilíbrio químico por meio de uma análise qualitativa, e desta forma o conceito em si já é o próprio enunciado de uma expressão matemática, e a menos que os estudantes saibam representar, traduzir a linguagem científica do conceito nesta expressão matemática, ele não está servindo ao propósito de chegar-se a uma certa conclusão sobre a reação química.

É assim que ocorrem as implicações no processo de ensino e aprendizagem de Química, em que os conceitos que são abordados nos livros didáticos são modelos matemáticos a serem expostos aos discentes, que podem não ter a fundamentação teórica básica em matemática além de habilidades e competências para representar uma expressão matemática a partir de um conceito e logo não irão conseguir também elaborar os referidos cálculos. Também é comum que ocorram dificuldades de aprendizagem dos estudantes relacionadas à tradução ou interpretação do conceito de maneira descritiva em termos de uma expressão matemática.

Muitas vezes os professores de Química priorizam a compreensão dos conceitos químicos através das representações ou dos modelos matemáticos em detrimento da explicação qualitativa do modelo (MALCOLM, 2007, p. 115 apud BARBOSA, 2009, p. 78). Entende-se a discussão qualitativa dos conceitos químicos como sendo aquela que a explicação para os estudantes sobre como ocorre determinado fenômeno se dá por meio da sua interpretação através dos elementos descritivos, por exemplo, para compreender as propriedades periódicas, tais como a

afinidade eletrônica atômica, a variação dos seus valores na tabela periódica pode ser compreendida de maneira qualitativa por meio dos fatores que definem essa variação que no caso desta propriedade atômica são a carga nuclear efetiva e as energias dos orbitais de fronteira, em detrimento da explicação por meio do modelo matemático desta propriedade. Dessa maneira, pode ser que os estudantes sejam capazes de compreender melhor o conceito ao qual o fenômeno está relacionado, pois há uma maior exposição dos fatores que explicam a ocorrência do fenômeno favorecendo a sua compreensão baseada numa explicação de natureza qualitativa.

No tópico seguinte será apresentado o modelo conceitual matemático e termodinâmico da propriedade atômica afinidade eletrônica que pode ser compreendido de maneira qualitativa, através dos parâmetros que definem a sua variação periódica na tabela periódica, e quantitativamente através da sua interpretação conceitual matemática.

3.3 Modelo conceitual matemático e termodinâmico da afinidade eletrônica atômica.

A afinidade eletrônica é uma propriedade atômica que embasa a compreensão dos estudantes sobre a natureza e o processo de formação e da estabilidade das ligações químicas, e, portanto, o entendimento sobre a reatividade das substâncias químicas. Sendo assim, é de fundamental importância compreender como esse parâmetro atômico é abordado nos referenciais bibliográficos comumente adotados no Ensino Superior da Química Inorgânica. A propriedade atômica da afinidade eletrônica a partir deste tópico, é identificada pelas suas iniciais, a sigla AE.

O Quadro 1, a seguir, apresenta as definições conceituais da propriedade atômica afinidade eletrônica (AE), bem como os fatores da variação periódica dos seus valores, propostas pelos referenciais bibliográficos da Química Inorgânica que embasaram o processo de ensino e aprendizagem do componente curricular foco de investigação neste estudo:

Quadro 1: Definições e fatores da variação periódica de vários autores para afinidade eletrônica (AE).

Afinidade Eletrônica ($kJ.mol^{-1}$)		
Referencial Bibliográfico	Modelo conceitual	Fatores determinantes dos valores e periodicidade
D. Lee (1999, p.79)	"Energia liberada quando um elétron é adicionado a um átomo gasoso neutro".	– O tamanho do átomo; – Carga nuclear efetiva.
Shriver & Atkins (2006, p.51, 52)	"Diferença de energia entre os átomos gasosos (A, g) e os íons gasosos (A^-, g) a T = 0 K".	– Orbitais de fronteira; – Carga nuclear efetiva.
Housecroft e Sharpe (2012, p. 26,25)	"A primeira afinidade eletrônica é menos a variação de energia interna, a 0 K, para o ganho de um elétron por um átomo em fase gasosa".	– Repulsão eletrônica; – Atração nuclear.

Fonte: SILVA (2018, p. 31-32).

Através das informações apresentadas no Quadro 1, percebe-se que um dos modelos conceituais desta propriedade atômica a define como sendo a energia liberada quando um átomo gasoso em seu estado fundamental ganha um elétron e forma seu respectivo ânion gasoso (LEE, 1999). Este mesmo autor apresenta os valores da afinidade eletrônica com sinal negativo por tratar-se de processo exotérmico. No entanto, este mesmo Autor afirma, neste contexto discursivo que os valores deste parâmetro atômico energético podem ter sinal positivo. Por sua vez outros autores apresentam os mesmos valores da afinidade eletrônica indicados com valores negativos por Lee (1999) expressos em valores com sinal positivo.

Para que seja analisada a periodicidade dos valores da afinidade eletrônica dos elementos químicos é necessário o conhecimento dos fatores que determinam os valores desta propriedade termodinâmica e que segundo este referencial bibliográfico são: o raio atômico e a carga nuclear efetiva. A partir disto pode-se compreender a variação periódica destes valores. Deve-se ressaltar que a carga nuclear efetiva por si só já é suficiente para explicar a periodicidade da afinidade eletrônica pois também é definidora do raio atômico dos elementos químicos.

A referência de J. D. Lee (1999) discute ainda a possibilidade de que o valor da afinidade eletrônica atômica possa ser determinado através do ciclo de Born Haber. Este ciclo energético, desenvolvido por Born e Haber em 1902 teve como objetivo determinar a energia reticular cristalina de um retículo cristalino, e utiliza-se dos dados termodinâmicos de processos tais como: entalpia de sublimação, energia de ionização, energia de dissociação de ligação, afinidade eletrônica, e a entalpia de formação (ou reticulação) do sólido iônico. Portanto a partir de valores conhecidos destes dados termodinâmicos pode-se calcular o valor da afinidade eletrônica neste processo de reticulação. Portanto, considerando a amplitude desta maneira alternativa de compreender o modelo ou representação matemática da afinidade eletrônica, envolvendo outras definições básicas, isso pode tornar o modelo conceitual dessa propriedade periódica mais abstrato e de difícil compreensão, pois aqui ele deve ter diversas relações com outras definições, e com isso os discentes podem não ter capacidade de relacionar todos esses fatores.

Já o segundo autor referenciado no Quadro 1, define afinidade eletrônica atômica como sendo a diferença de energia entre um átomo gasoso e seu respectivo ânion gasoso, formado pelo ganho de elétron a temperatura de 0 K (SHRIVER *et al.*, 2008). Logo, pode-se compreender esse conceito através de uma expressão matemática que relaciona as energias de dois sistemas atômicos, o átomo neutro gasoso e o ânion gasoso (Equação 1):

$$AE = E(A, g) - E(A^{-}, g) \qquad \text{Equação 1}$$

Nesta equação AE é a afinidade eletrônica, E é a energia do átomo (A) e do ânion A^- no estado de agregação gasoso (g).

Portanto percebe-se claramente aqui que o próprio modelo conceitual é traduzido como um modelo matemático, como trata Barbosa (2009, p. 77), e nesse aspecto é que há os problemas de interpretação e divergências conceituais, pois os discentes não compreendem o conceito químico como deveria, já que ele está sendo apresentado de maneira quantitativa, através de uma representação matemática.

Entretanto para compreender se o processo do ganho de elétron é favorável ou não é necessário que, de acordo com essa referência bibliográfica, compreenda-se bem essa questão da representação matemática, pois uma afinidade eletrônica

negativa, ou seja, com valor menor que zero, significa dizer que o processo de formação do íon não é favorecido termodinamicamente, pois o produto, que é o íon, tem uma energia maior que o átomo que lhe deu origem, e na linguagem científica da química, compreende-se que geralmente todos os sistemas procuram ser estabilizados em seu estado fundamental ou de menor energia, como pode-se concluir a partir da expressão matemática (Equação 1) que pode ser traduzida com o auxílio de uma inequação, apresentada a seguir:

$$E(A,g) - E(A^-,g) < 0$$
$$E(A,g) < E(A^-,g)$$

Essa inequação traduz justamente o que foi descrito acima, se a afinidade eletrônica for negativa, o átomo gasoso é mais estável termodinamicamente do que seu íon gasoso (tem energia menor que o ânion gasoso) o que leva a entender que o processo de redução do átomo em condições padrão é desfavorecido, a menos que seja utilizada uma forma não-espontânea de formar o íon em questão.

Além desta perspectiva quantitativa, esse conceito pode ser abordado de maneira qualitativa, ou seja, com a descrição dos parâmetros que fazem com que ocorra a variação desta propriedade periódica. De acordo com esta referência bibliográfica, os valores da afinidade eletrônica e sua periodicidade podem ser explicados através da análise da carga nuclear efetiva e do preenchimento do orbital de fronteira do átomo em questão. Em relação a carga nuclear efetiva pode-se compreender que quanto maior o seu valor, maior será a atração do núcleo do átomo pelo elétron adicional (elétron que será ganho no processo de redução) e nesse caso presume-se que os átomos que possuam cargas nucleares efetivas elevadas tenham também valores positivos elevados de afinidade eletrônica, pois o processo de formação do íon é favorecido termodinamicamente, já que a atração entre o núcleo do átomo e do elétron adicional supera as repulsões existentes entre o elétron adicional e os elétrons de valência, caso o elétron adicional entre em um orbital que já esteja semipreenchido (SHRIVER *et al.*, 2008).

Além disso, outro parâmetro que também é abordado por este referencial bibliográfico é a natureza dos orbitais de fronteira – orbitais onde ocorrem as mudanças nas distribuições eletrônicas em termos de formação ou quebra de uma

ligação, ou apenas de processos de oxidação e redução atômicos (SHRIVER *et al.*, 2008). Logo a análise descritiva deste parâmetro permite concluir que se o elétron adicional entrar em um orbital semipreenchido de menor energia, onde ele irá experimentar uma forte repulsão eletrônica quando comparado ao elétron que irá ocupar um orbital desocupado de menor energia (LUMO). No primeiro caso o ganho do elétron não é favorecido termodinamicamente e com isso a afinidade eletrônica será menor que zero, sendo o átomo gasoso mais estável termodinamicamente.

Nesta perspectiva, os discentes só irão compreender termodinamicamente esse conceito através dessa análise da influência destes parâmetros (carga nuclear efetiva em conjunto com as energias dos orbitais de fronteira), para se ter noção de que o processo de formação do íon é favorecido ou não. Esta análise pode ser feita comparando os valores das primeiras e segundas afinidades eletrônicas dos elementos químicos nitrogênio e oxigênio nos Grupos 15 e 16 da tabela periódica.

Logo através dessa análise descritiva, os discentes poderiam primeiramente analisar qual dos dois átomos possuem um maior valor de carga nuclear efetiva, e chegariam à conclusão de que é o oxigênio, mas em contrapartida através da distribuição eletrônica poderiam observar que o elétron adicional do nitrogênio irá experimentar uma forte repulsão pois o orbital de fronteira já se encontra semipreenchido, com três elétrons desemparelhados, o que caracteriza uma configuração estável. Esta quebra de estabilidade e o orbital de fronteira semipreenchido irá explicar o valor baixo e negativo da afinidade eletrônica deste elemento, igual e -5 kJ/mol (SHRIVER *et al.*, 2008, p. 51). No caso do Oxigênio com orbitais de fronteira com dois elétrons desemparelhados e com uma maior carga nuclear efetiva tem-se que o valor da afinidade eletrônica é mais elevado e positivo, igual a 141 kJ/mol (SHRIVER *et al.*, 2008, p. 51).

De acordo com a discussão anterior, observa-se que há uma certa divergência entre as definições conceituais propostas por estes dois referenciais bibliográficos, pois em J. D. Lee (1999) a AE é vista como uma energia liberada no processo, ou seja, é compreendido que sempre será um processo exotérmico, enquanto que no conceito de Shriver *et al.* (2008) existe a possibilidade deste processo ser exotérmico ou endotérmico. Através de valores encontrados na literatura, é visto, por exemplo, que a afinidade eletrônica de um mesmo elemento indica valores positivos ou negativos, o que pode fazer com que os discentes fiquem confusos e não

compreendam bem essa propriedade justamente devido a essas divergências existentes entre as definições conceituais.

Já em relação ao outro referencial bibliográfico adotado no processo de ensino e aprendizagem deste componente curricular, a primeira afinidade eletrônica é descrita conceitualmente como o inverso da variação da energia interna de um átomo gasoso quando este ganha um elétron e forma o seu respectivo íon à temperatura de 0 K (HOUSECROFT *et al.*, 2012, tradução nossa), conforme descrito na Equação 2:

$$AE = -\Delta U(0\ K) \qquad \text{Equação 2}$$

Portanto, verifica-se que mais uma vez há uma representação matemática a ser compreendida, pois essa autora refere-se ao valor negativo da energia interna do processo a uma temperatura de 0 K onde AE é a afinidade eletrônica e ΔU representa a variação da energia interna do sistema a uma temperatura de 0 K. Ainda segundo este referencial bibliográfico, a AE está associada com a entalpia de ganho de elétron ($\Delta_{EA}H$) que, a 298 K, é numericamente igual ao valor negativo da variação de energia interna a 0 K, conforme equação 3:

$$\Delta_{AE}H(298\ K) \approx \Delta_{AE}U(0\ K) = -AE \qquad \text{Equação 3}$$

Este referencial relaciona os seguintes parâmetros como sendo definidores dos valores e da periodicidade da afinidade eletrônica: (i) as forças eletrostáticas presentes no processo, que são a repulsão entre os elétrons da camada de valência e o elétron adicional; (ii) a atração entre o núcleo e o elétron adicional. Desta forma quando se adiciona um elétron a um ânion, por exemplo, as interações de repulsão elétron-elétron são dominantes e por isso a segunda afinidade eletrônica é geralmente positiva, sendo necessário portanto que o sistema ganhe energia para superar essas repulsões existentes entre o elétron adicional e os elétrons de valência do ânion, classificando-se assim como um processo endotérmico (HOUSECROFT *et al.*, 2012, tradução nossa).

Então mais uma vez o discente será desafiado a traduzir o modelo conceitual da afinidade eletrônica através de representação matemática, divergente das outras duas mencionadas anteriormente. Se analisadas em conjunto isto possivelmente irá

dificultar a compreensão destes conceitos pelos estudantes pois são três referenciais diferentes, que abordam a mesma propriedade atômica com suas especificidades interpretativas associadas aos modelos matemáticos, tornando ainda mais complexo o processo de ensino-aprendizagem dessa propriedade periódica quando analisada do ponto de vista destes referenciais em conjunto. Sendo assim, acredita-se que as dificuldades de aprendizagem do modelo conceitual desta propriedade atômica podem estar relacionadas com essas divergências encontradas nos referenciais teóricos adotados. Além disso todos os modelos conceituais se refletem em representações matemáticas, cuja compreensão é essencial para a interpretação do modelo termodinâmico. Desta forma, além do modelo matemático deve-se utilizar os parâmetros atômicos, tais como: carga nuclear efetiva e as energias dos orbitais de fronteira, dando-se um aspecto mais qualitativo na exposição desse conceito, tornando mais fácil a sua interpretação matemática e compreensão.

A partir da discussão anterior, fundamentada nos dados apresentados no Quadro 1, é possível constatar que há divergências entre os modelos conceituais de AE apresentados nestes referenciais bibliográficos, podendo estas divergências estarem associadas com as dificuldades de aprendizagem vivenciadas pelos discentes durante o processo de ensino e aprendizagem. Já em relação a análise qualitativa deste modelo conceitual feitas por estes autores, fundamentada nos fatores que determinam os valores e sua periodicidade, verifica-se que há uma certa consonância entre eles, enfatizando o raio atômico direta ou indiretamente, através da carga nuclear efetiva. Shriver *et al.* (2008) cita a importância das energias dos orbitais de fronteira enquanto que Housecroft *et al.* (2012, tradução nossa) indiretamente trata desta questão quando se refere a atração nuclear e repulsão eletrônica.

Além dos modelos conceituais abordados acima, é válido destacar também os modelos conceituais de outras fontes. Neste sentido uma fonte geralmente muito consultada pelos Químicos é o *Gold Book IUPAC*, um compêndio no qual há diversas definições de conceitos utilizados nesta Ciência. De acordo com este referencial a afinidade eletrônica é a energia requerida para retirar individualmente um elétron de um íon com carga negativa (energia do processo $X^- \longrightarrow X + e$) além de se referir a uma definição equivalente e mais comum em que a AE é a energia desprendida $\left(E_{initial} - E_{final}\right)$ quando um elétron adicional é anexado a um átomo neutro ou molécula"

(IUPAC, 2019, tradução nossa). Portanto trata-se de um processo associado com o ganho de um elétron por um átomo neutro ou um íon, que pode ocorrer com absorção ou liberação de energia, coerente com as definições de Shriver *et al.* (2008) e Housecroft *et al.* (2012), com exceção daquela abordada em J. D. Lee (1999).

De acordo com Amaral (2015, p. 12) “a afinidade eletrônica é uma importante propriedade de átomos e moléculas, sendo definida como a diferença de energia entre a espécie neutra e seu respectivo íon negativo”. Mais uma vez podemos encontrar a AE sendo definida em termos de uma diferença de energia, possibilitando assim a análise do modelo matemático e termodinâmico para este conceito e a existência de valores positivos e negativos.

Neste sentido, é válido destacar a importância que a compreensão aprofundada deste parâmetro atômico traz para os discentes em um curso de formação docente em Química, pois através delas pode-se fazer observações e previsões do comportamento químico de transformações, sem recorrer aos dados de tabelas de cada elemento Químico, facilitando assim o trabalho do licenciado em Química em ensinar esse conceito para seus estudantes e fazendo com que eles aprendam como as propriedades periódicas variam seus valores e suas periodicidades ao longo da tabela periódica (SHRIVER *et al.*, 2008). Além disso, de acordo com Amaral (2015, p. 12) “pesquisas também enfatizam o papel da AE no entendimento de mecanismo de reação (MILLER *et al.*, 2012 apud AMARAL, 2015), e estabilidade e papel biológico de compostos químicos (ZHANG *et al.*, 2013 apud AMARAL, 2015)”.

4 METODOLOGIA

A seguir estão apresentados quais foram os métodos adotados para a realização deste trabalho, sendo descrito qual é a natureza desta pesquisa, que área ela permeia, como foi feita a seleção dos sujeitos de pesquisa, quais os instrumentos utilizados para coletar os dados e por fim, como foram discutidos e analisados os dados coletados.

4.1 Classificação da pesquisa

A pesquisa foi feita com o intuito de investigar as dificuldades de aprendizagem, dos estudantes de um curso de formação docente em Química de uma Universidade Pública no Agreste pernambucano, sobre o parâmetro atômico afinidade eletrônica, para assim contribuir para uma reflexão sobre práticas docentes direcionadas no sentido de superar essas dificuldades de aprendizagem.

Quanto aos seus objetivos, essa pesquisa caracterizou-se como exploratória, já que segundo Prodanov e Freitas (2013), nessa tipologia de pesquisa há poucas informações sobre o tema objeto de investigação, neste sentido, percebe-se que ao se fazer um levantamento bibliográfico sobre as dificuldades de compreensão no ensino-aprendizado de afinidade eletrônica no Ensino Superior, existem poucos referenciais sobre esta temática.

Com relação ao procedimento que foi utilizado, classifica-se como uma pesquisa documental, pois foram analisadas as interpretações dos discentes investigados sobre a afinidade eletrônica nos registros institucionais fornecidos pelo docente. Assim a pesquisa documental foi realizada em diferentes fontes de informação descritas a seguir: (i) Registros elaborados pelos estudantes no grupo de discussão da disciplina de Química Inorgânica I, na rede social *Facebook*. (ii) Portfólios avaliativos construídos pelos discentes ao longo do processo formativo. De acordo com Prodanov e Freitas (2013) justifica-se uma pesquisa como sendo documental pelo fato de que esses materiais ainda não receberam nenhum tratamento de análise de dados, e por exemplo, após ser realizada e atingido o objetivo deste trabalho, podem ser repensadas as suas formas de utilização, e com isso contribuir para a reflexão do processo de ensino-aprendizagem do tema em questão.

E por fim, quanto a análise do problema, a pesquisa foi qualitativa, pois pretende-se analisar a relação entre as interpretações dos sujeitos e o conteúdo propriamente dito, ou seja, buscou-se compreender a relação entre o modo de pensar do sujeito, e o modelo conceitual matemático e termodinâmico da afinidade eletrônica, que é o foco de investigação deste trabalho, sendo feito assim um levantamento de elementos presentes em seus registros, e com auxílio de referenciais teóricos, realizou-se inferências sobre os mesmos e foram selecionados o conteúdo das unidades textuais (palavras ou frases) destes registros e atribuiu-se significados aos mesmos.

4.2 Sujeitos e campo de pesquisa

O universo da pesquisa foi constituído pelos discentes regularmente matriculados no quarto período de um curso de formação docente em Química de uma Universidade Pública do Agreste de Pernambuco.

Os sujeitos de pesquisa serão os discentes do referido curso, regularmente matriculados no componente curricular “Química Inorgânica I” durante o semestre 2018-1, selecionados de acordo com os seguintes critérios de inclusão: (i) Ter frequentado regularmente a sala de aula. (ii) Ter realizado as atividades avaliativas do componente curricular (registros escritos no grupo de discussão da disciplina e portfólio). São critérios de exclusão: (i) Não ter frequentado regularmente a sala de aula. (ii) Não ter realizado as atividades avaliativas do componente curricular (portfólio) no referido semestre.

No semestre 2018.1 estavam matriculados neste componente curricular um total de 15 (quinze) discentes dos quais 9 (nove) foram selecionados como sujeitos da pesquisa, por atenderem aos critérios de inclusão postos anteriormente, sendo esta amostra representativa de aproximadamente sessenta por cento (60%) do universo pesquisado. Esta representatividade é significativa para investigar as dificuldades de aprendizagem, destes estudantes do parâmetro atômico afinidade eletrônica, podendo contribuir para uma reflexão sobre práticas docentes direcionadas no sentido de superar as dificuldades de aprendizagem identificadas no contexto deste processo formativo. Vale ressaltar que neste estudo foi preservada a identidade da Instituição e dos sujeitos da pesquisa seguindo os princípios éticos na produção de conhecimentos.

4.3 Instrumentos de coleta de dados

Foi realizada uma pesquisa documental, cujos instrumentos de coleta de dados foram os registros elaborados pelos discentes nos instrumentos de avaliação utilizados pelo docente responsável pelo componente curricular neste semestre letivo, sendo eles: (i) Registros elaborados pelos discentes no grupo de discussão do referido componente curricular, antes e após o feedback. (ii) Portfólio avaliativo antes e após o feedback. Vale ressaltar que ambos os instrumentos tiveram caráter avaliativo das elaborações subjetivas dos discentes e foram aplicados, de forma sequenciada, para tópicos específicos do processo de ensino e aprendizagem numa perspectiva formativa.

As discussões feitas pelos discentes na rede social *Facebook* encontram-se arquivadas no grupo da disciplina nesta rede social e os portfólios elaborados pelos sujeitos da pesquisa encontram-se disponíveis como documentos arquivados na Universidade no formato de documento digital. A partir destes registros buscou-se entender o nível e as dificuldades de aprendizagem destes discentes sobre este parâmetro atômico e possíveis causas, a partir das respostas dos mesmos frente as questões discursivas postas para resolução.

Neste componente curricular utilizou-se o Portfólio como instrumento avaliativo que foi construído pelos discentes ao longo do processo formativo. Sabe-se que esse instrumento de avaliação oferece condições para que o discente seja um sujeito ativo neste processo e crítico quanto a seleção das informações que irão estar contidas neste documento, já que no Ensino Superior discute-se muito a questão da veracidade das informações e suas referências.

Nesse aspecto o portfólio foi selecionado com a finalidade de analisar tanto a discussão do conteúdo feita pelos discentes, como principalmente para investigar o comprometimento desses quanto ao seu processo de aprendizagem, observou-se assim as referências utilizadas ao longo da discussão e se esses traçaram estratégias de estudo para superar as suas dificuldades de aprendizagem, já que no modelo do portfólio adotado no componente curricular existe um tópico em que o discente reflete sobre sua aprendizagem e faz sua autoavaliação.

4.4 Análise dos resultados

A análise dos dados da pesquisa foi feita a partir das elaborações dos discentes registradas nos dois tipos de instrumentos avaliativos discutidos anteriormente. Desta forma foi caracterizado como análise de conteúdo devido ao fato de que buscou-se investigar quais as dificuldades de aprendizagem do modelo conceitual matemático e termodinâmico da afinidade eletrônica através das unidades de texto (palavras ou frases) dos discentes nos documentos descritos anteriormente.

Segundo Caregnato e Mutti (2006) neste tipo de análise trabalha-se com o conteúdo textual na perspectiva de uma pesquisa tanto qualitativa como quantitativa. Além disso permite também que o pesquisador possa interpretar o conteúdo textual do sujeito além de dar-lhe significados a partir das suas interpretações, categorizando palavras ou frases que sejam identificadas como elementos da ocorrência de um fenômeno que facilitem futuramente a análise da pesquisa.

De acordo com Campos (2004) a análise de conteúdo compreende algumas etapas que são necessárias para sistematizar os dados e resultados das pesquisas, sendo elas: (i) Pré-exploração do material ou de leituras flutuantes do corpus da pesquisa. (ii) Seleção de unidades de análises (unidades de significados). (iii) Processo de categorização ou subcategorização. (iv) Inferências e interpretações dos resultados.

O corpus deste trabalho são as elaborações dos discentes nos documentos consultados constituídos pelos registros avaliativos do componente curricular Química Inorgânica I (discussão na rede social *Facebook* e portfólios formativos).

A análise dos dados foi realizada em algumas fases (CAMPOS, 2004):

I. A primeira fase – pré-análise (ou pré-exploração) – destes materiais, consistiu de leituras flutuantes das elaborações documentais dos discentes, para que assim pudessem fluir novas impressões e orientações a respeito do tema trabalhado. Nesta primeira fase foram feitas várias leituras de todo o material documental permitindo que o pesquisador pudesse compreender as ideias principais e os seus significados gerais, sem compromisso ainda de sistematizar os resultados, mas sim de apenas visualizar e confrontar as hipóteses que foram pré-estabelecidas.
II. Na segunda fase de exploração do material documental, foram sistematizadas algumas unidades de análise ou de significados a partir das sentenças ou

frases elaboradas pelos discentes a respeito do modelo conceitual, matemático e termodinâmico, da afinidade eletrônica, como por exemplo, fazer um recorte de uma sentença que aborde o modelo conceitual estudado como sendo um “processo exotérmico” ou como “diferença de energia”, pois neste trabalho utilizou-se a análise temática, portanto, foi necessário explorar as sentenças ou frases (construções completas) elaboradas pelos discentes. A seleção das unidades temáticas relevantes para este trabalho, foi baseada nas relações feitas nas leituras flutuantes e idas e vindas aos objetivos do mesmo, além disso no referencial discutido e nas próprias teorias e concepções do pesquisador.

Posteriormente foi feita a categorização das unidades temáticas propostas na etapa anterior por meio de sentenças que apresentam variáveis ou unidades temáticas em comum, estas foram agrupadas em categorias de análise (CAMPOS, 2004).

Tendo em vista que o objetivo deste trabalho é investigar quais as dificuldades de aprendizagem inerentes ao processo de ensino-aprendizagem do modelo conceitual matemático e termodinâmico da afinidade eletrônica no Ensino Superior, então foi pensado nas categorias de análise descritas abaixo, considerando o que existia em comum nas frases ou respostas apresentadas pelos discentes nos documentos consultados. Elas foram identificadas pela lera C maiúscula do alfabeto e a numeração que varia de 1 a 5, portanto estas as categorias são apresentadas pelas siglas de C1 à C5.

- C1: Compreendem a afinidade eletrônica (AE) apenas como um processo exotérmico.
- C2: Apresentam, nas suas interpretações, divergências do modelo conceitual apresentado na referência bibliográfica (SHRIVER *et al.*, 2008) tomada como base para esse trabalho.
- C3: Mostram dificuldades de aprendizagem referentes à fundamentação teórica matemática básica para a compreensão deste modelo.
- C4: Apresentam dificuldades na representação a nível simbólico do modelo conceitual estudado.

- C5: Não sabem analisar como os parâmetros atômicos que determinam as variações dos valores das AE's e a sua periodicidade na tabela periódica interferem neste modelo conceitual.

Segundo Campos (2004) na categorização apriorística as categorias de análise dos dados são definidas previamente pelo pesquisador, segundo suas experiências prévias sobre o tema do trabalho. No entanto vale destacar que, neste processo, podem emergir novas subcategorias, a medida em que forem sendo realizadas as leituras flutuantes dos dados coletados, ou se reescrever novas categorias a partir das análises do pesquisador sobre os dados.

De acordo com Bardin (1977, p. 39 apud CAMPOS, 2004, p. 613) "o ato de inferir significa a realização de uma operação lógica, pela qual se admite uma proposição em virtude de sua ligação com outras proposições já aceitas como verdadeiras", ou seja, é a etapa na qual o pesquisador compara as sentenças que foram selecionadas nas unidades temáticas e categorizadas com o referencial teórico que foi adotado, para assim dar suporte teórico ao conteúdo, como exemplo, se a unidade temática selecionada foi " processo exotérmico" que se enquadra na C1, no processo de inferência, o pesquisador pôde pressupor que a compreensão deste modelo conceitual se deu desta maneira porque há divergências entre as referências bibliográficas adotadas no componente curricular, sendo que em uma delas, D. Lee (1999), considera-se apenas que esse processo ocorre com liberação de energia.

Por fim, existe a interpretação dos dados, onde feita estas inferências, há constatação ou não das hipóteses que foram pensadas pelo pesquisador nesta etapa final, pois nas diversas comparações do conteúdo com os referenciais teóricos adotados, o pesquisador pode concluir qual a causa de ocorrência daquele fenômeno. Para o exemplo citado acima, a interpretação que pode ser dada pelo pesquisador é que devido as diversas referências bibliográficas adotadas na disciplina, o discente ainda não tem maturidade o suficiente, por se encontrar no 4° período do curso de Química-Licenciatura para analisar a veracidade das informações compiladas nos referenciais bibliográficos adotados, aprendendo assim o conceito que é o menos adequado para este modelo conceitual.

De acordo com o que foi discutido anteriormente, o modelo conceitual da AE adotado pelo pesquisador para fazer as etapas da análise de conteúdo foi aquele abordado em Shriver *et al.* (2008), pois de acordo com as informações que foram discutidas no referencial teórico, pressupõe-se que esta é a referência bibliográfica

adotada no componente curricular de Química Inorgânica I que mais se aproxima com o conceito apresentado pelo *Gold Book IUPAC* (2019) e por Amaral (2015), classificando-se assim como de maior relevância para esse estudo, pois por se tratar de um livro didático é necessário que tenha-se uma comparação entre os aspectos da definição desse modelo conceitual compilado por esta referência bibliográfica com outros, como o compêndio da IUPAC e a dissertação de mestrado de Amaral (2015) observando-se assim que existe coerência entre eles, além disso, o pesquisador compreende esta referência bibliográfica como sendo a mais didática para explicar o modelo conceitual em questão, ou seja, este é o modelo conceitual adotado que é capaz de facilitar a compreensão dos discentes, pois permite utilizar a representação de um modelo matemático para a sua compreensão, e discernimento para analisar se o processo é exotérmico ou endotérmico, assim como de maneira qualitativa, os fatores que determinam a variação dos valores e de sua periodicidade na tabela periódica.

Vale ressaltar que a escolha do pesquisador se referiu somente quanto a comparação dos conceitos de AE apresentados pelas referências bibliográficas do componente curricular em questão com a dissertação de Mestrado de Amaral (2015) e do compêndio da IUPAC, isentando-se assim de julgar as outras referências como sendo errôneas ou incorretas, mas somente de analisar o modelo mais apropriado para o objetivo deste trabalho.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico, estão apresentados os dados documentais obtidos através do levantamento dos registros elaborados pelos discentes no grupo de discussão da rede social *Facebook* do componente curricular “Química Inorgânica I” e também do portfólio de avaliação formativo. Ambos foram utilizados como instrumentos de avaliação pelo docente no semestre em questão com o objetivo de auxiliar o processo de ensino e aprendizagem, através dos conteúdos abordados no componente curricular em questão naquele semestre.

A medida em que os dados documentais são apresentados ao longo do texto, é feita uma análise textual do conteúdo sobre as elaborações dos discentes nestes instrumentos avaliativos, para assim atender aos objetivos geral e específicos, possuindo como eixo norteador os referenciais teóricos que foram adotados neste estudo, com o pressuposto de responder a nossa questão de pesquisa: “Quais são as dificuldades dos estudantes na compreensão do modelo conceitual matemático e termodinâmico da propriedade atômica afinidade eletrônica e sua periodicidade num curso de formação docente em Química?”.

A apresentação dos resultados e discussão desta seção está estruturada da seguinte maneira: 5.1 Análise dos registros elaborados pelos discentes no grupo de discussão do componente curricular “Química Inorgânica I” na rede social *Facebook* e 5.2 Investigação das interpretações dos discentes sobre o modelo conceitual, matemático e termodinâmico, da propriedade atômica afinidade eletrônica nos portfólios formativos.

5.1 Análise dos registros elaborados pelos discentes no grupo de discussão do *Facebook* do componente curricular de Química Inorgânica I

Neste tópico buscou-se apresentar de maneira sistematizada, os resultados obtidos no levantamento de dados feito no grupo de discussão do referido componente curricular em conjunto com a análise das interpretações dadas pelos sujeitos de pesquisa. A questão proposta pelo docente para atingir os objetivos de aprendizagem com relação à propriedade atômica da afinidade eletrônica está descrita no Quadro 2.

Ao longo da apresentação dos resultados e da discussão, identificamos os discentes pela letra maiúscula (D) do alfabeto seguida pela numeração – variando de 1 a 9 – para remeter aos nove discentes participantes da pesquisa que atenderam aos critérios de inclusão definidos neste estudo. Sendo assim, estes discentes foram identificados aleatoriamente pelos códigos de D1 até D9. Ressalta-se que a propriedade atômica da afinidade eletrônica é identificada por (AE).

Quadro 2: Situação problema proposta pelo docente para estudo sobre o modelo conceitual da afinidade eletrônica dos elementos do Grupo 15 da tabela periódica.

SITUAÇÃO PROBLEMA 5: Os valores das afinidades eletrônicas do grupo 15 estão indicados na Tabela 14.1 (SHRIVER, p. 370). (i) Qual a definição dada por este autor para afinidade eletrônica e quais os fatores que definem a variação periódica deste parâmetro atômico, ainda de acordo com esse referencial teórico? (ii) De que forma o conceito de afinidade eletrônica se relaciona com a variação de entalpia para o ganho de um elétron por um átomo neutro? (iii) Representar os conceitos de afinidade eletrônica, dados pelos referenciais teóricos D. LEE e SHRIVER, através de equações termodinâmicas, para os elementos químicos N e P. (iv) Explicar e justificar, com base nos parâmetros definidos no item (ii) desta situação problema, a variação observada nos valores das afinidades eletrônicas desses dois elementos químicos indicadas por estes autores. (v) De acordo com o valor da primeira afinidade eletrônica do N, indicado na tabela 14.1 (SHRIVER, p. 370) discutir se o processo de formação do íon N^{1-} é endotérmico ou exotérmico. Justifique sua resposta com base na configuração eletrônica dos orbitais de valência do átomo de nitrogênio. (vi) Os processos de formação dos Ânions N^{2-} e N^{3-} são termodinamicamente favorecidos? Represente e justifique a sua resposta com base no preenchimento dos orbitais de valência do N. (viii) Qual dos ânions monovalentes dos elementos do grupo 15 tem maior estabilidade energética?

Fonte: Autoria própria com dados dos registros documentais institucionais do componente curricular (2021).

A seguir, no Quadro 3 estão reproduzidos os valores de afinidades eletrônica dos elementos do Grupo 15 da Tabela Periódica mencionados na situação problema proposta pela docente, de acordo com o referencial citado:

Quadro 3: Afinidade eletrônica dos elementos do Grupo 15

Elementos do Grupo 15	N	P	As	Sb	Bi
Afinidade eletrônica $(kJ \cdot mol^{-1})$	-3,0	-70,0	78	103	91

Fonte: Adaptado de Shriver *et al.* (2008, p. 370).

Participaram da discussão sobre esta questão, demandada na postagem do docente no *Facebook,* apenas dois discentes: D5 e D8. Observa-se que o discente D5 contribuiu com apenas um comentário, abandonando a discussão após o *feedback* do docente. Já o discente D8 teve uma participação ativa na rede social, colocando

suas dificuldades de compreensão na discussão com o docente até conseguir, gradativamente, reformular suas interpretações conceituais e, assim, atingir o objetivo de aprendizagem desta situação problema. No Quadro 4, a seguir, está transcrito o questionamento de D5 no Grupo de Discussão do referido componente curricular para o item (viii) da referida situação problema, o qual solicita que os discentes indicassem qual dos ânions monovalentes dos elementos do Grupo 15 tem maior estabilidade energética:

Quadro 4: Transcrição da discussão do discente D5 e o Docente sobre o item (viii) da situação problema 5.

DISCENTE (D5): "Professora no item (viii) estou com dificuldade para identificar o elemento que possui maior estabilidade energética para formar o ânion monovalente. Penso que é o P, pois com exceção do N todos os elementos desse grupo possuem orbitais d não preenchidos na camada de valência, entretanto, os orbitais do P estão em um nível quântico principal menor que os demais elementos do grupo com orbitais d não preenchidos. Dessa forma, os orbitais de fronteira do P sofrem um efeito maior da Z_{ef} o que favorece o processo de ganho de elétrons?"
***FEEDBACK* DO DOCENTE:** "Esta questão deve ser discutida com base nos valores de afinidade eletrônica"

Fonte: Autoria própria com dados dos registros documentais institucionais do componente curricular (2021).

Após o *feedback* com observações feitas pelo docente neste contexto formativo, D5 limitou-se a curtir o comentário do mesmo e não voltou a interagir na rede social. Através da nossa análise, pode-se inferir que a resposta de D5 remete a mais de uma das categorias definidas para a análise dos resultados neste estudo, mais especificamente, a categoria C2 e consequentemente as categorias C3 e C4.

Com relação a categoria C2, que se refere às divergências entre as interpretações do discente e o modelo conceitual desta propriedade atômica em discussão neste estudo, D5 ao responder o item (i), que não foi apresentado por ele no Grupo de Discussão para análise do docente, provavelmente deve ter interpretado de forma equivocada o modelo conceitual tomado como base para esta pesquisa, ou seja, apresentou divergências com relação modelo conceitual de Shriver et al. (2008), adotado como norteador nesta discussão. Como descrito no tópico 3.3 do referencial teórico, trata-se do modelo matemático e termodinâmico que define a propriedade atômica afinidade eletrônica como sendo a diferença de energia que há quando um

átomo gasoso (A, g) ganha um elétron e forma o seu respectivo ânion gasoso (A^{-}, g) à temperatura de zero kelvin, como representado simbolicamente na Equação 1.

Verifica-se, a partir do enunciado da referida situação problema proposta pelo docente, que inicialmente D5 deveria interpretar esse modelo conceitual de AE no nível simbólico, de acordo com a Equação 1, sendo esta interpretação uma condição necessária para responder os demais subitens desta situação problema, especificamente o item (viii) que este Discente sinalizou ter dificuldades de responder. Neste sentido, pode-se prever, diante das dificuldades relatadas por D5, que o mesmo não soube inicialmente representar o modelo conceitual da AE no nível simbólico e matemático, sem, portanto, compreendê-lo.

A dificuldade dos discentes para representar o modelo conceitual da afinidade eletrônica a nível simbólico pode ser discutida com base nas considerações de Santos *et al.* (2013 apud ROCHA, *et al.*, 2016) que, além do nível de abstração do conteúdo em questão, leva em consideração tanto a falta de significação de determinado conteúdo como a ausência de uma fundamentação teórica e matemática sólida dos mesmos que, neste contexto formativo, passam a não compreender tais aspectos, implicando em dificuldades no processo de ensino e aprendizagem em Química. No entanto, em nossa visão, estas questões podem ser trabalhadas por meio de ações efetivas planejadas e desenvolvidas na prática docente de forma a atingir os objetivos de aprendizagem para este tópico, inclusive utilizando-se de tecnologias da informação e comunicação além de outras metodologias ativas de ensino e aprendizagem para solucionar tais dificuldades. No caso específico deste discente, não houve discussão dialógica posterior ao feedback do docente que poderia ter favorecido a sua compreensão sobre o modelo conceitual deste parâmetro atômico.

Neste sentido, Johnstone (1991 apud SIRHAN, 2007, tradução nossa) afirma que a aprendizagem significativa dos estudantes está condicionada a compreensão do conhecimento químico em três níveis: (1) Macroscópico; (2) Submicroscópico ou atômico-molecular; (3) Simbólico ou representacional sem qualquer hierarquia entre eles. Segundo este Autor no caso de existir problemas na compreensão do conhecimento em algum destes níveis isso pode influenciar na compreensão dos demais, comprometendo, dessa forma, todo o processo de aprendizagem sobre determinado conteúdo da Química.

Neste sentido, as dificuldades do estudante D5 para identificar quais dos ânions monovalentes do Grupo 15 tem maior estabilidade energética, a partir dos dados de

AE fornecidos no Quadro 3, pode ser atribuída primeiramente a não compreensão do modelo conceitual desta propriedade atômica, referenciado nesta situação problema, e posteriormente, devido a isso, o mesmo não conseguir analisar os valores tabelados, a partir da representação no nível simbólico de AE, ou seja, levando em consideração a diferença de energia entre o átomo neutro e o respectivo ânion monovalente e compreendendo que quanto maior e mais positivo é o valor da afinidade eletrônica mais favorecido será a formação do ganho do primeiro elétron por um átomo de um dado elemento químico.

Além disso, destaca-se principalmente que a resposta de D5 se enquadra na categoria de análise C3, considerando que o docente, no enunciado desta situação problema, fez observações orientando que as construções dos discentes, para os itens da questão, deveriam ser embasadas nos valores de AE, reproduzidos no Quadro 3, levando-se em consideração os fatores que definem os valores e a periodicidade da AE dos elementos do Grupo 15. Assim, a ausência de interação discursiva no *Facebook* sinaliza que o do discente D5 não compreende o modelo conceitual de AE e, assim, não é capaz de analisar os valores matemáticos tabelados e argumentar sobre as divergências observadas a partir dos fatores que definem a periodicidade deste parâmetro atômico para os elementos do Grupo 15, mais especificamente: os orbitais de fronteira e a carga nuclear efetiva. Além disso, também demonstra que não houve avanços relativos à metacognição.

A categoria de análise C3 compreende que os discentes apresentam dificuldades de aprendizagem referentes a fundamentação teórica matemática para a compreensão deste modelo. Neste caso, D5 se encaixa principalmente nesta categoria de análise pelo fato de que, mesmo após o *feedback* docente, respondendo suas indagações, este Discente resolveu abandonar a discussão sem se comprometer em desenvolver qualquer diálogo posterior explicitando suas ideias para análise e correções do docente numa ação contínua de reflexão e reformulação da sua compreensão. Esperava-se, neste contexto formativo e tendo em vista o comentário do docente, que D5 argumentasse e discutisse os valores tabelados das AE dos elementos do Grupo 15, ou seja, fizesse uma análise comparativa dos valores matemáticos interpretados com base no modelo conceitual em questão. O fato de não ter desenvolvido nenhuma argumentação dialógica sinaliza dificuldades na compreensão deste parâmetro atômico e limitações na sua capacidade metacognitiva no sentido de superar essas barreiras no processo de ensino-aprendizagem.

A análise e interpretação dos valores de AE e sua periodicidade deve levar em consideração o modelo conceitual focado na diferença de energia entre o átomo neutro e o respectivo ânion monovalente que pode assumir valores positivos ou negativos. No caso de valores de AE negativos (AE<0) implicam que a energia do átomo neutro (A) é menor que a energia do respectivo ânion formado pelo ganho de um elétron (A^-), ambos no estado gasoso à 0K, ou seja, E (A, g) < E (A^-, g). Portanto neste caso átomo neutro tem maior estabilidade energética que o respectivo ânion. O mesmo raciocínio matemático permite concluir que valores positivos de afinidade eletrônica (AE>0) implicam que a energia do átomo neutro (no estado gasoso e a 0K) é maior que a energia do respectivo ânion nas mesmas condições termodinâmicas, ou seja: E (A, g) > E (A^-, g). Ou seja, o átomo neutro tem menor estabilidade energética que o ânion.

Neste sentido, as dificuldades de aprendizagem do discente D5 só poderiam ser superadas a partir dos seguintes objetivos de aprendizagem: Interpretar e compreender o modelo conceitual matemático e termodinâmico proposto por Shriver *et al.* (2008), resolvendo assim o problema referente à categoria de análise C2, e posteriormente, representar a nível simbólico este modelo matemático (categoria de análise C4) para enfim analisar a questão com base nos valores fornecidos no Quadro 3, em possibilidades da AE ser negativa ou positiva (categoria de análise C3).

Só a partir dessa sistematização do conhecimento acerca do modelo conceitual matemático e termodinâmico da AE, era possível raciocinar em termos matemáticos e concluir que o ânion monovalente dos elementos do Grupo 15 com maior estabilidade termodinâmica é aquele que possuí o maior valor de AE, ou seja, o ânion Sb^{1-} (AE=103 kJ/mol), de acordo com os valores de Shriver *et al.* (2008) referenciados e reproduzidos no Quadro 3.

Como Biembengut e Hein (2003, p. 12 apud MOREIRA, 2014, p. 10) apontam em seu estudo o “modelo matemático é um conjunto de símbolos e representações matemáticas que procura traduzir, de alguma forma, um fenômeno em questão ou problema de situação real”. Assim, neste contexto formativo, é possível verificar que há um problema inerente a relação entre o conhecimento químico e matemático, neste caso, através da representação matemática pode ser previsto um fenômeno químico em questão, que é a capacidade que estes elementos do Grupo 15 possuem de serem reduzidos, a partir de dados energéticos tabelados nesta situação problema.

Assim é possível pressupor que a resistência do discente D5 em apresentar uma argumentação dialógica quando provocado pelo Docente está relacionada com deficiência na sua base, tanto teórica como matemática, refletindo, assim, nas suas dificuldades de aprendizagem deste modelo conceitual.

Outro aspecto importante que precisa ser salientado e discutido no ensino e aprendizagem da afinidade eletrônica e que pode ajudar na interpretação do estudante quanto aos significados dos valores positivos e negativos deste parâmetro atômico é observar a relação inversa entre os valores desta propriedade atômica dos elementos químicos e os valores das variações de entalpias correspondentes ao processo ganho de elétron $(\Delta_{ge}H°)$ considerando a maior familiaridade dos estudantes com os processos endotérmicos e exotérmicos e suas representações matemática e simbólica. É nesta perspectiva que Shriver *et al.* (2008) aponta que os discentes devem ficar atentos quanto à relação entre os valores numéricos destes dois parâmetros energéticos, ou seja: $AE \cong -\Delta_{ge}H°$, considerando que estes dois parâmetros energéticos tem sido utilizados, de maneira equivocada, um no lugar do outro, nos referenciais bibliográficos o que leva a pensar que um valor positivo de AE indica que o processo de formação do ânion é endotérmico quando na verdade o ânion formado tem energia menor do que o átomo neutro caracterizando o processo de ganho de elétron como exotérmico.

Portanto, Barbosa (2009, p. 77) nos diz que neste caso o modelo matemático não está servindo para subsidiar uma conclusão, mas ele mesmo é o conceito a ser exposto ao estudante, enunciado em termos matemáticos. É neste sentido que ocorrem as implicações no processo de ensino e aprendizagem da Química, sendo o conceito a ser enunciado por um modelo matemático, ou seja, de maneira tanto qualitativa como quantitativa, o discente pode não ter a fundamentação teórica matemática para compreender este aspecto e não saber representar ou traduzir a linguagem do conhecimento químico em expressões matemáticas, para assim chegar à conclusão sobre o processo de ganho de elétron, e com isso, interpretar os valores da AE específicos para cada átomo.

Por outro lado, o discente D8 teve uma importante participação na discussão dialógica no Grupo de Discussão na rede social *Facebook*, que contribuiu bastante para o seu aprofundamento conceitual sobre afinidade eletrônica, que foi sendo aprimorado a partir das intervenções do discente realizadas no sentido de favorecer

sua compreensão sobre este parâmetro atômico. No Quadro 5 estão transcritos, na íntegra, todos os registros elaborados por Ele e pelo docente neste processo formativo interativo:

Quadro 5: Transcrição da discussão do discente D8 e o Docente sobre a situação problema 5.

DISCENTE (D8): “Professora estou com muita dificuldade para responder essa situação a partir do item iv. Shriver indica o valor de AE do N como negativo, enquanto que D. Lee indica positivo. Seria o N que deveria possuir maior AE, certo? Considerando que ao ganhar o elétron este entrará em um orbital que vai experimentar uma maior carga nuclear efetiva. Não consigo desenvolver uma resposta.”

***FEEDBACK* DO DOCENTE:** “A questão é para ser analisada levando em consideração o conceito de AE e os valores de Shriver tabelados. Discutimos bastante a divergência conceitual entre estes dois autores e informei que iríamos considerar o modelo conceitual de Shriver. Portanto faça toda análise nesta perspectiva.”

DISCENTE (D8): “Professora ok. Shriver apresenta os valores de AE para o N e o P como -8 e 72, respectivamente. Considerando o conceito de AE deste mesmo autor, e os fatores que justificam a variação periódica, seria o N que deveria ter maior AE, certo? O valor dado é negativo, mas, sabemos que uma AE negativa indica um não favorecimento da formação do ânion. Isso me deixa confusa, porque o N se comparado ao P é que deveria ter seu ânion favorecido por possuir a tendência de ter maior AE.”

***FEEDBACK* DO DOCENTE:** “D8 quais fatores você está considerando? Analise a configuração eletrônica dos orbitais onde o elétron irá entrar.”

DISCENTE (D8): “Professora no item (i) teve uma parte que eu coloquei: Um elemento possui uma alta afinidade eletrônica se o elétron adicional pode entrar numa camada onde ele experimenta uma forte carga nuclear efetiva. Pensando no N, o elétron adicional entrará na 2ª camada no orbital p, e no caso do P, o elétron adicional entrará na 3ª camada no orbital p. Então, é no N que o elétron adicional experimenta a maior carga nuclear efetiva, certo?”

***FEEDBACK* DO DOCENTE:** “D8 você só está considerando a atração elétron núcleo e desconsiderando o fato do orbital ser semipreenchido e, portanto, haver repulsão elétron-elétron! Porque no N esta repulsão é maior?”

DISCENTE (D8): “Professora penso que é maior no N porque o elétron adicionado entrará no orbital p que já está semipreenchido, então haverá uma repulsão elétron-elétron, enquanto que em relação ao P o elétron adicional pode entrar num orbital d considerando que com exceção do N os demais elementos do grupo possuem orbitais d acessíveis?”

***FEEDBACK* DO DOCENTE:** “D8 não! Ambos os átomos tem os mesmos orbitais de valência pois são elementos de um mesmo grupo. Portanto o primeiro elétron em ambos entra num orbital p semipreenchido”.

DISCENTE (D8): “Professora certo. Mas aí agora volto ao meu pensamento de que o N é o que deve possuir maior afinidade eletrônica.”

***FEEDBACK* DO DOCENTE:** “D8 qual o fator que aumenta a repulsão elétron-elétron no N?”

DISCENTE (D8): “Professora tenho dúvida, mas pensei que pode ser a camada em que o orbital p se encontra.”

***FEEDBACK* DO DOCENTE:** “D8 a repulsão eletrostática depende de que?”

***FEEDBACK* DO DOCENTE:** “Trata-se de uma interação repulsiva eletrostática. Depende de que?”

DISCENTE (D8): “Professora estive tentando achar uma resposta, mas de fato não sei. Não consigo pensar nisso no átomo de N.”

DISCENTE (D8): “Professora como eu penso na repulsão dos pares de elétrons na camada de valência, pode me ajudar a entender essa repulsão nos orbitais? A distância em que esses elétrons estão um do outro influencia na força de repulsão entre eles?”

***FEEDBACK* DO DOCENTE:** “D8 sim”

***FEEDBACK* DO DOCENTE:** “Pense em orbitais em três dimensões do mesmo tipo para o N e o P. Os elétrons ocupam estas regiões e existe atração com o núcleo e repulsão entre os elétrons. Quando é que essa repulsão é maior?”

***FEEDBACK* DO DOCENTE:** “D8 Um elétron num orbital tem distância definida do outro? Existe este parâmetro de medida? O que o quadrado da função de onda define? Todos os orbitais s e p do N e do P tem o mesmo tamanho?”

DISCENTE (D8): “Professora a repulsão é maior quando os elétrons estiverem mais próximos um do outro.”

DISCENTE (D8): “Professora considerando que o P é um átomo maior, então ele possuirá orbitais maiores, certo? O que irá implicar numa distância maior entre esses orbitais e numa repulsão menor entre os elétrons?”

***FEEDBACK* DO DOCENTE:** “D8 sim orbitais maiores, com no máximo dois elétrons minimiza a repulsão eletrônica.”

DISCENTE (D8): “Professora HOUSECROFT vai dizer que “... o ganho de um elétron por um átomo é geralmente um processo EXOTÉRMICO e neste processo duas forças eletrostáticas se opõem: a repulsão entre os elétrons de valência e o elétron adicional e a atração entre o núcleo e o elétron ganho pelo átomo”. Então, considerando as suas observações sobre os tamanhos dos orbitais, agora penso que se no P haverá uma repulsão menor entre os elétrons de valência e o elétron adicional, e também haverá uma força atrativa menor entre o núcleo e o elétron de valência, visto que está mais distante do núcleo, ele é quem possui o favorecimento de formação do ânion (possui AE positiva). Pois, já que o N é um átomo menor este possui orbitais menores, o que irá possibilitar maiores forças repulsivas entre os elétrons de valência e o elétron adicionado, onde essas forças irão se opor a força atrativa do núcleo com o elétron adicionado, desfavorecendo a formação do ânion (AE negativa.)”

***FEEDBACK* DO DOCENTE:** “D8 quando um átomo tem mais elétrons ele também tem maior quantidade de prótons e, portanto, maior carga nuclear. No caso destes elementos com 2 elétrons no orbital s e 3 no orbital p (um em cada orbital) e que definem uma configuração estável (orbitais p, d e f semipreenchidos ou totalmente preenchidos) os elétrons vão entrar numa órbita p com um elétron, observando-se assim além da atração nuclear a repulsão elétron/elétron. A única diferença entre o N e o P está no tamanho do orbital p onde o elétron vai entrar. Sendo assim o que desfavorece a entrada de um elétron no N é o tamanho pequeno do orbital p. Não se esqueça que além dos 3 elétrons p os elementos deste grupo têm 2 elétrons no orbital s.”

DISCENTE (D8): “Professora ok. O entendimento da maior repulsão elétron-elétron em um orbital menor, no caso do N, é o que caminha para compreender porque ele é menos estável.”

***FEEDBACK* DO DOCENTE:** “D8 com relação a formação do ânion N^-. Veja também que o valor negativo não é muito grande.”

Fonte: Autoria própria com dados dos registros documentais institucionais do componente curricular (2021).

Pode-se observar no primeiro comentário feito por D8 que ele tem dificuldade de responder à situação problema 5 proposta pela docente a partir do item (iv) no qual o mesmo teria que explicar e justificar, com base nos parâmetros definidos no item (ii) da mesma situação problema, a variação observada nos valores das afinidades eletrônicas dos elementos nitrogênio e fósforo do Grupo 15 da Tabela Periódica. Esses valores, que deveriam ser consultados pelos discentes no referencial citado no enunciado desta situação problema e que estão reproduzidos, neste estudo, no Quadro 3, são iguais, respectivamente a -3,0 e -70,0 kJ/mol para o nitrogênio e fósforo.

Inicialmente a dificuldade descrita por D8 está associada às divergências observadas nos modelos conceituais e valores adotados nos referenciais bibliográficos do componente curricular uma vez que segundo J. D. Lee (1999) a afinidade eletrônica é um processo exotérmico que geralmente está associado somente ao ganho do primeiro elétron pelo átomo enquanto que Shriver *et al.* (2008) descreve esta mesma propriedade como uma variação de energia entre o átomo gasoso e seu respectivo ânion gasoso, podendo essa diferença de energia ter valores positivos e negativos dependendo dos fatores que a definem tais como: a carga nuclear efetiva e os orbitais de fronteira. Como já abordado anteriormente é comum os referenciais bibliográficos usarem o termo da entalpia do ganho de elétron quando discutem a afinidade eletrônica sem chamar a atenção do leitor que do ponto de vista conceitual deve ser observada a equivalência nos valores destes dois parâmetros termodinâmicos já discutida anteriormente, ou seja: $AE = -\Delta_{ge}H°$. Assim, valores de AE positivos e elevados indicam que o processo de ganho de elétrons é termodinamicamente favorecido.

No Quadro 6, a seguir, podem ser observadas essas divergências nos valores de AE fornecidos por J. D. Lee (1999, p.79) e Shriver *et al.* (2008, p. 51):

Quadro 6: Valores das afinidades eletrônicas de alguns elementos do Grupo 15.

Elementos do Grupo 15	Valores de AE segundo Shriver *et al.* $(kJ \cdot mol^{-1})$	Valores de AE segundo D. Lee $(kJ \cdot mol^{-1})$
N	-8	31
P	72	-60
As	78	–
Sb	103	–

Fonte: Adaptado dos referenciais bibliográficos citados.

A partir destes dados, apresentados no Quadro 6, observa-se divergências tanto nos valores absolutos quanto relativos deste mesmo parâmetro atômico nos dois referenciais bibliográficos. Essas divergências confundem os discentes com relação à compreensão desta propriedade atômica e precisam ser abordadas e explicadas no processo de ensino e aprendizagem na perspectiva de que Shriver *et al.* (2008) aborda o modelo conceitual de AE como diferença de energia entre o átomo neutro e o respectivo ânion monovalente enquanto J. D. Lee (1999) usa a variação de entalpia correspondente ao ganho de elétron como afinidade eletrônica ou seja, a diferença de energia entre o ânion monovalente e o respectivo átomo neutro, daí a diferença nos valores relativos de AE nestes dois referenciais bibliográficos da Química Inorgânica.

Outro aspecto é de que na Educação Básica, como afirma Trassi *et al.* (2001), as propriedades atômicas dos elementos químicos não são discutidas como deveriam, preocupa-se mais com as consequências causadas pelas propriedades do que com elas mesmas, como por exemplo, as transformações químicas que ocorrem na natureza, a formação de novas ligações, logo o resultado final é mais importante do que os processos que levaram até ele, que neste caso são as propriedades atômicas dos elementos químicos, e neste sentido compreendemos que é mais comum a AE ser trabalhada como a entalpia de ganho de elétrons, pois subtende-se que é mais acessível ao nível de complexidade em questão ou mesmo por não compreender ainda estas diferenças conceituais como resultado da sua formação inicial.

Observa-se ainda que o discente D8, na sua discussão textual com o docente, mencionou os valores de AE apresentados pelo mesmo referencial bibliográfico (Shriver *et al.,* 2008, p. 51) quando conceitua afinidade eletrônica e apresenta seus valores para os elementos dos blocos s e p da tabela periódica. Estes valores estão reproduzidos no Quadro 6. No entanto, os valores que deveriam serem levados em consideração na resolução desta situação problema erma aqueles referenciados pelo

mesmo Autor e reproduzidos no Quadro 3. Uma análise detalhada dos valores citados por Shriver *et al.* (2008) em dois momentos diferentes mostra que existe diferença nos valores de afinidades eletrônicas destes elementos do Grupo 15 no mesmo referencial bibliográfico. Estas divergências podem ser resultado de erro editorial, no texto original ou na tradução para a língua portuguesa. O discentes D8 atenta-se a isso e passa a analisar os valores corretos que constam no Quadro 6 do mesmo referencial. No entanto é importante ressaltar que este tipo de erro editorial pode contribuir para gerar ou aumentar as dificuldades de aprendizagem dos estudantes sobre este parâmetro atômico.

Analisando a discussão inicial entre D8 e o docente, observa-se que na verdade a dificuldade deste discente pode ser incluída na categoria C5, ou seja, ele não consegue analisar como os parâmetros que definem a variação periódica da AE interferem na variação dos seus valores no Grupo 15.

Mesmo existindo tamanha divergência entre os valores mencionados por Shriver *et al.* (2008), o objetivo do item (iv) desta situação problema é avaliar como os discentes explicam a variação dos valores de afinidade eletrônica dos elementos do Grupo 15 com base nos parâmetros atômicos que a definem. Portanto devem levar em consideração tantos os orbitais de fronteira como a carga nuclear efetiva sentida pelo elétron quando preenche estes orbitais na formação do ânion.

Assim, considerando os valores descritos no Quadro 6, esperava-se que o discente D8 conseguisse explicar as diferenças nos valores de AE do nitrogênio (AE = -8 kJ/mol) e do fósforo (72 kJ/mol) com base nos orbitais de fronteira destes elementos e nos valores da carga nuclear efetiva. Nesta análise os estudantes devem levar em consideração que o nitrogênio possui valor de AE negativo enquanto que o fósforo tem valor positivo. Logo o processo de formação do ânion monovalente (N^{1-}) é menos favorecido termodinamicamente que o processo de formação do ânion monovalente (P^{1-}).

A discussão dialógica do discente D8 possibilitou que o Docente identificasse suas dificuldades de aprendizagem e que o impediam de explicar as diferenças nestes valores de AE de forma correta. Nesta perspectiva o Docente o orientou para levar em consideração que os dois átomos têm o mesmo tipo de orbitais de fronteira. De acordo com Shriver *et al.* (2008) os orbitais de fronteira são aqueles onde ocorrem mudanças nas distribuições eletrônicas quando há rompimento ou formação de ligações químicas. No caso dos elementos (N e P), tem-se a configuração eletrônica com os

três orbitais p de fronteira semipreenchidos, cada um com um elétron (np_x^1, np_y^1, np_z^1), uma configuração termodinamicamente estável. Considerando a variação do número quântico principal destes dois elementos e consequentemente no tamanho dos orbitais p, este será um fator decisivo para a compreensão das diferenças observadas nos valores de AE destes elementos.

Além disso, deve-se levar em consideração também que o elétron adicional entra em um orbital semipreenchido, ou seja, vai existir tanto atração entre ele e o núcleo como repulsão entre os elétrons já presentes nos orbitais de fronteira e o adicional. No caso do átomo de nitrogênio, o raio menor induz os estudantes a pensar que este átomo tem valores mais elevados de afinidade eletrônica devido a maior atração núcleo-elétron. No entanto, os dados indicam que o valor de AE do nitrogênio (-8 kJ/mol) é baixo e negativo enquanto que a do fósforo (72 kJ/mol) é maior e positivo. Os estudantes devem racionalizar estes dados considerando que, além da atração núcleo-elétron existe repulsão elétron-elétron nos orbitais de fronteira semipreenchidos quando estes átomos ganham um elétron. Esta repulsão será maior no átomo de nitrogênio devido à dimensão menor dos orbitais 2p quando comparados ao volume espacial dos orbitais 3p do átomo de fósforo. Além disso a carga nuclear efetiva do fósforo, mesmo com maior blindagem, ainda é maior devido ao aumento da carga nuclear deste elemento químico.

Então, a análise deste item da situação problema em questão é complexa exigindo uma abordagem conceitual tanto qualitativa quanto quantitativa e bem fundamentada nos fatores que definem a variação periódica desta propriedade atômica bastante discutidos nos referenciais bibliográficos da Química Inorgânica, Shriver *et al.* (2008) e J. D. Lee (1999). É nesta perspectiva que Kirkwood *et al.* (1996, tradução nossa) traz importantes contribuições quanto as dificuldades de aprendizagem inerentes a estrutura curricular dos cursos de formação docente em Química, considerando os modelos conceituais em Química serem difíceis, acarretando assim problemas para a interpretação e compreensão dos discentes nesta formação, principalmente pelo motivo de serem abstratos e exigirem demasiada capacidade dos mesmos na representação mental destes modelos, para posteriormente conseguirem dar significados a eles, resultando numa aprendizagem eficaz. Nesta perspectiva, o Docente deve sempre pautar o seu planejamento pedagógico incluindo comparação das interpretações conceituais de diferentes Autores com aplicação do conceito em questões que favorecem estas análises

reflexivas sobre o modelo científico e matemático. Percebe-se pela forma como esta situação problema foi estruturada pelo Docente que o mesmo buscou favorecer esta análise ampla e reflexiva dos discentes neste processo formativo.

Ainda neste sentido, Sirhan *et al.* (2007, tradução nossa) traz em seu artigo de revisão sobre dificuldades de aprendizagem em Química aspectos que se correlacionam com estes de Kirkwood *et al.* (1996, tradução nossa), pois a construção dos conceitos químicos depende da linguagem desta Ciência, ou seja, se esta é uma linguagem abstrata torna-se de difícil acesso a compreensão do conteúdo, é necessário primeiro fazer com que os estudantes compreendam bem os conceitos fundamentais para assim, posteriormente, compreender conceitos mais complexos.

Neste caso, se faz necessário que os estudantes compreendam bem os fatores que definem essa variação dos valores das AE dos elementos, de preferência analisando todos aqueles sintetizados no Quadro 1, para após isso, analisar e resolver questões que envolvem comparação entre valores de elementos de um mesmo grupo, como proposto no item (iv) desta situação problema.

Considerando que a linguagem e comunicação desta Ciência, a abstração dos modelos conceituais ensinados e por fim, do currículo de Química ser ensinado de maneira lógica e linear, como Sirhan *et al.* (2007, tradução nossa) aborda em seu artigo de revisão, pode-se associar as dificuldades do discente por D8, mas que foram superadas a partir das orientações do Docente, a todos estes fatores além da significação dos conceitos pelo discente, já que na teoria de Ausubel (1968) para que um determinado conhecimento seja realmente compreendido é necessário que ele seja significado pelos discentes, logo este modelo matemático e termodinâmico da afinidade eletrônica não é tão simples de ser significado, pois de acordo com a teoria de Johnstone (1991 apud SIRHAN, 2007, tradução nossa) é necessário que essa compreensão ocorra nas três dimensões do conhecimento químico: Submicroscópico, Simbólico ou Representacional e Macroscópico, acreditando-se assim que essa falta de significação do conceito se dá justamente nas dimensões microscópica e macroscópica deste conceito.

Neste sentido, deve-se associar também que estas dificuldades de aprendizagem são uma reflexão dos diferentes modelos conceituais apresentados ao longo do componente curricular com diferentes parâmetros de análise qualitativa (carga nuclear efetiva e orbitais de fronteira) a serem adotados e diferentes representações a nível simbólico, caracterizando uma análise quantitativa (análise

matemática) com: (i) J. D. Lee se referindo a AE como um processo exotérmico; (ii) Shriver *et al.* (2008) como uma variação de energia, ou seja, o inverso da entalpia do ganho de elétron e que pode assumir valores positivos e negativos; (iii) Housecroft *et al.* (2012) definindo esta propriedade atômica como o inverso da variação de energia interna, o que é mais complexo ainda. Então essas divergências dos valores da afinidade eletrônica adotadas nos referenciais bibliográficos e as diferenças entre os modelos conceituais dos mesmos contribuem demasiadamente para as dificuldades de aprendizagem que foram listadas ao longo deste tópico. Estes aspectos necessitam ser considerados no planejamento didático e abordados sistematicamente nos cursos de formação docente.

5.2 Análises das interpretações dos discentes sobre o modelo conceitual, matemático e termodinâmico da propriedade atômica afinidade eletrônica (AE) nos portfólios formativos.

No presente tópico foram descritos os resultados obtidos através das análises textuais dos registros elaborados pelos discentes no portfólio formativo do componente curricular em questão. Os objetivos aqui postos, foram de analisar e investigar as divergências que existem entre as interpretações dos discentes e dos modelos conceituas presentes nos referenciais bibliográficos, verificando também como estas contribuem para as dificuldades de aprendizagem dos discentes sobre este parâmetro atômico.

No portfólio formativo o docente propôs uma situação problema envolvendo o estudo tanto conceitual da afinidade eletrônica como aplicado aos elementos do Grupo 18 da tabela periódica. No Quadro 7, a seguir, está reproduzida a situação problema proposta para os discentes cuja resolução deveria compor o portfólio formativo, um dos instrumentos avaliativos do processo de ensino e aprendizagem dos estudantes do componente curricular “Química Inorgânica I” que foi utilizado como fonte de dados neste estudo.

Quadro 7: Situação problema proposta pelo Docente para estudo da propriedade atômica AE referente aos elementos do Grupo 18 da tabela periódica.

SITUAÇÃO PROBLEMA 6: Segundo Housecroft e Sharpe (2013) “A primeira Afinidade Eletrônica é menos a variação de energia interna, a 0K, associada ao ganho de um elétron para um átomo em fase gasosa”. Ainda segundo estes autores, o ganho de um elétron por um átomo é geralmente um processo exotérmico e neste processo duas forças eletrostáticas se opõem: a repulsão entre os elétrons de valência e o elétron adicional e a atração entre o núcleo e o elétron ganho pelo átomo. Ao contrário, quando se adiciona um elétron a um ânion as interações repulsivas são dominantes e o processo é endotérmico. (i) Descrever como os autores D. Lee (p.79) e Shriver (p.51) conceituam Afinidade Eletrônica através de um modelo matemático e analisar comparativamente as definições destes autores (Housecroft e Sharpe, D. Lee e Shriver). (ii) Relacionar os fatores citados por D. Lee e Shriver que influenciam a variação periódica deste parâmetro termodinâmico do átomo. (iii) Relacionar, na Tabela 4, os valores da Afinidade Eletrônica definidos por Shiver para os Gases Nobres (p. 448) e fazer uma previsão destes valores de acordo com o conceito de D. Lee para este parâmetro termodinâmico do átomo. (iv) Representar na linguagem da Química o processo de ganho do primeiro elétron destes dois elementos e explicar as diferenças nos valores das Afinidades Eletrônicas do He e do Ne com base na configuração eletrônica da camada de valência e na energia do orbital a ser preenchido. (v) Qual dos dois ânions formados é energeticamente mais estável? Justificar a sua resposta com base nos fatores citados no item (ii) desta situação problema.

Fonte: Autoria própria com dados dos registros documentais institucionais do componente curricular (2021).

As elaborações apresentadas pelos estudantes nos seus respectivos portfólios avaliativos estão transcritas no Quadro 8 a seguir. Estes registros documentais foram analisados com o objetivo de investigar as interpretações dos discentes sobre o modelo conceitual, matemático e termodinâmico da propriedade atômica afinidade eletrônica (AE) ao longo desse processo formativo.

Quadro 8: Registros elaborados pelos discentes no portfólio formativo sobre os itens da situação problema 6.

DISCENTE (D2): “Segundo Shriver, afinidade eletrônica é definida através da equação matemática Ea= E(A,g) – E(A^-,g), como uma diferença de energia entre átomos gasosos neutros e íons gasosos a T=0; tendo como unidade de medida $kJ.mol^{-1}$. Quando o valor de energia do átomo gasoso neutro é maior que a do íon gasoso, o valor da afinidade eletrônica será positivo; quando o valor de energia do átomo gasoso neutro for menor que a do íon, o valor da afinidade eletrônica será negativo. Os fatores que definem a variação periódica da afinidade eletrônica é: o raio atômico, carga nuclear efetiva e os orbitais de fronteira de um átomo. A equação química representativa da afinidade eletrônica é: A(g) + e-(g) → A-(g). Os valores das afinidades eletrônicas do grupo 18 são negativas porque o elétron que chega ocupará um orbital de uma nova camada, já que a camada de valência dos elementos deste grupo está totalmente ocupada, caso um elétron venha ser adicionado irá entrar em uma camada mais externa, devido ao octeto completo no grupo 18, o que desfavorece o sistema. (Shriver, p.51-52).”

DISCENTE (D5): “Segundo Shriver, o termo Entalpia de ganho de elétron é o termo termodinamicamente mais apropriado que é a energia liberada ou absorvida, exotérmica e endotérmica, pela reação de formação quando um átomo na fase gasosa ganha um elétron,

$$A\ (g) + e^-\ (g) \rightarrow A^-(g)$$

E a diferença de energia entre esses átomos e íons gasosos é chamado de afinidade eletrônica.

$$Ea = E(A, g) – E(A^-, g)”$$

DISCENTE (D6): “De acordo com Shriver (2008, p. 520) afinidade eletrônica é a diferença de energia entre o átomo neutro no estado gasoso e o ânion no estado gasoso a T=0: AE = E(X(g)) – E(X^{-1}g)). Housecroft e Sharpe (2012), define a “primeira afinidade eletrônica como sendo menos a variação interna, a 0K, associada ao ganho de um elétron para um átomo em fase gasosa”. O ganho de um elétron por um átomo é geralmente um processo exotérmico e neste processo duas forças eletrostática se opõem: a repulsão entre os elétrons de valência e o elétron adicional e a atração entre o núcleo e o elétron ganho pelo átomo. Quando se adiciona um elétron a um ânion as interações repulsivas são dominantes e o processo é endotérmico. A afinidade eletrônica de um elemento é determinada em grande parte, pela energia do orbital não-preenchido de menor energia (ou semipreenchido) do átomo no seu estado fundamental. Um elemento possui uma alta afinidade eletrônica se o elétron adicional pode entrar numa camada onde ele experimenta uma forte carga nuclear efetiva. Sendo assim, a afinidade eletrônica nos elementos decresce no decorrer do grupo e aumenta ao longo do período. A entalpia de ganho de um elétron (ΔgeH°), é a variação de entalpia padrão molar quando um átomo na fase gasosa ganha elétron: ΔgeH° = E(A^-,g) – E(A,g). O ganho de elétron pode ser exotérmico ou endotérmico. Embora o termo entalpia de ganho de elétron seja o termo termodinamicamente apropriado, muito da química inorgânica é discutida em termos de uma propriedade muito próxima, a afinidade eletrônica de um elemento, Ea. (Shriver, p. 51)”

DISCENTE (D7): “É a variação de entalpia padrão por mol de átomos quando um átomo ganha um elétron na fase gasosa, ou seja, corresponde à energia liberada quando um elétron é adicionado a um átomo neutro no estado gasoso. O ganho de elétron pode ser endotérmico ou exotérmico.”

DISCENTE (D8): “**Item (i):** chama a atenção para o modelo matemático que tais autores usam para definir a Afinidade Eletrônica (AE). D. Lee (1999, p. 79) segue um raciocínio semelhante à variação de entalpia do sistema ao definir AE como sendo a energia liberada quando um elétron é adicionado a um átomo gasoso neutro. De acordo com Shriver (2008, p. 51) afinidade eletrônica é a diferença de energia entre os átomos gasosos e os íons gasosos a T=0, ou seja: AE = E (A,g) – E(A^-,g). É importante conhecer ainda quais são os fatores que influenciam a variação periódica dos valores de afinidade eletrônica, pois esta análise proporciona um melhor entendimento sobre como acontece o processo.
Item (ii): Sobre os fatores que define a variação periódica da afinidade eletrônica J. D. Lee (1999, p. 79) relaciona o tamanho e a carga nuclear efetiva do átomo. Shriver acrescenta que a afinidade eletrônica de um elemento é determinada, em grande parte, pela energia do orbital não preenchido (ou semipreenchido) de menor energia do átomo no seu estado fundamental sendo este um dos dois orbitais de fronteira de um átomo a ser ocupado pelo elétron. O outro é o orbital atômico preenchido de mais alta energia. Após compreender como estes fatores podem influenciar na intensidade da afinidade eletrônica, torna-se mais fácil observar valores tabelados e identificar uma tendência nos respectivos valores. Porém, os valores de afinidade eletrônica avaliados no referencial Shriver não possuem uma tendência fixa no Grupo 18. Isso desencadeia uma investigação mais crítica de quais critérios acabam por não apresentar uma tendência fixa nos valores de afinidade eletrônica no Grupo 18. Fatores como carga nuclear e energia do orbital a ser preenchido podem influenciar diretamente.
Item (iv): pede para explicar as diferenças nos valores das afinidades eletrônicas do He e do Ne com base na configuração eletrônica da camada de valência e na energia do orbital

a ser preenchido. O elétron adicionado no He irá ocupar um orbital 2s, enquanto que o elétron adicionado no Ne irá para o orbital 3s. Ambos orbitais estão vazios, porém, no He, o elétron adicionado será puxado mais intensamente pelo núcleo devido a sua maior carga nuclear efetiva. Reconhecer a estabilidade energética de um íon também é um aspecto importante presente na afinidade eletrônica.
Item (v): analisando os valores das afinidades eletrônicas do He (Ea = - 48 kJ/mol^{-1}) e do Ne (Ea = -116 kJ/mol^{-1}) conclui-se que o ânion He^{1-} é energeticamente mais estável devido ao maior valor da sua afinidade eletrônica comparada com a do ânion Ne^{1-}. Analisando sob a ótica do formalismo matemático que define este parâmetro atômico [Ea = E(A,g) – E(A-,g)] pode-se verificar que o processo de adição de um elétron nestes dois átomos não é energeticamente favorecido, pois o ânion possui uma energia mais negativa. No entanto o ânion He^{1-} (Ea = - 48 kJ/mol-1) com energia maior que o ânion Ne^{1-} (Ea = -116 kJ/mol^{-1}) terá o elétron adicionado mais fortemente atraído pelo núcleo, considerando que o He possui uma maior carga nuclear efetiva e que o elétron adicionado a este átomo entrará em um orbital pertencente a uma camada mais próxima do núcleo. Isto vai proporcionar uma maior estabilidade energética ao ânion He^{-} comparada com a do íon Ne^{1-} ."

DISCENTE (D9): "Ela expressa a diferença de energia entre um átomo gasoso e um íon gasoso a temperatura igual a 0 K; é a diferença de energia entre os átomos gasosos e seus respectivos íons, ou seja, quando um átomo ganha um elétron, se torna um ânion. A afinidade eletrônica é determinada, em grande parte, a partir da energia do orbital de fronteira de menor energia (ou orbital semipreenchido) do átomo no seu estado fundamental. A variação na tabela periódica da AE depende também da Z_{ef}."

Fonte: Autoria própria com dados dos registros documentais institucionais do componente curricular (2021).

Analisando o Quadro 8, pôde-se observar que os três discentes (D1, D3 e D4) não formularam qualquer discussão sobre esta situação problema referente à afinidade eletrônica no portfólio avaliativo. Também estiveram ausentes nas discussões demandadas pelo Docente no grupo de discussão deste componente curricular na rede social *Facebook*, comprometendo assim a compreensão destes estudantes sobre esta propriedade atômica. A ausência de participação dos mesmos sinaliza que eles não se comprometeram com o processo de ensino e aprendizagem, diante dos desafios demandados neste processo formativo, que podem ter contribuído para a ausência ou para a compreensão limitada deste modelo conceitual refletindo, assim, nos resultados avaliativos.

Já com relação ao discente D2, observa-se, a partir da sua construção textual no portfólio formativo, que ele elaborou respostas resumidas para os itens formulados pelo Docente nesta situação problema (Quadro 7). No entanto, são informações relevantes para este estudo. Inicialmente este Discente define afinidade eletrônica na perspectiva do modelo conceitual de Shriver *et al.* (2008) e aborda a questão termodinâmica dos valores desta propriedade atômica, fazendo uma análise qualitativa da estabilidade do íon monoatômico formado a partir do ganho de um

elétron pelo átomo neutro. Este discente não recorre a expressões matemáticas para fazer a análise energética. Isto pode evidenciar que existem dificuldades de aprendizagem referentes à matemática básica em questão, o que caracteriza a categoria de análise C3, elaborando uma abordagem qualitativa reproduzindo o modelo conceitual referenciado na situação problema.

Também relacionou, de forma correta os fatores que definem a variação periódica da AE citando: "*[...] raio atômico, carga nuclear efetiva e os orbitais de fronteira de um átomo "baseando-se* no mesmo referencial bibliográfico (SHRIVER *et al.*, 2008) sempre citado pelo por D2. Posteriormente explicou o porquê das afinidades eletrônicas dos elementos do Grupo 18 serem negativas, baseando-se nas configurações de camada fechada dos elementos deste Grupo "*[...] o elétron que chega ocupará um orbital de uma nova camada, já que a camada de valência dos elementos deste grupo está totalmente ocupada [...]"* desfavorecendo assim o processo de formação do ânion. Entretanto não justifica esses valores com base nos fatores da variação periódica destacados na sua resposta.

No entanto este Discente não consegue, nesta sua construção: (i) Descrever o modelo conceitual de AE de acordo com os diferentes referenciais bibliográficos referenciados pelo Docente de AE através de um modelo matemático e fazer uma análise comparativa entre eles. (ii) Estimar a partir dos valores da Afinidade Eletrônica definidos por Shiver *et al.* (2008) para os Gases Nobres (p. 448) quais seriam esses valores em concordância com o conceito de J. D. Lee (1999) para este parâmetro termodinâmico do átomo. (iii) Representar, na linguagem da Química, o processo de ganho do primeiro elétron dos elementos He e Ne; (iv) Explicar as diferenças nos valores das Afinidades Eletrônicas destes elementos com base na discussão elaborada por Ele. Neste aspecto, o pesquisador entende que D2 não compreende o modelo conceitual deste parâmetro termodinâmico e assim não consegue explicar a variação dos valores no Grupo 18, portanto se enquadra também na categoria C5.

Diante dessas dificuldades de aprendizagem do discente D2 evidencia-se que este discente não consegue compreender o real significado dos valores de AE para o processo do ganho de um elétron por um elemento do Grupo 18, limitando-se a reproduzir o conceito de forma qualitativa sem utilizar qualquer raciocínio matemático como uma ferramenta para uma melhor compreensão. Ao não recorrer ao modelo matemático para elaborar esta análise significa também que não sabe representar a nível simbólico o modelo conceitual. Mais uma vez fica evidenciado, corroborando

com Johnstone (2000, apud WARTHA *et al.*, 2011), que a falha na compreensão do conhecimento químico nestes níveis pode resultar nas dificuldades inerentes ao ensino e aprendizagem deste conceito, objeto de investigação neste estudo.

Por outro lado, o discente D5, aquele que contribuiu com um comentário no grupo de discussão e, após o *feedback* do Docente, abandonou a mesma descreveu o conceito de forma equivocada, se referindo à entalpia de ganho de elétron. Conforme já discutido anteriormente, Shriver *et al.* (2008, p. 52) chama a atenção dos estudantes sobre o erro observado em alguns referenciais bibliográficos que usam os conceitos de "afinidade eletrônica" e "entalpia de ganho de elétron" indiscriminadamente o que resulta em valores relativos divergentes dos citados pelos referenciais que levam em conta esta diferença conceitual. De forma aproximada deve-se considerar a seguinte relação entre estes dois parâmetros termodinâmicos: $\Delta_{ge}H^{\circ} = -AE$. Ambos se referem a variações de energia envolvidas no processo de ganho de elétron por um átomo neutro, mas essa diferença é calculada de forma inversa em função dos modelos conceituais de AE e entalpia.

Neste caso, D5 enquadra-se na categoria C2, pois sua interpretação diverge daquela mostrada pelo Autor acima citado, e que foi tomado como base conceitual neste estudo. Dessa forma, este Discente não compreende o próprio modelo conceitual enunciado por Shriver *et al.* (2008) e interpreta de maneira equivocada relacionando-o com o termo entalpia de ganho de elétron e não faz a análise termodinâmica dos valores negativos das AE para os elementos do Grupo 18.

É assim que Cassels e Johnstone (1985 apud SIRHAN, 2007, tradução nossa) afirmam que vocabulários desconhecidos ou técnicos da Química contribuem para as dificuldades de aprendizagem nesta Ciência, ainda sim, neste modelo conceitual existem alguns termos técnicos como entalpia de ganho, diferença de energia, átomo, íon, estado de agregação gasoso e isso é associado também com a linguagem abstrata da Química, fazendo assim com que a construção do conceito químico seja comprometida tanto pelo uso de termos técnicos como também pela abstração dos mesmo, como é bem discutido em Abraham *et al.*, 1992, 1994; Nakhleh, 1992 (apud SIRHAN, 2007, tradução nossa) em que os discentes devem inicialmente compreender os conceitos mais básicos para posteriormente fazer uso destes e analisar conceitos mais complexos incluindo a sua aplicação em determinado contexto.

Portanto, D5 apresenta uma série de dificuldades de aprendizagem que podem ser previstas pela abordagem que teve no grupo de discussão e na construção do portfólio, tais como a ausência de: fundamentação teórica matemática; abstração dos conceitos químicos e principalmente, a falta de significação destes pelo Discente. Vale a pena ressaltar que estas dificuldades podem ser minimizadas ou superadas com a orientação do Docente ao longo de todo processo formativo e durante a resolução de problemas desta natureza pelo próprio discente, pois percebeu-se aqui que D5 não se comprometeu com o seu próprio processo de aprendizagem, já que discutiu pouco no grupo do componente curricular e fez uma análise rasa do conceito no portfólio formativo.

O fato de D5 discutir pouco pode ainda estar relacionado com os fatores e motivações para o processo de ensino-aprendizagem da Química. Segundo Entwistle *et al.* (1994 apud SIRHAN, 2007, tradução nossa) existem fatores extrínsecos e intrínsecos que podem estar relacionados com essa motivação para aprender Química. Os fatores extrínsecos são aqueles associados ao fato de estudar somente para atingir os objetivos de uma avaliação pontual, enquanto que os intrínsecos estão relacionados com o gosto pela Ciência em questão, a curiosidade e o querer próprio. Vallerand e Bissonnette (1992 apud SIRHAN, 2007, tradução nossa) também traz o aprendizado dito amotivacional, aquele pelo qual não se tem objetivo nenhum de aprendizado.

Ainda assim, pressupõe-se que D5 é o discente que se enquadra no aprendizado amotivacional, pois não compreende o significado de estudar o modelo conceitual da AE e com isso perde o interesse pelo conceito, e posteriormente pelo componente curricular, que é deixado de lado pelo motivo do discente não dar significado aos conteúdos que são definidos na respectiva ementa.

Por outro lado, o discente D6 compilou somente as informações fornecidas nos referenciais bibliográficos do componente curricular, observando-se uma construção textual igual à da situação problema 6 (Quadro 7). Ou seja, não faz uma discussão sobre os itens colocados neste quadro e com isso não tem como verificar quais são as suas dificuldades de aprendizagem, já que nenhuma fala é de sua autoria. Pressupõe-se somente que este discente é mais um que não se compromete com seu processo de aprendizagem ou simplesmente é daqueles que se enquadram como amotivacionais para o estudo da Química, não vê sentido em estudar esta propriedade atômica e com isso não discutiu e somente referenciou os autores da ementa do

componente curricular. Acredita-se também que talvez o discente não tenha desenvolvido nenhum dos objetivos de aprendizagem referentes ao tópico de AE para o estudo dos elementos do Grupo 18.

O discente D7 traz em seu registro no portfólio avaliativo que AE é *"[...] a energia liberada quando um elétron é adicionado a um átomo neutro no estado gasoso"* enquadrando-se assim na categoria de análise C1 pois compreende apenas, e de forma equivocada, que o ganho do primeiro elétron por um átomo de um dado elemento químico é um processo exotérmico. Neste caso, é interessante a abordagem do discente em questão pelo fato de que nesta mesma questão a Docente além de citar a definição de Housecroft *et al.* (2013) demanda uma análise comparativa dos modelos conceituais de AE propostos por Shriver *et al.* (2008) e J. D. Lee (1999), mas D7 se atém apenas a esta interpretação conceitual. Isso pode sinalizar que as divergências conceituais observadas nos referenciais bibliográficos adotados no componente curricular podem ser precursoras das dificuldades inerentes ao processo de ensino-aprendizagem do modelo conceitual matemático e termodinâmico da afinidade eletrônica. Também pode ocorrer dificuldades dos discentes em compreender a importância da proposta pedagógica do Docente, neste contexto formativo diferenciado, ampliando o estudo além de um só referencial bibliográfico que exige tempo e disposição participativa dos discentes com avanços ou barreiras na metacognição.

Também pode-se considerar que, tendo em vista a interpretação dada por D7, talvez a definição de J. D. Lee (1999) faça mais sentido para o mesmo e por isso se atém somente a ela. Como este Autor define AE como a energia liberada em um processo de redução de um átomo, esse é um conceito mais simples de compreensão e que talvez tenha sido abordado dessa forma ao longo da Educação Básica e também nos componentes curriculares iniciais do referido Curso. Logo por conseguir dar mais significado a essa definição opta por fazer sua discussão baseando-se apenas nela.

Associado ao registro de D7, Sirhan *et al.* (2007, tradução nossa) afirma que a memória da capacidade de trabalho "é um *link* entre o que deve ser mantido na memória consciente e as atividades de processamento necessárias para manipulá-lo, transformá-lo, e prepará-lo para armazenamento na memória de longo prazo" é neste sentido que D7 pode associar o conceito de AE aqueles já pré-estabelecidos por ele anteriormente até este estágio atual da sua formação no referido Curso. Assim

compreende o processo do ganho de elétron por um átomo neutro como sendo exotérmico. A sobrecarga desta memória de capacidade de trabalho faz com que os discentes não consigam selecionar dentre todas as informações fornecidas, quais são aquelas tidas como principais e valiosas para seus estudos posteriores, e com isso se atém aos conceitos que já foram criados e estabelecidos na memória a longo prazo, fazendo assim com que não consiga desconstruir o que já é tido como um produto final em sua consciência, assim o conhecimento prévio e equivocado que D7 tem deste conceito é o produto final de seu processo de aprendizagem dando origem as dificuldades de aprendizagem da nova abordagem conceitual deste parâmetro atômico.

Todavia o discente D8, aquele que teve importantes contribuições no grupo de discussão, traz novamente em seus registros uma rica discussão dos objetivos de aprendizagem de AE aplicada aos elementos do Grupo 18. Ele responde de maneira pontual, quatro itens da situação problema posta no Quadro 8, contribuindo com seus argumentos. Comparando-se as argumentações dele nos dois momentos formativos (grupo de discussão no *Facebook* e no portfólio avaliativo) pode-se observar seu avanço cognitivo.

Portanto, D8 define de maneira correta o conceito matemático e termodinâmico de AE, descrevendo a representação a nível simbólico, como a diferença de energia, elaborando uma análise crítica e comparativa entre as definições de J. D. Lee (1999) e Shriver *et al*. (2008), destacando de maneira correta quais são os fatores que definem a variação dos valores da AE e de sua periodicidade, demonstrando a partir dos seus registros no portfólio avaliativo que houve um aprofundamento conceitual eficaz por parte deste Discente possibilitando ao mesmo fazer uma análise comparativa dos valores de AE para os elementos do Grupo 18, como destacado por Ele afirmando: *“[...] Após compreender como estes fatores podem influenciar na intensidade da afinidade eletrônica, torna-se mais fácil observar valores tabelados e identificar uma tendência nos respectivos valores.”*

Ainda com relação aos registros de D8, verifica-se que o mesmo, após compreender quais são os fatores que definem a variação dos valores de AE para os elementos do Grupo 18, consegue identificar quais as circunstâncias que dão origem as diferenças nos valores desta propriedade atômica para o hélio e o neônio, utilizando-se da carga nuclear efetiva e dos orbitais de fronteira para explicar o porquê de existirem essas diferenças. Por fim, este Discente traz uma análise comparativa

sobre a estabilidade termodinâmica na formação de íons dos elementos do Grupo 18, o que é de suma importância para esta pesquisa, pois o objetivo é de investigar quais as dificuldades de aprendizagem e compreensão do modelo conceitual matemático e termodinâmico da AE. Neste sentido, D8 consegue realmente explicar de maneira eficaz qual dos dois ânions formados é mais estável termodinamicamente através do formalismo matemático do próprio conceito em questão, como observou-se em seu registro reproduzido a seguir:

> *[...] analisando os valores das afinidades eletrônicas do He (Ea = - 48 kJ/mol^{-1}) e do Ne (Ea = -116 kJ/mol^{-1}) conclui-se que o ânion He^{1-} é energeticamente mais estável devido ao maior valor da sua afinidade eletrônica comparada com a do ânion Ne^{1-}. Analisando sob a ótica do formalismo matemático que define este parâmetro atômico [Ea = E(A, g) – E(A-, g)] pode-se verificar que o processo de adição de um elétron nestes dois átomos não é energeticamente favorecido, pois o ânion possui uma energia mais negativa. No entanto o ânion He^{1-} (Ea = - 48 kJ/mol^{-1}) com energia maior que o ânion Ne^{1-} (Ea = -116 kJ/mol^{-1}) terá o elétron adicionado mais fortemente atraído pelo núcleo, considerando que o He possui uma maior carga nuclear efetiva e que o elétron adicionado a este átomo entrará em um orbital pertencente a uma camada mais próxima do núcleo. Isto vai proporcionar uma maior estabilidade energética ao ânion He^{1-} comparada com a do íon Ne^{1-} (D8).*

É neste sentido que D8 compreende que o modelo conceitual de AE é também enunciado como um modelo matemático, consegue visualizar que valores negativos desta diferença de energia em termos de uma expressão matemática (Energia do átomo neutro menos a energia do ânion monovalente) implica que a energia do átomo neutro é menor que a do respectivo ânion. Portanto valores relativos maiores indicam a maior estabilidade energética do ânion formado. No caso do Grupo 18, com configuração de camada de valência fechada e estável, o elétron irá ocupar um orbital vazio de maior energia e blindado, justificando-se os valores negativos de AE dos He e Ne conseguindo explicar a maior estabilidade do ânion He^{1-} comparado os valores relativos das AE dos dois elementos e a maior proximidade do orbital de fronteira do núcleo do He.

Assim, analisando-se a construção textual do Discente D8 no portfólio avaliativo aplicando o modelo conceitual matemático da AE aos dois elementos do Grupo 18, hélio e neônio, e fazendo uma comparação dos seus registros no grupo de discussão no *Facebook*, pode-se observar um avanço significativo na aprendizagem deste discente ao longo desta formação. Quando se analisou inicialmente seus registros no grupo de discussão foi pontuado que D8 se enquadraria na categoria C5, ou seja, não

conseguia compreender como os fatores que definem a variação dos valores da AE interferiam no modelo matemático e termodinâmico, mas, na sua interpretação discursiva para os elementos do Grupo 18 no portfólio, observou-se que a dificuldade de aprendizagem inerente a essa categoria de análise foi solucionada e D8 conseguiu explicar os diferentes valores das AE para os elementos deste Grupo baseando-se nos parâmetros que definem a periodicidade destes valores. Além disso, conseguiu também compreender a nível simbólico o modelo conceitual e aprimorar sua fundamentação teórica matemática para estudo do conceito de AE, pois a questão da análise de estabilidade termodinâmica na formação de um íon é de natureza matemática quanto aos valores negativos e positivos, mas também de natureza qualitativa quanto aos fatores que contribuem para esses valores apresentarem esses sinais matemáticos associados a eles.

Neste contexto formativo, é possível pressupor que o avanço significativo da compreensão de D8 sobre o modelo matemático e termodinâmico da AE se deu por dois fatores: (i) O comprometimento do discente ao longo do processo formativo neste componente curricular. (ii) O *feedback* em tempo real do docente durante o processo formativo com a efetiva participação do discente D8, cujos registros já foram reproduzidos no Quadro 5. Neste processo formativo, o Docente, a partir da análise das elaborações textuais de D8 no grupo de discussão postou comentários com observações pertinentes para a melhor compreensão de D8 orientando-o sobre suas dúvidas ou equívocos conceituais possibilitando, assim, um avanço na sua compreensão sobre esta propriedade atômica. Ressalta-se que este avanço na compreensão de D8 foi favorecido, principalmente, pela sua participação efetiva nesta discussão dialógica com contribuição importante para que os objetivos específicos de aprendizagem estabelecidos pelo docente fossem alcançados. Estes objetivos específicos estão indicados no Quadro 9, a seguir:

Quadro 9: Objetivos específicos para o módulo do Grupo 18.

1. Conceituar: (i) carga nuclear e carga nuclear efetiva (ii) raio atômico covalente, metálico, iônico e de Van der Waals (iii) energia de ionização (iv) afinidade eletrônica (v) temperatura e entalpia de mudança de fase (vi) polarizabilidade. 2. Identificar as diferenças conceituais de afinidade eletrônica observadas nos referenciais teóricos (D. Lee; Shriver; Gold Book da IUPAC (http://goldbook.iupac.org/).

Fonte: Autoria própria com dados dos registros documentais institucionais do componente curricular (2021).

Portanto, considera-se que a metodologia formativa adotada pelo Docente introduzindo o *feedback* em tempo real, no contexto deste processo de ensino-aprendizagem, foi eficaz e favoreceu a evolução cognitiva deste discente que conseguiu alcançar os objetivos de aprendizagem postos pelo docente para este tópico, que é objeto de investigação neste estudo. Portanto trata-se de uma metodologia que pode contribuir com que as dificuldades observadas no processo de ensino-aprendizagem da afinidade eletrônica, para assim poderem ser identificadas, trabalhadas e resolvidas no término do processo, viabilizando assim a sua compreensão mais aprofundada.

Por fim, o discente D9 traz a definição conceitual de Shriver *et al.* (2008) conceituando esta propriedade atômica como sendo [...] *"a diferença de energia entre os átomos gasosos e seus respectivos íons, ou seja, quando um átomo ganha um elétron, se torna um ânion"* que evidencia a ideia do Autor de que este parâmetro atômico indica a diferença de energia entre estas duas entidades químicas relacionadas – o átomo neutro e seu ânion monovalente – mas não representa este conceito a nível simbólico e matemático e, consequentemente, não consegue interpretar as diferenças nos valores de AE para os elementos do Grupo 18. Isto fica evidente pois o Discente D9 não realizou nenhum comentário respondendo aos itens específicos desta situação problema que demandava esta interpretação. Assim, o Discente D9 foi enquadrado nas seguintes categorias de análise: C4 (dificuldade a nível simbólico) e C5 (não compreende os fatores que determinam a variação dos valores da AE), reforçando assim a ideia da importância da construção do conhecimento químico nos três níveis representacionais desta Ciência, o macroscópico, submiscroscópico e o simbólico (JOHNSTONE, 2000, apud WARTHA *et al.*, 2011).

Para encerrar esta discussão pode-se observar os relatos dos discentes que fazem uma avaliação autocrítica sobre o processo de ensino e aprendizagem da propriedade atômica afinidade eletrônica neste módulo do Grupo 18, descrito no Quadro 10.

Quadro 10: Avaliação autocrítica dos discentes sobre o ensino e aprendizado formativo no módulo do Grupo 18.

AUTOAVALIAÇÃO CRÍTICA DO DISCENTE (D1): “Se faz necessário uma autorreflexão na conduta dessa estudante que está se graduando em Licenciatura em Química, destacando fatores que precisam ser melhores explorados como participação no Grupo de discussão, aprofundamento nos conceitos que persistirem maior grau de dificuldade e maior planejamento de como maximizar as horas de estudos disponíveis.”

AUTOAVALIAÇÃO CRÍTICA DO DISCENTE (D2): “Foi parcialmente alcançado explicar a relação entre temperatura e entalpia de mudança de fase; o conceito de afinidade eletrônica; blindagem e penetração. Não foi alcançado explicar a estabilidade energética dos ânions formados com base na afinidade eletrônica.”

AUTOAVALIAÇÃO CRÍTICA DO DISCENTE (D3): “Particularmente, quanto eu alcancei até agora não foi satisfatório, uma vez que é a segunda vez que pago a disciplina e que na primeira prova obtive um resultado inferior a média. Mesmo sendo quase o dobro a primeira nota do semestre passando, ainda não é satisfatório. Sei completamente o que preciso fazer, como foi colocado na aba de plano de ação. Porém nada disso acontecerá se não houver dedicação total perante o assunto. Há uma necessidade gritante de interação maior. É notória a evolução, porém é necessário mais, não apenas para alcançar a média, mas para que o conhecimento possa realmente ser construído, sistematizado e trabalho de forma contínua. Pois não paramos de aprender quando acaba o período-aula, tudo deve ser contínuo.”

AUTOAVALIAÇÃO CRÍTICA DO DISCENTE (D5): “Mesmo me corrigindo em alguns conceitos, ainda sinto dificuldade em entender alguns tópicos desse assunto e por isso continuo ainda não ter muito bons resultados. Porém, continuarei a estudar durante o andamento desse componente curricular procurando sempre se aprofundar para que eu obtenha sucesso no processo de construção de aprendizagem.”

AUTOAVALIAÇÃO CRÍTICA DO DISCENTE (D6): “os objetivos parcialmente alcançados pela discente, foram conceituar carga nuclear efetiva, temperatura e entalpia de mudança de fase. Entretanto, a mesma sentiu muita dificuldade em conceituar e discutir sobre energia de ionização, afinidade eletrônica, raio covalente e os compostos de xenônio, os quais ela considera como objetivos não alcançados. A discente, embora com algumas dificuldades na compreensão de uma parte do conteúdo, conseguiu terminar a lista de situações problemas, proposta pela docente mediadora, mas não conseguiu alcançar o seu objetivo, o qual era a compreensão de todo o conteúdo. Faz-se necessário debater/perguntar mais no grupo de discussão para que as dúvidas não permaneçam, além de tomar, mais de uma vez, leitura do(s) capitulo(s) dos livros que contém o conteúdo proposto para que assim, os objetivos sejam alcançados.”

AUTOAVALIAÇÃO CRÍTICA DO DISCENTE (D7): “Acredito que o desempenho não foi tão efetivo, o método de estudo talvez precise ser revisto e melhorado, o tempo de estudo de 3 horas ao dia talvez tenha sido insuficiente para suprir as dificuldades em determinados assuntos, no entanto acredito que no estudo foi construído conhecimento tanto pelo estudo em casa como em sala de aula, porém como não foi trabalhada com regularidade a lista de exercícios isso pode ter tido um efeito negativo no resultado final da aprendizagem.”

AUTOAVALIAÇÃO CRÍTICA DO DISCENTE (D8): “Observa-se os objetivos estabelecidos pela docente, para este módulo da ementa deste componente curricular, e trabalhando os tópicos específicos nas situações problemas propostas, nota-se as facilidades e dificuldades encontradas pela discente. Os esclarecimentos sobre o módulo também se deram com os contatos feitos em sala de aula, através do grupo de discussão no Facebook,

e também nas interações com os referenciais indicados. A afinidade eletrônica, questionada em sala, no grupo de discussão, e também na lista, foi um dos tópicos que mais despertou dúvidas. Houve dificuldades em relacionar a teoria com o modelo matemático proposto por um dos referenciais, e também em momentos em que se precisaram relacionar fatores periódicos. Com isso, a discente considera este tópico como parcialmente alcançado. A satisfação está atrelada no processo de aprendizagem desse tópico. Observo que objetivos estabelecidos foram alcançados. Mas, não excluindo o fato de que alguns parâmetros do assunto me despertaram maior dificuldade de entendimento, devo trabalhar mais neles. Por exemplo, o momento de relacionar a estrutura de um composto com a sua estabilidade foi um objetivo considerado como não alcançado. Relacionar valores das energias de ionização com a reatividade de elementos do G18 também foi um objetivo considerado como não alcançado. Através de leituras e práticas de escrita sobre o assunto, e executando exercícios passados em sala e no livro, é possível diminuir os obstáculos presentes.”
AUTOAVALIAÇÃO CRÍTICA DO DISCENTE (D9): “Em síntese, avalio ter obtido um bom aprendizado quanto aos conceitos de carga nuclear, carga nuclear efetiva, raio atômico (covalente, iônico, metálico e de Van der Waals) precisando aprofundar um pouco o entendimento sobre os conceitos de: energia de ionização, afinidade eletrônica, temperatura e entalpia de mudança de fase e também polarizabilidade. Notei dificuldade no que se refere aos processos de síntese, e a formação dos compostos que envolvem os gases nobres. Nestes últimos a aprendizagem foi pouco significativa. Ciente das minhas possibilidades no caminho da aprendizagem percebi que não consegui assimilar todos os conceitos propostos; participar ativamente do grupo de discussão; responder a lista de exercícios na íntegra e consultar os referenciais teórico com mais assiduidade. Diante disso, me proponho a ser mais atento à leitura dos referencias, para assim obter um entendimento/compreensão/argumentação mais coerente e fundamentado; irei também rearranjar meus horários de estudo, de acordo com minha realidade para assim poder responder a lista de exercícios. Tenho que ter mais disciplina. Preciso participar mais das discussões do grupo e assim suprir muitas das minhas incompreensões.”

Fonte: Autoria própria com dados dos registros documentais institucionais do componente curricular (2021).

Portanto, como descrito nos relatos do Quadro 10 pode-se observar que o modelo matemático e termodinâmico da afinidade eletrônica é complexo e que exige um comprometimento maior por parte dos discentes para ser compreendido e atingir os objetivos postos pela docente neste processo formativo (Quadro 9). Nos relatos auto avaliativos dos discentes é notório que o conceito de afinidade eletrônica foi bastante evidenciado nas dificuldades de aprendizagem relacionadas por eles. Tratando-se de um modelo conceitual termodinâmico cuja compreensão perpassa pela sua representação matemática e resulta nestas dificuldades cognitivas destes discentes, considerando que os mesmos possuem dificuldades de aprendizagem relacionadas com a abstração do próprio modelo conceitual e a sua representação a nível simbólico, e também com relação a fundamentação teórica matemática, em termos de representar as afinidades eletrônicas por números que podem ser tanto

valores positivos como negativos pois trata-se de um modelo conceitual relativo a variação de energia entre o átomo nêutron e seu respectivo ânion monovalente.

É valido ressaltar também que diante destes relatos, o discente D8 deixa claro que o processo de *feedback* em tempo real no grupo de discussão do componente curricular e o parecer docente dado no portfólio são de exímia importância para o processo de ensino -aprendizagem, já que as dúvidas pontuais são postas no grupo e de prontidão o docente responde questionando e fazendo observações válidas sobre o processo. Logo, é uma alternativa metodológica para tratar essas dificuldades de aprendizagem geradas neste processo, para isso sendo necessário o maior comprometimento dos discentes, que deixam claro em seus relatos a necessidade de uma maior interação no grupo de discussão e de dedicar mais tempo para os estudos da ementa deste componente curricular.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho buscou investigar quais as dificuldades de aprendizagem do modelo conceitual matemático e termodinâmico do parâmetro atômico afinidade eletrônica, pelos discentes, num curso de formação docente em Química de uma universidade pública no Agreste de Pernambuco.

Inicialmente, realizou-se o levantamento dos dados do grupo de discussão na rede social *Facebook* do componente curricular Química Inorgânica I e posteriormente a categorização e análise dos mesmos. Foi constatado que os discentes não participaram de maneira ativa neste processo formativo o que ocasionou dificuldades no processo de aprendizagem dos mesmos, pelo fato de que este componente curricular ter como objetivo em seu plano de curso que o discente seja um sujeito ativo e autocrítico do seu próprio processo de ensino-aprendizagem, além de que é neste ambiente que ocorre o processo de *feedback* em tempo real dado pelo docente, onde ao longo desta pesquisa percebeu-se que há avanços cognitivos através desta mediação e os discentes conseguem compreender as dúvidas que surgem durante o processo.

Posteriormente, a partir da análise dos registros elaborados pelos discentes no portfólio formativo constatou-se que os discentes possuem dificuldades de aprendizagem ao que se refere as propriedades atômicas, dentre elas está o modelo conceitual matemático e termodinâmico da afinidade eletrônica. Ao analisar o Quadro 10, em que os discentes analisam com criticidade seu próprio processo de ensino e aprendizado, é valido destacar que deixam claro a dificuldade de relacionar a teoria/conceito com o modelo matemático em questão, para analisar a estabilidade energética dos ânions formados a partir dos valores tabelados de afinidade eletrônica.

Através dos resultados obtidos a partir das análises documentais, também foi constatado que os discentes não conseguem compreender principalmente a nível simbólico/representacional a relação entre o modelo conceitual e o modelo matemático, também é valido ressaltar que a análise qualitativa através dos parâmetros ou fatores que determinam a variação dos valores de AE (carga nuclear efetiva e orbitais de fronteira) é complexa e os discentes não diferem muito bem o conceito de entalpia de ganho de elétron e AE, fazendo assim uma análise superficial e sem sentido, enunciando o conceito de entalpia ao invés de AE.

Então, a problemática que se refere as dificuldades do processo de ensino e aprendizagem dos discentes neste modelo conceitual se deu principalmente em torno da compreensão a nível simbólico, pois além da teoria é necessário representar este conceito segundo um modelo matemático e através dele analisar os valores tabelados de AE prevendo assim a estabilidade energética dos ânions formados. Além disso, pôde ser observado que a divergência entre os modelos conceituais dos Autores analisados no referencial bibliográfico de AE também levam os discentes a desenvolverem estas dificuldades de aprendizagem, pois cada um enuncia o conceito de maneira diferente e isso também faz com que os discentes não consigam analisar e comparar de maneira crítica estes referenciais. Mas desenvolver na formação docente inicial estas habilidades e competências para fazer esta análise crítica comparativa representará um grande avanço na eficácia do processo de ensino e aprendizagem.

Através da análise destes resultados também pode-se concluir que esta pesquisa poderia ter tomado um viés diferente, como a contribuição do *feedback* formativo para o avanço cognitivo dos discentes em relação ao modelo conceitual em questão, ficando assim ideias para análises futuras. Este trabalho pode contribuir para que as dificuldades deste modelo conceitual sejam minimizadas o máximo possível através do uso de metodologias ativas de ensino e uma reestruturação da prática docente com relação aos objetivos de aprendizagem que se referem a este modelo conceitual, mostrando a sua relevância para a comunidade científica e estruturando suas aulas com metodologia que visem atender a estes objetivos para assim servir como potencial minimizadores destas dificuldades de aprendizagem, para assim solucionar a problemática que se refere ao aprendizado amotivacional por parte dos discentes.

Então, espera-se que os resultados desta pesquisa possam auxiliar os professores em sua prática docente a compreenderem quais as dificuldades de aprendizagem existentes com relação ao modelo conceitual em questão e através de reflexões, utilizar-se dos mesmos para elaborar aulas com uma metodologia que favoreça os discentes a compreenderem este modelo, principalmente com auxílio de ferramentas que possam favorecer a compreensão a nível simbólico.

REFERÊNCIAS

AMARAL, R. C. **Uma nova estratégia para o cálculo de afinidades eletrônicas**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciências área de concentração Físico-Química) – Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2015. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/75/75134/tde-07052015-111204/en.php>. Acesso: 10 de nov. de 2019.

BARBOSA, J. C. Modelagem e modelos matemáticos na educação científica. **Revista Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 2, n. 2, p. 69-85, jul., 2009.

CAMPOS, C. J. C. Método de análise de conteúdo: ferramenta para análise de dados qualitativos no campo da saúde. **Revista Brasileira de Enfermagem,** v. 57, n. 5, p. 611-614, set/out., 2004.

CAREGNATO, R. C. A.; MUTTI, R. Pesquisa qualitativa: análise de discurso versus análise de conteúdo. **Revista Texto e Contexto em Enfermagem,** v. 15, n. 4, p. 679-684, 2006.

HOUSECROFT, C. E.; SHARPE, A. G. **Inorganic Chemistry**. 4. ed. London: Pearson, 2012.

IUPAC. Gold Book, 2019. Compendium of Chemical Terminology. Disponível em: <https://goldbook.iupac.org/>. Acesso em: 10 de nov. de 2019.

JUSTI, R. Modelos e modelagem no ensino de química: um olhar sobre aspectos essenciais pouco discutidos. In: DOS SANTOS, W.L.P.; MALDANER, O. A. (Orgs.). **Ensino de Química em Foco**. Ijuí: Unijuí. 2010.

KIRKWOOD, V.; SYMINGTON, D. Lecturer perceptions of students difficulties in a first-year Chemistry course. **Journal of Chemical Education**, v. 73, n. 4, p. 339-343, 1996.

LEE, J. D. **Química Inorgânica não tão concisa**. Trad. 5. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1999.

LOPES, A. C. Os parâmetros curriculares nacionais para o ensino médio e a submissão ao mundo produtivo: o caso do conceito de contextualização. **Revista Educação e Sociedade**, v. 23, n. 80, p. 386-400, set., 2002.

MOREIRA, M. A. Modelos científicos, modelos mentais, modelagem computacional, e modelagem matemática: aspectos epistemológicos e implicações para o ensino. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 7, n. 2, p. 01-20, mai-ago., 2014.

PAULINO FILHO, J.; NUNEZ, I. B.; RAMALHO, B. L. Ensino por projetos: Uma alternativa para a construção de competências no aluno. In: NUNEZ, I. B.; RAMALHO, B. L. (orgs.). **Fundamentos do ensino-aprendizagem das ciências naturais e da matemática:** o novo ensino médio, Porto Alegre, editora Sulina,2004.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico**: Métodos e Técnicas da Pesquisa, 2ª edição, Rio Grande do Sul, 2013.

ROCHA, J. S.; VASCONCELOS, T.C. Dificuldades de aprendizagem no ensino de química. In: **XVIII Encontro Nacional de Ensino de Química**, Florianópolis - SC, UFSC, 2016.

SALVADOR, E. S.; GOMES, J. P.; OLIVEIRA, M. J. Periodicidade atômica: análise da aprendizagem dos alunos dos cursos de licenciatura em química e química industrial. In: **I** Congresso Nacional de Práticas Educativas - I COPRECIS, 2017, Campina Grande, PB. **Anais COPRECIS**. Campina Grande: Realize Eventos Científicos e Editora LTDA, 2017. v. 1.

SHRIVER, D. F.; ATKINS, P. W. **Química Inorgânica**. Trad. 4.ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.

SILVA, J. **As contribuições do feedback formativo para o entendimento conceitual das propriedades atômicas num curso de formação docente**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia) - Curso de Química-Licenciatura, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, PE, 2018.

SIRHAN, G. Learning difficulties in chemistry: an overview. **Journal of Turkish science education**, v. 4, n. 2, p. 2-20, 2007.

SOUZA, J. I. R.; LEITE, Q. S. S.; LEITE, B. S. Avaliação das dificuldades dos ingressos no curso de Licenciatura em Química no sertão Pernambucano. **Revista Docência em Ensino Superior,** v. 5, n. 1, p. 135-160, 2005.

TRASSI, R. S. M.; CASTELLANI, A. M.; GONÇALVES, J. E.; TOLEDO, E. A. Tabela periódica interativa: “um estímulo a compreensão”. **Revista Acta Scientiarum,** v. 23, n. 6, p. 1335-1339, 2001.

WARTHA, E. J.; REZENDE, D. B. Os níveis de representação no ensino de química e as categorias da semiótica de Peirce. **Revista Investigação em Ensino de Ciências**, v. 16, n. 2, p. 275-290, 2011.

ZAMBONI, G. **O ensino de propriedades periódicas através do lúdico**. 2013. 87 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2013. Disponível em: < https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/6659/6085.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 04 de abril de 2019.