



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE CIÊNCIAS

Campus de Bauru

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO PARA A CIÊNCIA

KÁTIA ANDREZA LOCATELLI

**O ENSINO DE QUÍMICA ORGÂNICA: LEVANTAMENTO DOS
PRÉ-REQUISITOS CONCEITUAIS E DAS DIFICULDADES DE
APRENDIZAGEM DOS ESTUDANTES NO ENSINO SUPERIOR.**

BAURU
2017

Kátia Andreza Locatelli

**O ENSINO DE QUÍMICA ORGÂNICA: LEVANTAMENTO DOS
PRÉ-REQUISITOS CONCEITUAIS E DAS DIFICULDADES DE
APRENDIZAGEM DOS ESTUDANTES NO ENSINO SUPERIOR.**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação em Educação para a Ciência da Faculdade de Ciências da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Bauru, como requisito final para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Sílvia Regina Quijadas Aro Zuliani

**BAURU
2017**

L811e	Locatelli, Kátia Andreza O Ensino de Química Orgânica: Levantamento dos pré-requisitos conceituais e das dificuldades de aprendizagem dos estudantes no Ensino Superior / Kátia Andreza Locatelli. -- Bauru, 2017 239 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências, Bauru Orientadora: Silvia Regina Quijadas Aro Zuliani 1. Dificuldades de aprendizagem. 2. Ensino de Química. 3. Formação de professores. I. Título.
-------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências, Bauru. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE KÁTIA ANDREZA LOCATELLI, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO PARA A CIÊNCIA, DA FACULDADE DE CIÊNCIAS - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 09 dias do mês de dezembro do ano de 2017, às 09:00 horas, no(a) Anfiteatro da Pós-graduação, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Profa. Dra. SILVIA REGINA QUIJADAS ARO ZULIANI - Orientador(a) do(a) Departamento de Educação / Faculdade de Ciências - UNESP - Bauru, Profa. Dra. MIRIAM POSSAR DO CARMO do(a) Pesquisadora Colaboradora / Universidade de São Paulo - USP, Prof. Dr. AMADEU MOURA BEGO do(a) Departamento de Química Geral e Inorgânica / Instituto de Química - UNESP - Araraquara, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de KÁTIA ANDREZA LOCATELLI, intitulada "**O Ensino de Química Orgânica: levantamento de pré-requisitos conceituais e das dificuldades de aprendizagem dos estudantes no ensino superior**". Após a exposição, a discente foi arguida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADA. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Profa. Dra. SILVIA REGINA QUIJADAS ARO ZULIANI

Profa. Dra. MIRIAM POSSAR DO CARMO

Prof. Dr. AMADEU MOURA BEGO

Dedico esse trabalho ao meu filho,
Álvaro, que está a caminho e já se
tornou a maior fonte de felicidade em
nossas vidas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente a Deus por sempre guiar minha vida. Quando houve vontade de desistir, por maior que fosse o cansaço, Ele me carregou, deu-me força e coragem para continuar, e ofereceu dois grandes ombros quando tudo parecia desmoronar: meu marido Bruno e minha amiga Silvia.

Agradecer ao orientador seria um tanto clichê para esse trabalho, afinal, foram muitos pormenores ao longo dessa grande caminhada no Mestrado. Por isso, quero expressar minha gratidão a uma “mulherzinha” com um coração de dois metros de altura, chamada Silvia Zuliani. Ela entrou em minha vida para ajudar, iluminar, guiar e ensinar que Deus nunca fecha uma porta sem abrir uma janela. Você sempre será minha janela, Zulis! Obrigada por tudo, principalmente por ser esse exemplo em nossas vidas e, certamente, será na vida do Alvinho.

Ao Bruno, meu marido, meu porto seguro e apoio desde o primeiro momento que cruzou meu caminho. Obrigada pelo companheirismo e amor ao longo de todos esses anos. Agradeço também por me apoiar, mesmo quando eu chegava em casa com outro cachorro!

À minha família – minha mãe Tereza, Miguel, Karina, Fabiano, Tata, Edson e Isa – que desde cedo me ensinaram a valorizar os estudos e correr atrás dos meus sonhos. Agradeço também ao meu pai Álvaro, minha madrinha Virgínia e meu padrinho Ângelo, que, além de todo ensinamento, sempre serão anjos em minha vida. Obrigada por continuarem sendo exemplo de luta e força de vontade, mesmo em outro plano. À família que ganhei, Josafá, Ana Vera, vó Ilda, obrigada por todas as energias positivas e orações.

Aos meus amigos queridos Sara, Camila, João, Jaque, Bill, Thamiris, XV, Larissa, Ana, Bem, Carol, Profa. Terezinha, agradeço por compreenderem minha ausência nos encontros, pelo carinho ao longo desses anos, pela paciência, pelas horas de risos e pelo apoio.

Ao Álvaro, que chegará nos próximos dias para nos ensinar o verdadeiro sentido da vida e o real significado do amor. Obrigada por ser a força que me move há 9 meses e que continuará a ser pelo resto da minha vida. Você é meu maior presente!

LOCATELLI, K. A. **O Ensino de Química Orgânica: Levantamento dos pré-requisitos conceituais e das dificuldades de aprendizagem dos estudantes no Ensino Superior**. 2017. 239f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência). Faculdade de Ciências, UNESP, Bauru, 2017.

RESUMO

Ao considerar as dificuldades existentes no processo de ensino e aprendizagem de Química, apresentamos uma discussão acerca da necessidade de conhecer os pré-requisitos conceituais e as dificuldades de aprendizagem dos estudantes mediante esses conceitos, uma vez que eles são a base para a construção de novos conhecimentos científicos. Este trabalho teve como objetivo elencar os pré-requisitos conceituais necessários para o processo de ensino e aprendizagem da disciplina de Química Orgânica, bem como proporcionar uma visão mais clara das possíveis dificuldades de aprendizagem presente na estrutura cognitiva dos estudantes. Para embasar esta análise, inicialmente elencamos quais deveriam ser os pré-requisitos conceituais para a disciplina de Química Orgânica apoiados na experiência de cinco docentes atuantes nesta área, a mais de cinco anos, que se propuseram a participar de entrevistas semiestruturadas, o que formulou nosso Instrumento de coleta de dados de número 1. Através da análise dessas entrevistas, pudemos identificar os seguintes conceitos: Ligação Química, Hibridização, Estabilidade dos compostos, Polaridade das ligações / Polaridade das moléculas, Teoria dos Orbitais Atômicos, Propriedades Periódicas (com ênfase na Eletronegatividade), Geometria Molecular, Atomística e Uso de Modelos. Posteriormente, elaboramos um segundo Instrumento de coleta de dados que era representado por um questionário com seis questões abertas, no qual os 61 participantes dessa pesquisa – todos alunos de cursos de Licenciatura e Bacharelado em Química que já haviam concluído as disciplinas de Química Geral e Inorgânica – puderam responder e apresentar seus conhecimentos científicos sobre dos pré-requisitos conceituais identificados previamente. Evidenciamos que apesar de compreenderem alguns conceitos científicos, uma grande parte dos estudantes apresentam dificuldades de aprendizagem e, em alguns casos, apresentam características em suas respostas de conceitos memorizados e/ou com o nível de profundidade semelhante ao estudado durante o Ensino Médio. Para que isso seja superado é de fundamental importância que os docentes que ministram essas disciplinas elaborem sequências didáticas que levem em conta essas dificuldades e a importância desses pré-requisitos, para que assim os estudantes consigam ultrapassar suas defasagens conceituais e tenham uma aprendizagem significativa.

Palavras-chave: Pré-requisito conceitual; Ensino de Química Orgânica; Dificuldades de aprendizagem.

LOCATELLI, K. A. **The Teaching of Organic Chemistry: Survey of the conceptual prerequisites and the learning difficulties of students in Higher Education**, 2017. 239f. Dissertation (Master's in Science Education). Faculdade de Ciências, UNESP, Bauru, 2017.

ABSTRACT

In considering the difficulties existing in the teaching and learning process of Chemistry, we present a discussion about the necessity of understanding the conceptual prerequisites and the learning difficulties students face with these concepts, as they form the foundation for building new scientific knowledge. This study aimed to identify the conceptual prerequisites necessary for the teaching and learning process of Organic Chemistry and to provide a clearer view of the potential learning difficulties present in students' cognitive structures. To support this analysis, we first identified the conceptual prerequisites for the Organic Chemistry course based on the experience of five educators with over five years of experience in this area, who participated in semi-structured interviews. These interviews formed our Data Collection Instrument Number 1. Through the analysis of these interviews, we identified the following concepts: Chemical Bonding, Hybridization, Compound Stability, Bond Polarity / Molecular Polarity, Atomic Orbital Theory, Periodic Properties (with emphasis on Electronegativity), Molecular Geometry, Atomic Theory, and the Use of Models. Subsequently, we developed a second Data Collection Instrument in the form of a questionnaire with six open-ended questions. The 61 participants in this research—students from undergraduate and bachelor's Chemistry programs who had completed General and Inorganic Chemistry courses—were able to respond and present their scientific knowledge about the previously identified conceptual prerequisites. We found that, although students understood some scientific concepts, a large number exhibited learning difficulties. In some cases, their responses reflected memorized concepts and/or a level of depth similar to what was studied during High School. To overcome this, it is crucial for instructors teaching these courses to develop didactic sequences that address these difficulties and the importance of these prerequisites, enabling students to bridge their conceptual gaps and achieve meaningful learning.

Keywords: Prerequisite conceptual; Teaching of Organic Chemistry; Learning difficulties.

Lista de Figuras

Figura 1. Esquema de interpretação do pré-requisito Ligações Químicas mediante a análise do Instrumento 1.	122
Figura 2. Demonstração dos tipos de Geometria Molecular proposto em um livro de Química Inorgânica.	153
Figura 3. Representação para o complexo quadrado-planar $[\text{Pd}(\text{SCN})_2(\text{HdmPz})_2]$	154
Figura 4. Contribuintes para a formação de um híbrido de ressonância.	156

Lista de Gráficos

Gráfico 1. Número de estudantes aprovados e reprovados no período de 10 anos de uma Universidade Pública da cidade de Bauru na disciplina de Química Orgânica.....	23
Gráfico 2. Histograma de aprovações e reprovações dos estudantes do curso de Química Orgânica I durante os anos de 2006 a 2016.	26
Gráfico 3. Histograma de aprovações e reprovações dos estudantes do curso de Química Orgânica II durante os anos de 2006 a 2016.	27
Gráfico 4. Histograma de aprovações e reprovações dos estudantes do curso de Química Orgânica III durante os anos de 2006 a 2016.	28
Gráfico 5. Resultado obtido na análise inicial da Questão 1 mediante os níveis de adequação das explicações dos alunos.	125
Gráfico 6. Nível de adequação global das explicações dos participantes – Questão 1.....	130
Gráfico 7. Índice de caracterização das unidades complementares de identificação dos conceitos para a explicações parcialmente adequadas.....	134
Gráfico 8. Resultado obtido na análise inicial da Questão 2 mediante os níveis de adequação das explicações dos alunos.	140
Gráfico 9. Nível de adequação global das explicações dos participantes – Questão 2.....	148
Gráfico 10. Índice de caracterização das unidades complementares de identificação dos conceitos para as explicações parcialmente adequadas....	157

Lista de Quadros

Quadro 1. Conteúdo programático das subdivisões da disciplina de Química Orgânica de uma Universidade pública de Bauru de acordo com seu Projeto Político Pedagógico.....	24
Quadro 2. Conceitos identificados para revisão durante o curso de Química Orgânica.....	62
Quadro 3. Objetivos das questões do Instrumento 1 (Entrevista com os docentes)	68
Quadro 4. Questões elaboradas para o Instrumento 2 com seus respectivos pré-requisitos associados e o objetivo esperado para cada questão.	71
Quadro 5. Inter-relação entre os pré-requisitos conceituais, as questões do Instrumento 2 e seus objetivos.....	73
Quadro 6. Apresentação das disciplinas da área de Química juntamente com os pré-requisitos conceituais apontados neste estudo para o processo de aprendizagem da área de Química Orgânica.....	76
Quadro 7. Localização das Universidades e número de participantes no momento da aplicação do Instrumento 2 dessa pesquisa.....	78
Quadro 8. Formação e área de atuação dos docentes entrevistados para a elaboração do Instrumento 2.....	84
Quadro 9. Formação e área de atuação dos docentes que auxiliaram respondendo o Instrumento 2.....	85
Quadro 10. Nível de adequação das respostas dos participantes da pesquisa e seus critérios de enquadramento.	88
Quadro 11. Análise do Conteúdo para identificação dos níveis de aprofundamento das respostas ao Instrumento 2.	91
Quadro 12. Classificação dos níveis de compreensão da explicação em relação aos níveis de adequação das respostas dos participantes da pesquisa.	92
Quadro 13. Valores atribuídos para cada unidade complementar mediante cada questão do Instrumento 2.....	93
Quadro 14. Categoria e unidades complementares elencadas através da análise das entrevistas com os docentes para a questão 1.	96
Quadro 15. Categoria e unidades complementares elencadas através da análise das entrevistas com os docentes para a questão 2.	103

Quadro 16. Unidades de sentido levantadas nas entrevistas dos professores para a questão 4.	116
Quadro 17. Comparação entre conceitos necessários a aprendizagem de química orgânica, os pré-requisitos conceituais para a aprendizagem da disciplina e também de ressonância.	121
Quadro 18. Conceitos elencados como pré-requisitos para a aprendizagem de conceitos de Química Orgânica.	122
Quadro 19. Exemplo de análise inicial para quatro respostas dos estudantes mediante a questão 1 do Instrumento 2.	123
Quadro 20. Resultado obtido na análise inicial da Questão 1.	125
Quadro 21. Características determinadas para a identificação das unidades complementares dos conceitos.	127
Quadro 22. Exemplo de caracterização das unidades complementares de identificação dos conceitos e formulação do índice de alusão dessas unidades.	129
Quadro 23. Exemplo de análise inicial para cinco respostas dos estudantes mediante a questão 2 do Instrumento 2.	139
Quadro 24. Resultado obtido na análise inicial da Questão 2.	140
Quadro 25. Características determinadas para a identificação das unidades complementares dos conceitos.	144
Quadro 26. Exemplo de caracterização das unidades complementares de identificação dos conceitos e formulação do índice de alusão dessas unidades.	146
Quadro 27. Possíveis exemplos de híbridos de ressonância propostos durante a explicação da Questão 2.	155

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 JUSTIFICATIVA	20
3 REFERENCIAL TEÓRICO	31
3.1 Aprender Ciências e a Aprendizagem Significativa	31
3.2 As concepções alternativas e a mudança conceitual	42
3.3 Dificuldades de aprendizagem em Química	48
4. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO	65
4.1 Instrumento de Coleta de Dados	66
4.1.1 Levantamento dos pré-requisitos – Realização das entrevistas	66
4.1.2 Elaboração do questionário	69
4.2 A escolha dos Participantes da Pesquisa e Coleta de Dados.	75
4.3 A Análise de dados	79
4.3.1 A análise do conteúdo	79
4.3.2 A análise do Instrumento 1 – Entrevistas	83
4.3.3 Níveis de adequação das respostas dos participantes	84
5. ANÁLISE DE DADOS	95
5.1 Análise do Instrumento 1	95
5.2 Análise do Instrumento 2	123
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	163
REFERÊNCIAS	168
APÊNDICE A – Autorização e termo do Comitê de Ética	177
APÊNDICE B – Instrumento 2	180
APÊNDICE C – Categorização inicial das explicações dos participantes nos Níveis de Adquação – Questão 1 e 2	181
APÊNDICE D – Categorização dos níveis de adequação pós análise das Unidades Complementares de identificação dos Conceitos – Questão 1 e 2	201

APÊNDICE E – Cálculos do índice de alusão às Unidades complementares de identificação dos Conceitos (Respostas Parcialmente adequadas na primeira análise – Questão 1 e 2	224
APÊNDICE F – Exemplos de Questionários respondido pelos participantes	228
APÊNDICE G - Apresentação das disciplinas da área dura de Química juntamente com os pré-requisitos conceituais apontados neste estudo para o ensino do conceito de Ressonância.	231
APÊNDICE H – Comparativo dos pré-requisitos elencados pelo Instrumento 1 nas questões 1, 2 e 4.	239

1 INTRODUÇÃO

Muitas vezes nos deparamos com uma infinidade de pesquisas científicas na área do Ensino de Ciências que apresentam metodologias e até estratégias para um ensino coerente e eficaz. O objetivo quase sempre é superar uma aprendizagem memorística, de modo que seja atribuído um real significado ao que se está aprendendo, despertando a curiosidade e a paixão pelo ato de aprender aos estudantes.

Ao longo de meus estudos no Ensino Médio fui apresentada apenas ao método de ensino tradicional e, como uma aluna hiperativa e comunicativa, sempre questionava a necessidade de tal aprendizagem tão decorada e chata.

Anos seguintes, ao iniciar meus estudos no curso superior, percebi que nada havia mudado no modo de ensino. Na realidade afirmo que estava um pouco pior para mim, uma vez que adorava tudo sobre Ciência, mas que conteúdos de Química só me foram apresentados no terceiro ano do Ensino Médio. De uma hora para outra fui parar em um curso no qual os professores falavam sobre a equação de Schrödinger e eu, além de mal conhecer Rutherford, me martirizava questionando como esse tal Schrödinger poderia colocar um gato em uma caixa.

Não foi nada fácil, tive que aprender o básico enquanto várias avaliações com um conteúdo muito avançado aconteciam concomitantemente.

Acredito que não seja necessário dizer que o pensamento em desistir era grande. Poucos professores se importavam com suas dúvidas e na maioria das vezes não pensavam que você nunca havia visto aquele conceito. No segundo ano do curso, ao dar início a uma Iniciação Científica, pude desenvolver um novo olhar para a Química, aprendendo também alguns conceitos na prática e mais individualizado, tendo a possibilidade de tirar algumas dúvidas diretamente com meu orientador ou alunos de anos superiores.

O tempo passou, aprofundi o conhecimento científico, as dificuldades com os conceitos básicos ficaram para trás e começaram as disciplinas que eu mais gostava: Química Orgânica. Ainda era um semestre estudando nomenclatura? Outro estudando mecanismos de reações que são tabeladas? Novamente o método de ensino tradicional e 32 alunos na sala memorizando

movimentos de elétrons e setas-curvas. Foi muito decepcionante, porém, por gostar muito da área, fui tentada a buscar mais informações e aprofundar meus estudos em alguns pontos que poderiam ajudar o meu processo de aprendizagem dessa disciplina.

Nos anos finais, ao começar os estudos nas disciplinas pedagógicas, tive uma oportunidade de compreender que as aulas não necessitavam ser daquele modo engessado, no qual fui sempre apresentada. Comecei a aprender que existiam diferentes maneiras de se ensinar, buscando um resultado efetivo para os processos de ensino e aprendizagem. Nesse momento surgiu uma fagulha de interesse por uma educação inovadora, mas ao ouvir tanto sobre a parte “desgastante” da Educação no Brasil, essa fagulha praticamente se perdeu.

No último ano do curso, ao iniciar meus estudos na disciplina de Bioquímica, observei vários amigos necessitando de ajuda por não compreenderem interações moleculares, por exemplo, no entanto, essas interações pareciam óbvias para mim, já que eu havia estudado aquilo nos livros de Química Orgânica nas horas vagas, além deles, em livros de Química Geral e Inorgânica, para assim compreender conceitos com uma visão holística.

Nesse momento percebi que a minha formação, na área que eu gostava muito, era diferente da dos meus amigos e, juntamente às aulas das disciplinas da área de Educação, pude compreender que a diferença estava no fato de que eu havia aprendido conceitos ao invés de memorizá-los. Desse modo, as dificuldades de alguns amigos não significavam dificuldades para mim.

Nesse ponto a fagulha ressurgiu, mas como uma fogueira dessa vez. Vi que meu caminho seria a Educação, por mais desgastante ou qualquer outro adjetivo empregado para defini-la, gostaria de fazer a diferença na formação de jovens na Ciência, permitindo processos de ensino e aprendizagem longe da memorização.

Ao deparar com a possibilidade dessa pesquisa, elenquei alguns pontos que gostaria de unir:

- 1- Química Orgânica.
- 2- Método tradicional de ensino.
- 3- Dificuldades dos meus amigos.
- 4- Uma pesquisa inédita.

Ao iniciar uma breve pesquisa na literatura existente, notei a ausência de estudos sobre o ensino de Química Orgânica, o que nos motivou ainda mais, uma vez que faltavam informações para o preparo de aulas que causassem satisfação para alunos e professores.

Levando em consideração a necessidade de uma aprendizagem significativa (Ausubel, 2003) dos conceitos estudados nessa disciplina e o número de colegas de sala que apresentavam dificuldades para compreendê-la, começamos uma busca literária para compreender qual seria o foco principal da nossa pesquisa.

Durante esse processo de busca, tive a oportunidade de participar de uma disciplina com o professor Jenaro Guisasola Aranzabal, da Universidade do País Basco (San Sebastian, Espanha), e pude conhecer mais sobre sua linha de pesquisa. Todavia, o Professor Jenaro atuava na área de Física e, sendo assim, nos auxiliou para contato com o professor Carles Furió-Más, uma referência em estudos na área de Ensino de Química na Espanha.

Vários estudos do professor Carles Furió-Más foram referência para elaborarmos essa pesquisa, principalmente um trabalho publicado por Rafael Azcona, Carles Furió-Más, Socorro Intxausti e Alejandro Álvarez, de 2004, com o título “¿Es posible aprender los cambios químicos sin comprender qué es una sustancia? Importancia de los prerrequisitos”. Neste trabalho, os autores se questionam se existe a possibilidade de que os estudantes compreendam as transformações químicas, tanto no nível macroscópico quanto no microscópico, sem o conhecimento ou com defasagens conceituais sobre o conceito de substância. Aqui sobressai um grande ponto dessa pesquisa: a importância dos pré-requisitos conceituais.

Os autores apontam que quando se trata de ensino, com o objetivo de auxiliar a compreensão dos conceitos científicos que serão estudados, o professor necessita elaborar, estrategicamente, uma sequência didática de conteúdos que levem em conta as concepções dos estudantes sobre os conceitos científicos e sobre seus conhecimentos em relação aos pré-requisitos conceituais.

Os pré-requisitos conceituais denominados nessa pesquisa são entendidos como os conceitos gerais já estudado pelos estudantes, que servem como base para o entendimento do novo conceito. Ausubel chama esses pré-

requisitos conceituais de conhecimento *subsunçor* ou *subsunçores*. Para o autor, de modo geral, quando há aquisição de novos conceitos há uma interação entre o conteúdo aprendido com o subsunçor do estudante, ou seja, seu conhecimento prévio, modificando ambos, tornando o produto final do processo diferente do que se existia e diferente do que se foi aprendido.

Conhecendo os pré-requisitos conceituais dos conteúdos estudados, uma análise epistemológica pode auxiliar o professor durante os processos de ensino e aprendizagem, uma vez que ele poderá prever as dificuldades de aprendizagem dos estudantes que já foram relatadas por outros estudos. Assim, a sequência didática deve explorar os pré-requisitos de modo que as dificuldades dos estudantes sejam conhecidas pelo professor e assim superadas, possibilitando realmente uma aprendizagem significativa.

Partindo dessa referência, podemos observar, por uma busca na literatura, que a disciplina Química Orgânica carece de estudos relacionados aos processos de ensino e aprendizagem e, deste modo, obtivemos um novo foco de estudo, focalizando a ideia geral sobre *“o que deveríamos saber para estudar Química Orgânica?”*.

Considerando nosso estudo de referência, partimos do princípio de que o estudo de todo conceito deveria apresentar um ou mais pré-requisitos conceituais, que seriam levados em conta durante os processos de ensino e aprendizagem. Desse modo, propusemos que em vez de estudarmos um conceito em específico da área proposta, resolvemos estudar os pré-requisitos para aprender a Química Orgânica como um todo.

Com essas informações, teríamos uma visão mais ampla do que era importante para a disciplina e, em seguida, teríamos subsídio suficiente para elaborar uma sequência didática que buscasse superar as dificuldades encontradas na disciplina, não somente para um conceito especificamente, mas sim para diversos conceitos estudados nessa área.

Desse modo, formulamos duas questões de pesquisa para esse trabalho:

1. *Quais conhecimentos considerados pré-requisitos para o estudo de Química Orgânica, apontados por especialistas da área no nível superior, devem estar presentes na estrutura conceitual dos alunos no momento de iniciar seu estudo?*

2. Podemos elencar quais as principais dificuldades dos alunos em relação aos pré-requisitos conceituais em categorias explicativas?

Para elencar os pré-requisitos conceituais para o estudo de Química Orgânica propusemos a elaboração de um instrumento de coleta de dados (Instrumento 1) que seria uma entrevista semiestruturada com docentes especialistas da área, que ministrassem aulas nesse componente há mais de cinco anos.

Utilizando a metodologia da Análise do Conteúdo de Bardin (1977), após a análise do Instrumento 1, obtivemos subsídio para elaborar um segundo instrumento de coleta de dados, chamado nesse trabalho de Instrumento 2, no qual elaboramos seis questões abertas, validadas por três autores, sendo que dois deles eram nossa principal referência nessa pesquisa: Carles Furió-Mas, Socorro Intxausti e Jenaro Guisasola Aranzabal.

Após validado, buscamos Universidades que autorizassem sua aplicação. Assim, ao analisar esses questionários utilizando a Análise do Conteúdo proposta por Bardin (1977), pudemos obter dados suficientes para responder as questões dessa pesquisa.

Vale ressaltar que essa pesquisa foi dividida em duas partes: a primeira foi direcionada a elencar os pré-requisitos conceituais necessários para a compreensão dos conceitos trabalhados em Química Orgânica e, a segunda, buscava categorizar as dificuldades observadas dos estudantes no momento da sua explicação para as seis questões propostas, para que fosse possível, além de confirmar a existência de dificuldades de aprendizagem, elencá-las e categorizá-las quanto ao nível de adequação ao conceito.

Assim, esta pesquisa apresenta no capítulo 1 a motivação pessoal pela escolha do tema, bem como a sua apresentação. Em seguida, no capítulo 2, uma breve justificativa de interesse para a área de Ensino de Ciências.

No capítulo 3 se apresenta a fundamentação teórica, a qual aborda alguns pressupostos que apoiam o entendimento de como se perfaz o processo de aprendizagem significativa e a maneira na qual os estudantes constroem conceitos científicos, bem como uma breve revisão bibliográfica das dificuldades de aprendizagem em Química já apresentadas na literatura.

No capítulo 4 está descrita toda a metodologia desta pesquisa, os instrumentos utilizados, os colaboradores da pesquisa, o processo de coleta de dados e a metodologia de análise utilizada em cada instrumento.

O capítulo 5, por sua vez, encontra-se a análise dos Instrumentos 1 e 2, considerando os níveis de adequação das respostas dos estudantes, bem como a identificação das dificuldades de aprendizagem. Já no capítulo 6, são apresentadas nossas considerações finais sobre o desenvolvimento dessa pesquisa e, ao final, encontram-se as referências bibliográficas e os apêndices.

2 JUSTIFICATIVA

Devido à complexidade do mundo contemporâneo, necessitamos formar cidadãos que possuam capacidade de compreender os fenômenos que os cercam e interferir de forma crítica e contextualizada na tomada de decisões sobre o seu cotidiano. Essas capacidades devem ser estabelecidas tomando como partida um ensino que privilegie as interações sociais que podem ser vividas na escola e de recursos e estratégias que necessitem de uma participação ativa do aluno, sendo este o principal responsável da construção do seu conhecimento, da sua formação como cidadão (Amaral; Xavier; Maciel, 2009). Com este quadro, a Ciência pode ser utilizada como uma forma de proporcionar em um sentido mais amplo, uma melhor interpretação do mundo natural e tecnológico, ao mesmo tempo tendo em mente a construção de atitudes cidadãs (Paixão; Cachapuz, 2003).

Nesta convicção de que a Educação em Ciência pode favorecer a formação de cidadãos mais cultos e mais informados, tornando-se assim mais críticos, Paixão e Cachapuz (2003, p. 31) afirmam que:

[...] a sua finalidade deve ser ensinar alguma coisa acerca do corpo de conhecimentos da Ciência, alguma coisa acerca dos processos pelos quais o conhecimento científico é produzido e alguma coisa acerca das relações sociais e tecnológicas da Ciência.

No ensino de Ciências, muitos professores confiam que os alunos irão adquirir uma familiarização com teorias, conceitos e modelos científicos em um nível de profundidade no qual será possível o uso desse conhecimento para elaboração de explicações para fenômenos do dia a dia e para a reprodução de explicações convencionais (Stefani; Tsaparlis, 2009). Os processos de ensino e aprendizagem de conceitos científicos passaram a ser um problema para os professores a partir do instante que foi constatado que a aprendizagem dos alunos não estava de acordo com a esperada pelos docentes, já que altas taxas de erros eram visualizadas nos resultados das avaliações por parte desses estudantes, ou seja, a repetição dos conhecimentos científicos não era o bastante para compreender esse conceito e aplicá-lo à prática.

Deste modo, uma área que vem consolidando-se ao longo dos anos é a didática das ciências, cujo principal objetivo é o estudo de processos de ensino e aprendizagem, visando não apenas a formação de um futuro cientista, mas sim a formação de um cidadão alfabetizado cientificamente e crítico na tomada de decisões em relação ao mundo moderno (Souza, 2006) a fim de exercer sua cidadania. Esse exercício implica diretamente na participação ativa desse aluno na sociedade, ou seja, no usufruto e na produção de bens e valores de um âmbito social e no direito de falar e ser ouvido pelos demais indivíduos (Brasil, 1998).

Em 1998, Pórlan, enfatizava que a didática das ciências apresenta problemas e paradoxos ao se tratar das ciências sociais e experimentais, apesar de já tê-la caracterizada como uma disciplina emergente e prática, uma vez que seus problemas fazem referência à educação científica.

Tratando-se de uma disciplina emergente e em constante evolução, Souza (2006, p. 3-4) afirma que,

[...] a educação em ciência utilizou, nas últimas décadas, diversos modelos de ensino e de aprendizagem. Tais modelos influenciaram os objectivos do ensino das ciências que privilegiavam a formação de “cientistas”, procurando agora formar “cidadãos” com conhecimento científico suficiente para intervir no mundo e serem cada vez mais exigentes quanto a estas capacidades e conhecimentos.

Cachapuz, Praia e Jorge (2002), compreendem essa evolução como uma mudança na perspectiva de ensino, apesar de reconhecerem que essas perspectivas são ainda distantes das adotadas por muitos educadores.

Considerando a necessidade de muitas transformações no ensino, a utilização de abordagens mais específicas advindas da pesquisa em ensino, não são capazes de facilitar os processos de ensino e aprendizagem, já que a aprendizagem de ciências é complexa. Mesmo com o surgimento de inúmeros resultados de pesquisa que podem ser utilizados para melhorar a qualidade do ensino, a inclusão destas propostas no desenvolvimento dos currículos ainda é muito pequena.

O Ensino de Ciências se mantém num modelo tradicional em sua grande maioria, onde as diferentes disciplinas abordam seus temas e conteúdo com uma didática muito frágil (Oki; Moradillo, 2008). Para não nos afastarmos do Ensino de Química, Maroja (2007), indica que o professor de Química ainda valoriza, modelos que ressaltam fórmulas e a memorização de conceitos.

Chamizo (2001) descreve que praticamente todos os professores de Química, assumem um currículo geral que os estudantes necessitam aprender: assume-se que a Química é uma ciência e independentemente do nível escolar, o estudante aprende que toda a matéria é constituída por átomos e moléculas, que existem transformações (sejam elas químicas ou físicas), e podemos observá-las através das reações químicas.

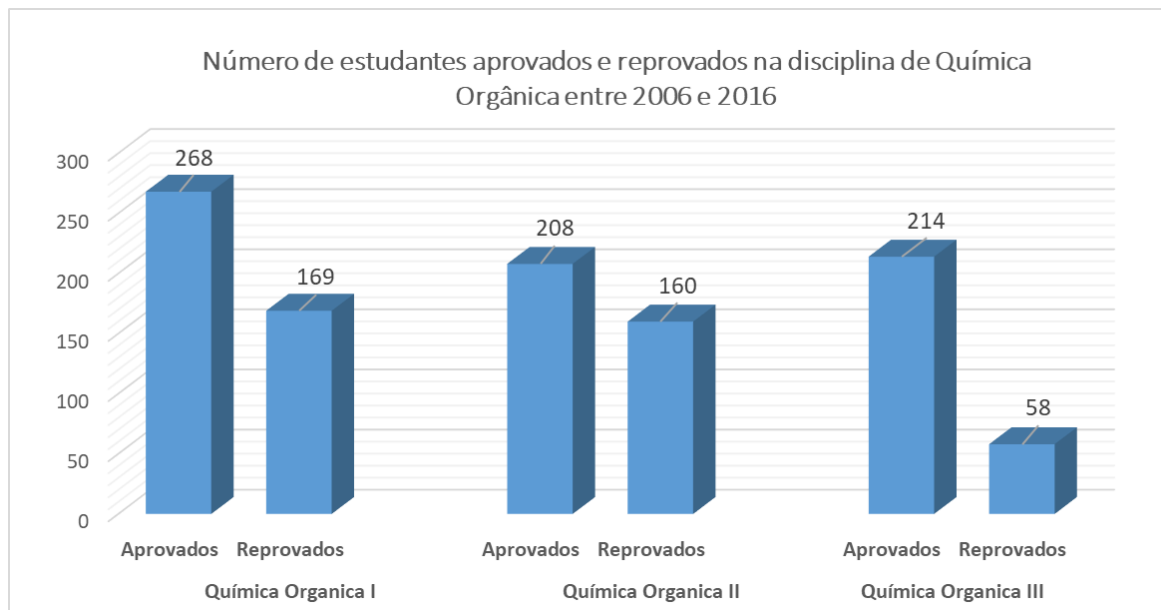
Quando tratamos da área de Química Orgânica o processo não é diferente. Leal (2006) considera como ponto crucial para a partida do estudo dessa área que, a grande área de Química, não dá devida importância para o currículo de Química Orgânica presente no Ensino Médio, algo totalmente incoerente, “uma vez que a Química Orgânica está presente todos os dias nas mais variadas situações” (p. 1) e continua afirmando que “é possível referir, sem exagero, que a Química Orgânica é parte integrante da vida, logo, faz todo o sentido conhecer mais e melhor esta área da Química” (p. 1).

Apesar de tamanha importância da disciplina no Ensino Médio e de que a maioria dos cursos de Ensino Superior apresenta, no mínimo, 10 meses de estudo de seus conceitos, na literatura podemos observar uma escassez de trabalhos relacionados ao ensino e à aprendizagem dos conceitos estudados na Química Orgânica, além do fato de ser uma disciplina com elevados níveis de reprovação por ser classificada como uma área de grande dificuldade (Roque; Silva, 2008).

Ao analisar a afirmação de Roque e Silva (2008), sobre ser uma área de grande dificuldade, solicitamos informações junto a uma Universidade Pública na cidade de Bauru quanto ao índice de reprovação na disciplina Química Orgânica naquela instituição. O Gráfico 1 apresenta os dados referente ao número de alunos aprovados e reprovados na disciplina ao longo de 10 anos, ou seja, de 2006 a 2016.

É fundamental ressaltar que nessa Universidade a disciplina é subdividida em 3 níveis, sendo eles denominados como: Química Orgânica I, Química Orgânica II e Química Orgânica III, totalizando 180 horas de aulas, com duração de três semestres.

Gráfico 1. Número de estudantes aprovados e reprovados no período de 10 anos de uma Universidade Pública da cidade de Bauru na disciplina de Química Orgânica.



Fonte: a autora.

É interessante ressaltar, conforme podemos observar no Gráfico 1, que para subdivisões da Química Orgânica nessa Universidade temos um índice percentual diferente de reprovações, sendo aproximadamente:

Química Orgânica I: 39% dos alunos reprovados;

Química Orgânica II: 43% dos alunos reprovados;

Química Orgânica III: 21% dos alunos reprovados.

Cada uma dessas subdivisões apresenta um conteúdo programático específico e no Quadro 1 apresentamos esse conteúdo retirado do Projeto Político-Pedagógico (PPP) do curso em questão.

Quadro 1. Conteúdo programático das subdivisões da disciplina de Química Orgânica de uma Universidade pública de Bauru de acordo com seu Projeto Político Pedagógico.

Disciplina	Conteúdo Programático
Química Orgânica I	1 – A QUÍMICA DO ÁTOMO DE CARBONO: Compostos Orgânicos e Compostos Inorgânicos; Carbono e a Vida; O Átomo de Carbono: configuração eletrônica e comparação com outros elementos da Tabela Periódica; Ligações dos átomos de carbono: Hibridação e seus aspectos mais importantes. 2 – ASPECTOS FÍSICO E QUÍMICOS DE MOLÉCULAS ORGÂNICAS E INTRODUÇÃO AOS MECANISMOS DE REAÇÕES: Interações intermoleculares de moléculas orgânicas; Tipos de Reações Orgânicas; Como as Reações Orgânicas Ocorrem. Setas curvas; Descrevendo uma reação; 3– ALCANOS E CICLO-ALCANOS: Nomenclatura dos Alcanos e Ciclo-Alcanos segundo IUPAC; Propriedades Físicas; Estudos conformacionais de alcanos e cicloalcanos; Reações de cloração e bromação de alcanos e cicloalcanos; Fatores que determinam a distribuição do produto; Princípio da reatividade-seletividade. 4– ALCENOS, ALCADIENOS E ALCINOS: Fontes de obtenção e importância; Nomenclatura IUPAC; Propriedades físicas; Estabilidade de alkenos e alcinos e calor de hidrogenação. Alkenos: Isomeria Cis-Trans e sistema E/Z; Estabilidade de alkenos e alcinos e calor de hidrogenação. Estabilidade dos alcadienos; O fenômeno da Ressonância; Acidez de alkenos, alcinos e alcadienos. Carbocátions; Estudo dos mecanismos das principais reações. 5 – ESTEREOQUÍMICA: Definição de Isomeria Ótica; Definição de Enantiômeros; Polarímetro e a isomeria ótica; Mistura Racêmica e Racemização; Nomenclatura D e L; Nomenclatura R e S; 6 – HALETOS DE ALQUILA: Fontes de obtenção e importância; Nomenclatura IUPAC; Propriedades físicas; Estudo dos mecanismos das principais reações dos haletos de alquila. 7 – ALCÓÓIS, ÉTERES E MOLÉCULAS QUE CONTEM ENXOFRE: Fontes de obtenção e importância; Nomenclatura IUPAC; Propriedades físicas; Estudo dos mecanismos das principais reações.
Química Orgânica II	1 – BENZENO E AROMATICIDADE: Fontes de obtenção e importância; Nomenclatura de benzenos substituídos segundo IUPAC; Critérios para aromaticidade e antiaromaticidade; Consequências químicas da aromaticidade; Estudo dos mecanismos das principais reações com o Benzeno; Efeitos dos substituintes na orientação e reatividade; Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos. 2 – ÁCIDOS CARBOXÍLICOS, ANIDRIDOS DE ÁCIDOS, HALETOS DE ACILA, ÉSTERES E AMIDAS: Fontes de obtenção e importância; Nomenclatura IUPAC; Propriedades físicas; Como reagem os derivados de ácidos carboxílicos; Estudos dos mecanismos das principais reações; Sabões, detergentes e micelas; 3 – ALDEÍDOS E CETONAS: Fontes de obtenção e importância; Nomenclatura IUPAC; Propriedades físicas; Estudos dos mecanismos das principais reações; 4 – REAÇÕES DE SUBSTITUIÇÃO ALFA À CARBONILA: Tautomerismo ceto-enólico; Reatividade de enóis; Halogenação alfa de aldeídos e cetonas; Bromação alfa de ácidos carboxílicos: a reação de Hell-Volhard-Zelinskii; Acidez dos átomos de hidrogênio alfa: formação de íons enolato; Reatividade dos íons enolato; Alquilação dos íons enolato; 5 - REAÇÕES DE CONDENSAÇÃO DE CARBONILA: Condensação de carbonila: a reação aldólica; Condensação de carbonila versus substituição alfa; Desidratação de produtos aldólicos: síntese de enonas; Utilizando reações aldólicas em sínteses;

	Reações aldólicas cruzadas; Reações aldólicas intra-moleculares; A reação de condensação de Claisen; Condensações cruzadas de Claisen; Condensações de Claisen intramoleculares: a ciclização de Dieckmann; Adições de carbonila conjugadas: a reação de Michael; Condensações de carbonila com enaminas: a reação de Stork; A reação de anelação de Robinson; Algumas reações biológicas de condensação de carbonila. 6 - REAÇÕES DE OXIDAÇÃO E REDUÇÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS: Conceito de reações de oxidação e redução; Reações de redução; Oxidação de alcoóis; Oxidação de aldeídos e cetonas; Oxidação de Alcenos com perácidos; Hidroxilação de alcenos; Clivagem oxidativa de 1,2-dióis, alcenos e alcinos; Reações biológicas de oxidação e redução. 7 - AMINAS E SUBSTÂNCIAS HETEROCÍCLICAS: Fontes de obtenção e importância; Nomenclatura IUPAC; Inversão de aminas; Propriedades físicas; Propriedades ácido-base; Estudos dos mecanismos das principais reações de aminas; Heterociclos aromáticos de anéis de cinco e seis membros;
Química Orgânica III	1 - ORBITAIS E QUÍMICA ORGÂNICA: REAÇÕES PERICÍCLICAS: Orbitais moleculares e reações Pericíclicas em sistemas conjugados PI; Reações eletrocíclicas; Estereoquímicas das reações eletrocíclicas térmicas; Reações fotoquímicas eletrocíclicas; Reações de cicloadição; A estereoquímica das cicloadições; Rearranjos sigmatrópicos; Um resumo das regras para reações pericíclicas. 2 - INTRODUÇÃO À FILOSOFIA E À PRÁTICA DE SÍNTESES ORGÂNICAS: Transformações de Grupos Funcionais de Compostos Alifáticos; Aumento e Diminuição da Cadeia de Carbonos; O Conceito de Grupo de Proteção; Transformação de Grupos Funcionais Simples de Compostos Aromáticos. Retrossíntese. 3 - POLÍMEROS SINTÉTICOS: Polímeros de crescimento de cadeia; Estereoquímica da polimerização: catalisadores Ziegler-Natta; Copolímeros; Polímeros de crescimento por etapas; Propriedades físicas e estrutura do polímero; Polímeros biodegradáveis. 4 - TERPENOS E PRODUTOS NATURAIS: A Origem das Gorduras; Terpenos: Classificação e Origem; Terpenos mais Complexos; Os Carotenóides; Colesterol, O Ésteróide Básico; Outros Produtos Naturais Derivados do Ácido Acético; Compostos Fenólicos; Alcaloides. 5 - ANÁLISE ORGÂNICA: - Espectroscopia no Infravermelho; Teoria da absorção de energia na região do Infravermelho; Equipamento e preparação de amostras; Absorções características de compostos orgânicos; Interpretação de espectros. - Espectrometria de Massas; Teoria da espectrometria de massas; Equipamento e preparação de amostras; Processos de ionização; Principais padrões de fragmentação e rearranjo; Interpretação de espectros. - Espectroscopia de Ressonância Magnética Nuclear; Espectroscopia de Ressonância Magnética Nuclear de ^1H: Teoria do processo, equipamento, deslocamentos químicos e acoplamentos SPIN-SPIN, interpretação de espectros; Espectroscopia de Ressonância Magnética Nuclear de ^{13}C: Teoria do processo, deslocamento químico, interpretação de espectros.

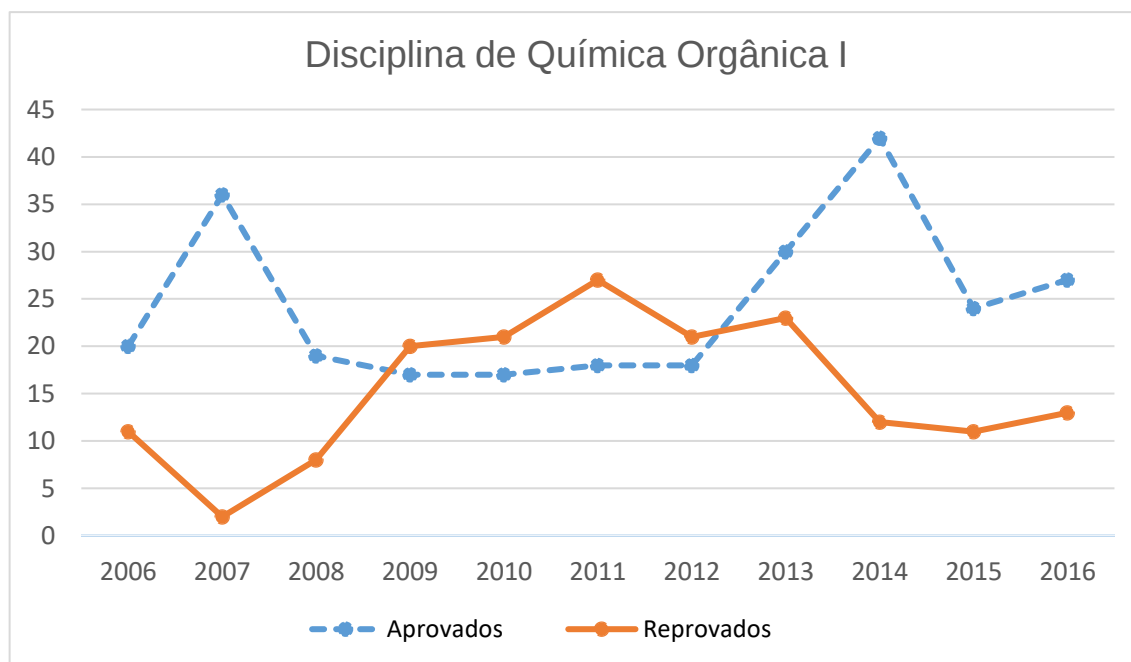
Fonte: a autora, com base no PPP do curso.

Através da análise dos conteúdos descritos no Quadro 1, podemos observar que a grande maioria desses conteúdos estão ligados diretamente a conceitos estudados em disciplinas anteriormente, como é o caso de Ligações Químicas (aprendido no Ensino Médio e teoricamente revisto e aprofundado em Química Geral). Somente compreendendo o conceito de Ligação Química será possível entender a ligação existente entre os átomos de Carbono, diferenciando assim o caráter das ligações química existentes e a importância da hibridização do átomo em questão.

E não para por aí, outros conceitos de Química Geral podem ser elencados rapidamente, até por uma análise desleixada, do Quadro 1, tais como Propriedades Periódicas, Forças Intermoleculares, Acidez e Basicidade, tornam-se importantes para o estudo dos conteúdos de Química Orgânica I e II.

Com base nos dados obtidos sobre os alunos aprovados e reprovados da Universidade Pública da cidade de Bauru, considerando uma década do aproveitamento da disciplina, pudemos elaborar também outros três gráficos, apresentando mais detalhadamente o número de estudantes aprovados e reprovados anualmente. Cada gráfico equivale a uma subdivisão da área de Química Orgânica naquela Universidade.

Gráfico 2. Histograma de aprovações e reprovações dos estudantes do curso de Química Orgânica I durante os anos de 2006 a 2016.

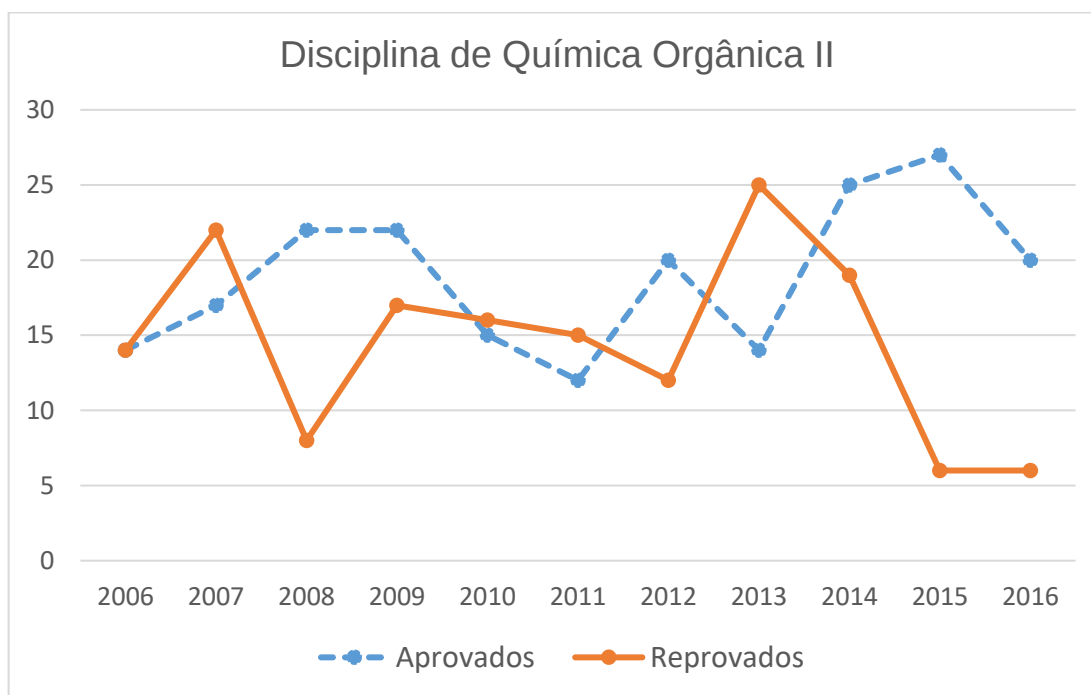


Fonte: a autora.

Através da análise do Gráfico 2, observa-se que o ano de 2007 apresentou o menor índice de reprovações, no entanto, após esse período as aprovações

apresentaram uma queda considerável, aumentando gradativamente as reprovações até 2011. É muito interessante notar nesse gráfico que nos anos de 2009 a 2012 o número de alunos reprovados na disciplina Química Orgânica I foi maior que o número de alunos aprovados.

Gráfico 3. Histograma de aprovações e reprovações dos estudantes do curso de Química Orgânica II durante os anos de 2006 a 2016.

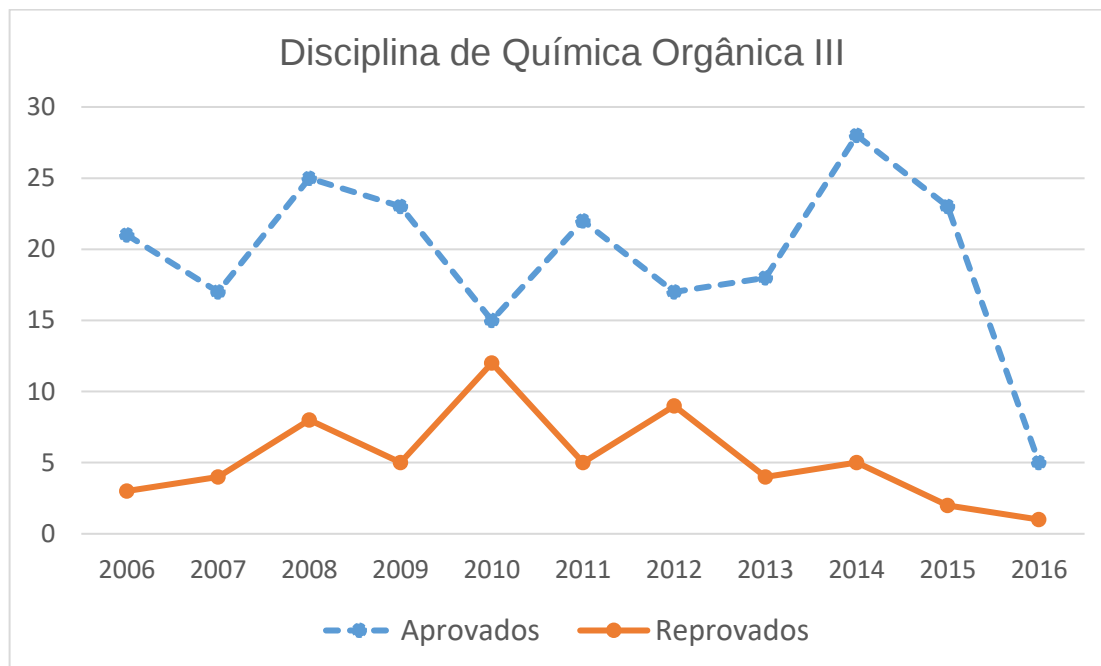


Fonte: a autora.

O Gráfico 3 nos mostra que há constantes variações entre o número de estudantes aprovados e reprovados ao longo desses 10 anos em Química Orgânica II. Nos anos de 2007, 2010, 2011 e 2013 o número de alunos reprovados é maior que o número de alunos aprovados na disciplina, já nos anos de 2015 e 2016 o número de estudantes reprovados foi constante, apesar de ter um menor número de alunos matriculados no último ano mencionado.

Quando falamos sobre a disciplina de Química Orgânica III, os dados estão apresentados no Gráfico 4, e parece-nos que não há tamanha variação de reprovações e aprovações como vimos nas disciplinas anteriores.

Gráfico 4. Histograma de aprovações e reprovações dos estudantes do curso de Química Orgânica III durante os anos de 2006 a 2016.



Fonte: a autora.

Apesar dos valores variarem, os anos de 2010 e 2016 vemos uma proximidade muito grande entre o número de alunos reprovados com os aprovados. Outro ponto para ressaltar é que em 2016 somente 6 alunos foram matriculados na disciplina. No mais, podemos observar que as reprovações são sempre menores que as aprovações, diferente do que vimos nos Gráficos 2 e 3.

Existem diversas variáveis que podem gerar os dados aqui apresentados, como por exemplo o método de ensino empregado pelo docente, a troca de professores especialistas em cada disciplina, um número elevado de alunos em uma sala de aula, as condições do ambiente de estudo e equipamentos utilizados durante as aulas, entre outros. No entanto, torna-se necessário ressaltar que os docentes especialistas não estão sendo avaliados nessa pesquisa, nem a metodologia de ensino utilizadas por eles.

Desse modo, avaliando esse alto nível de reprovação – se considerarmos as três subdivisões da Química Orgânica temos um índice de aproximadamente 40% de reprovação – o vasto conteúdo estudado na disciplina (Quadro 1) e a escassez de trabalhos existentes na literatura, voltamos o foco dessa pesquisa para a área de Química Orgânica e quais seriam os motivos desses valores tão exorbitantes nas reprovações.

Devido à complexidade da sala de aula o problema pode estar associado a diversos fatores que já foram comentados, no entanto, um fato que poderia ser atribuído a esse alto índice de reprovações seria a presença de dificuldades de aprendizagem dos estudantes em relação aos conceitos iniciais do estudo da área, esses conceitos aqui chamados de pré-requisitos. Essa possibilidade justificaria o alto número de reprovações em Química Orgânica I e II, além da diminuição aparente desses valores em Química Orgânica III.

Os resultados apresentados nos motivaram para a realização dessa pesquisa, buscando o entendimento do real motivo pelo qual existe um valor tão elevado de reprovações.

No início das atividades para a realização desta pesquisa, deparamo-nos com os seguintes questionamentos: Por que os alunos apresentam tamanha dificuldade em entender os conceitos da disciplina Química Orgânica? Podemos encontrar subsídios na literatura para a melhoria do processo de ensino e aprendizagem em Química Orgânica? Existem conceitos, chamados na literatura de pré-requisitos, que podem auxiliar o entendimento do conteúdo trabalhado nessa disciplina? Os professores têm conhecimento da necessidade desses conceitos ditos como pré-requisitos? Os pré-requisitos são levados em conta pelos docentes no momento da elaboração de uma sequência didática?

Estes questionamentos nos motivaram na elaboração desse estudo, no entanto, ao observarmos sua extensão, iniciamos esta pesquisa como principal objetivo de investigar, através do uso de entrevistas e questionários, as dificuldades de aprendizagem que os alunos dos cursos de Licenciatura em Química apresentam em relação aos conceitos classificados como pré-requisitos para o estudo dos conceitos discutidos em Química Orgânica.

Deste modo, formulamos as seguintes questões de pesquisa:

- 1. Quais conhecimentos considerados pré-requisitos para o estudo de Química Orgânica, apontados por especialistas da área no nível superior, devem estar presentes na estrutura conceitual dos alunos no momento de iniciar seu estudo?*
- 2. Podemos elencar quais as principais dificuldades dos alunos em relação aos pré-requisitos conceituais em categorias explicativas?*

No capítulo a seguir, abordamos alguns fundamentos teóricos e a organização desta pesquisa. Começamos pelo seu enquadramento geral na Educação para a Ciência e como se dá a aprendizagem de conceitos avançando para o Ensino de Química, e encaminhando ao cerne deste estudo, a área de Ensino de Química Orgânica.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Aprender Ciências e a Aprendizagem Significativa

Ao dar início ao estudo das dificuldades de aprendizagem, nos deparamos com uma pergunta feita por Pozo e Crespo (2009), logo no primeiro capítulo de seu livro “A aprendizagem e o Ensino de Ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico”, onde os autores questionam o “Por que os alunos não aprendem a Ciência que lhes é ensinada?” (p. 14). No decorrer desse primeiro capítulo, os autores apontam a frustração de muitos docentes em relação ao processo de ensino, pois os estudantes aprendem cada vez menos e demonstram menos interesse nesse processo.

Os autores apontam algumas dificuldades conceituais que os alunos apresentam, indicando assim a existência de concepções muito persistentes na estrutura cognitiva do aluno, no entanto, essas não são as únicas dificuldades. Muitos alunos apresentam dificuldade no uso de estratégias de raciocínio e na resolução de problemas específicos do trabalho científico.

Para os autores,

[...] outras vezes o problema é que eles sabem fazer as coisas, mas não entendem o que estão fazendo e portanto, não conseguem explicá-las nem aplicá-las em novas situações. Esse é um déficit muito comum. Mesmo quando os professores acreditam que seus alunos aprenderam algo – e de fato comprovam esse aprendizado por meio de uma avaliação –, o que foi aprendido se dilui ou se torna difuso rapidamente quando se trata de aplicar esse conhecimento a um problema ou situação nova, ou assim que se pede ao aluno uma explicação sobre o que ele está fazendo (p. 16).

Para os autores, essas e outras dificuldades são consequências do cotidiano das escolas, no qual os alunos são colocados para resolver tarefas rotineiras e delimitadas ao invés de serem desafiados com verdadeiros problemas com conteúdo científicos.

Essa perda de sentido do conhecimento científico não só limita sua utilidade ou aplicabilidade por parte dos alunos, mas também seu interesse ou relevância. De fato, como consequência do ensino recebido os alunos adotam atitudes inadequadas ou mesmo incompatíveis com os próprios fins da ciência, que se traduzem, sobretudo em uma falta de motivação ou interesse pela aprendizagem desta disciplina, além de uma escassa valorização e seus saberes [...] (p. 17)

Além do que já foi exposto, os autores prosseguem explicando que há a falta de interesse. Os alunos estão mais suscetíveis a apresentar posturas incoerentes com o ambiente escolar, pois passam a

[...] assumir atitudes inadequadas com respeito ao trabalho científico, assumindo posições passivas, esperando respostas em vez de dá-las, e muito menos são capazes de fazer eles mesmos as perguntas; também tendem a conceber os experimentos como “demonstrações” e não como pesquisas; a assumir que o trabalho intelectual é uma atividade individual e não cooperação e busca conjunta; [...] (p. 18).

E complementam

Portanto, a educação científica também deveria promover e modificar certas atitudes dos alunos, algo que normalmente não consegue, em parte porque os professores de ciências não costumam considerar que a educação em atitudes faça parte de seus objetivos e conteúdos essenciais – apesar de, paradoxalmente, as atitudes dos alunos nas salas de aula geralmente serem um dos elementos mais incômodos e agressivos para o trabalho de muitos professores (p. 18).

Desse modo, para os autores, não é estranho quando há um retorno ao ensino de conteúdos por formatos tradicionais da própria educação científica, assumindo uma postura contrária à proposta construtivista sugerida pela Reforma Educacional¹, recorrendo assim a métodos e formatos educacionais conhecidos que “durante décadas cumpriram de forma mais ou menos adequada sua função social” (p. 19).

A escola tradicional surgiu com a vinda dos sistemas nacionais de ensino, na qual se constituía a educação como um direito para todos e uma obrigação para o Estado, auxiliando assim a construção de uma sociedade democrática. Segundo Saviani:

Como as iniciativas cabiam ao professor, o essencial era contar com um professor razoavelmente bem preparado. Assim, as escolas eram organizadas em forma de classes, cada uma contando com um professor que expunha as lições que os alunos seguiam atentamente e aplicava os exercícios que os alunos deveriam realizar disciplinadamente. (Saviani, 1991. p. 18)

Vale ressaltar que a escola tradicional ainda existe com seus pressupostos presos ao passado, ou seja, ela parte do fato que a “inteligência é uma faculdade que

¹*Reforma Educacional Espanhola*: Na década de 1980 houve um movimento coletivo dos professores do país que buscavam mudanças em seu sistema educativo e este movimento recebeu o nome de Movimento de Renovação Pedagógica que, com o retorno às experiências das Escolas de Verão, culminou a Reforma Educativa (Ludke, Moreira e Cunha, 1999). Essa reforma admitiu como uma opção a perspectiva psicológica do construtivismo piagetiano o que cessou com a luta dos professores e, em documentos relacionados a orientação curricular, consideram que o sistema educacional espanhol iniciou em 1990 (Contreras, 1999).

torna o homem capaz de armazenar informações, das mais simples às mais complexas” (Leão, 1999, p. 190). Ou seja, nas escolas tradicionais, o conhecimento do indivíduo possui apenas um caráter cumulativo, o qual é adquirido pelo aluno através de uma transmissão de conhecimento, realizada exclusivamente na unidade escolar através dos anos de estudo. Para Mizukami (1986, p. 11),

[...] atribui-se ao sujeito um papel irrelevante na elaboração e aquisição do conhecimento. Ao indivíduo que está adquirindo conhecimento compete memorizar definições, enunciados de leis, sínteses e resumos que lhe são oferecidos no processo de educação formal [...]

Por outro lado ao considerar a escola construtivista, devemos ressaltar que o “construtivismo não é um método” (Leão, 1999, p. 195), muito menos uma técnica, é uma postura que leva em conta o processo de aquisição de conhecimento.

Construtivismo significa isto: a ideia de que nada, a rigor, está pronto, acabado, e de que, especificamente, o conhecimento não é dado, em nenhuma instância, como algo terminado. Ele se constitui pela interação do indivíduo com o meio físico e social, com o simbolismo humano, com o mundo das relações sociais; e se constitui por força de sua ação e não por qualquer dotação prévia, na bagagem hereditária ou no meio, de tal modo que podemos afirmar que antes da ação não há psiquismo nem consciência e, muito menos, pensamento. (Becker, 1993. p.88 *apud* Leão, 1999, p. 195)

Uma característica principal da visão construtivista de ensino é o fato de encarar a aprendizagem como uma construção do indivíduo, própria, na qual esse indivíduo é o centro do processo de ensino, não mais o professor (Leão, 1999).

Quando tratamos do tema construtivista, não temos como não citar Piaget, que é o mais importante teórico desse tema, sendo que para ele, o desenvolvimento é resultado de combinações entre as situações oferecidas pelo meio que o indivíduo está inserido juntamente com o que ele traz (Leão, 1999).

Leão (1999, p. 201), expõe que

Piaget não foi um educador como muitos ainda hoje pensam e sua obra destinada à educação não é extensa se comparada a outros temas. Mesmo assim, ele deixou contribuições incalculáveis quando conseguimos interpretar sua obra com vistas à prática escolar. Para ele a educação deve possibilitar à criança o desenvolvimento amplo e dinâmico desde o período sensório-motor até o período operatório abstrato. A escola deve levar em consideração os esquemas de assimilação da criança e partir deles. Deve favorecer a realização de atividades desafiadoras que provoquem desequilíbrio (“conflitos cognitivos”) e reequilibrações sucessivas, para que promovam a descoberta e a construção do conhecimento.

É vital que a escola reconheça nessa construção do conhecimento infantil que as concepções das crianças (ou hipóteses) combinam-se às informações provenientes do meio. Assim, o conhecimento não é concebido apenas como espontaneamente descoberto pela criança, nem como mecanicamente transmitido pelo meio exterior ou pelo adulto, mas como resultado dessa interação na qual o indivíduo é sempre ativo. Contrariando todas as formas de modismos educacionais, Piaget efetivamente elabora uma teoria do conhecimento e não um método de ensino.

O papel do professor, ao atuar pedagogicamente é de extrema importância, uma vez que ele se comporta como um mediador de todo o processo de aprendizagem, ou seja, ele irá proporcionar a interação com os alunos e os conceitos e também entre os próprios alunos. No entanto, para isso, o professor deve compreender e aceitar que sua função não será mais o centro do saber, ou seja, do ensino e da aprendizagem, mas sim que esses processos se dão através da interação com os demais, sendo o próprio professor incluso no meio.

Pozo e Crespo (2009) descrevem que a ideia primordial do enfoque construtivista “é que aprender e ensinar, longe de serem meros processos de repetição e acumulação de conhecimentos, implicam transformar a mente de quem aprende” (p. 20).

Não é o bastante ensinar um número gigantesco de conteúdos, sendo classificados como tudo muito relevante, a eficácia da educação científica só será mensurada mediante o que o aluno realmente conseguiu aprender e assimilar. Deste modo, os métodos, os conteúdos e as metas de Ensino de Ciências devem tomar como um ponto de partida não só o saber da disciplina que será ensinado, mas todas as características, como: a quem esse ensino será conduzido e a demanda educacional e social que esse ensino deve contemplar (Pozo; Crespo, 2009).

Relacionando as metas que se deve assumir, Pozo e Crespo (2009) apontam uma que em especial necessita-se chamar atenção: a “aprendizagem de conceitos e a construção de modelos” (p. 27). Nessa meta a atenção deverá ser voltada para “a superação das dificuldades de compreensão” (p. 27) que o aluno apresente, sendo necessário que os alunos tenham entendimento dos conteúdos conceituais, dos mais simples aos mais específicos, até que esse aluno possa estruturar seus conhecimentos de acordo com a estruturação da própria ciência.

A compreensão de conceitos científicos por parte dos alunos é um processo realmente difícil e, para isso, necessitamos de estratégias didáticas que sejam especificamente formuladas para tal.

Se temos a intenção de ensinar ciências como um conjunto de fatos ou como um sistema de conceitos, devemos pensar em diferentes atividades de ensino, métodos avaliativos, etc.. Para Pozo e Crespo (2009),

[...] o ensino dos conteúdos conceituais tende a estar orientado, hoje em dia, mais para a compreensão do que para a mera acumulação de dados. Mas dentro dessa aprendizagem de conceitos é possível estabelecer, por sua vez, uma diferença entre os princípios ou conceitos estruturais de uma disciplina e os conceitos específicos. (p. 79)

Para os autores, os princípios seriam aqueles conceitos gerais que envolvem um alto nível de abstração. É com muita dificuldade que se é possível compreender conceitos mais específicos sem o domínio desses princípios, o que torna uma das últimas metas desse processo, ou seja, a assimilação desses princípios mais abstratos, no entanto, isso só se torna possível “por meio dos conteúdos mais específicos, dos conceitos e dados” (p. 80).

Pozo e Crespo (2009, p. 80) se questionam sobre a necessidade de se ensinar “dados” aos alunos, e analisam que

[...] todos nós tivemos que aprender, ou pelo menos estudar, intermináveis listas, ladainhas de fórmulas e símbolos químicos, mas também afluentes pela direita e pela esquerda, capitais de países remotos, a maior parte dos quais não existem mais. O que aconteceu com aquele saber verbal? Não estão sendo relegados certos conteúdos básicos para conseguir outros objetivos, como a construção de certos conteúdos conceituais por parte dos alunos, que são dificilmente alcançáveis?

Toda decisão sobre seleção e organização de conteúdos no currículo deve ser tomada em função das metas para as quais esse currículo for dirigido. [...] acreditamos que é preciso situar a educação científica no contexto de uma sociedade em que sobra informação e faltam marcos conceituais para interpretá-la, de modo que a transmissão de dados não deveria constituir um fim principal da educação científica, que deveria estar dirigida, na verdade, a dar sentido ao mundo que nos rodeia, a compreender as leis e os princípios que o regem.

Ainda existem aqueles que defendem que mesmo quando os alunos não consigam interpretar os dados no momento da aprendizagem, ao menos se puderem retê-los, no futuro, podem ter sentido para estes. Mas, para os autores,

[...] se atendermos aos princípios da aprendizagem e da memória, além da nossa própria experiência pessoal, temos de convir que a maior parte dos dados que, quando éramos jovens e indocumentados, aprendemos sem compreendê-los, felizmente foram esquecidos com o passar do tempo. [...] As leis do esquecimento são, em geral, pouco condescendentes com a aprendizagem factual. Se os alunos têm dificuldades para compreender os conceitos básicos da ciência, têm

ainda mais dificuldade para lembrar os dados que não compreendem.
(p. 81)

Vale ressaltar que apesar do ensino por transmissão de dados ou uma simples informação verbal não ser mais um dos fins essenciais do Ensino de Ciências, ainda não estamos falando sobre não ensinar nenhum dado, uma vez que não é possível ensinar Ciências desta forma, porém, devemos ter consciência que “isso nunca deve ser um fim em si; os dados devem ser um meio, uma via para ter acesso a outras formas de conhecimento conceitual, mais próximo da compreensão” (p. 81), ou seja, “os dados não se justificam em si mesmos se não promovem condutas ou conhecimentos significativos, mas em muitos casos são necessários para facilitar esse aprendizado mais significativo” (Pozo; Crespo, 2009, p. 81).

Assim sendo, se o dado auxilia na compreensão de conceitos, o ensino de conceitos é uma das formas mais eficientes para promover a retenção de dados. Isso ocorre em todas as áreas da aprendizagem “quando a gente compreende, dá um sentido às coisas, os dados deixam de ser arbitrários e, portanto, são mais fáceis de reter” (p. 82), ou seja, a maneira mais eficiente de compreender os fatos da ciência é aprendê-los, no entanto, a aprendizagem é muito difícil comparada ao simples caso da repetição.

David Ausubel (2003), psicólogo contemporâneo, com base na corrente construtivista e cognitivista da aprendizagem, desenvolveu seu modelo de Aprendizagem Significativa e, em seu livro “Aquisição e Retenção do Conhecimento: Uma perspectiva Cognitiva” descreve como deveria ser essa aprendizagem. Para o pesquisador, a aprendizagem em sala de aula está relacionada, fundamentalmente, “à aquisição, retenção e utilização de grandes conjuntos de informações significativas” (p. 71). Para o autor,

A ‘aprendizagem significativa’, por definição, envolve a aquisição de novos significados. Estes são, por sua vez, os produtos finais da aprendizagem significativa. Ou seja, o surgimento de novos significados no aprendiz reflecte a acção e a finalização anteriores do processo de aprendizagem significativa. (Ausubel, 2003, p.71)

Para Ausubel trata-se de aprendizagem cognitiva, de maneira que o estudante irá armazenar as informações aprendidas de um modo organizado em sua mente. Em sua proposta, esse estudante irá integrar os novos conhecimentos (informações) aos conhecimentos já adquiridos, ou seja, seus conhecimentos prévios ou subsunçores.

Desse modo, se não houver relação entre o que o estudante já sabe com aquilo que ele esteja aprendendo, a aprendizagem não será significativa.

Os autores Moreira e Masini (1982) descrevem a aprendizagem significativa de Ausubel como

é um processo pelo qual uma nova informação se relaciona com um aspecto relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo. Ou seja, neste processo a nova informação interage com uma estrutura de conhecimento específica, a qual Ausubel define como *conceitos subsunçores* ou, simplesmente, *subsunçores* (*subsumers*), existentes na estrutura cognitiva do indivíduo (p. 7)

Além disso, os autores apontam que para Ausubel o armazenamento de informação pelo cérebro humano é extremamente organizado, assim

formando uma hierarquia conceitual na qual elementos mais específicos de conhecimento são ligados (e assimilados) a conceitos mais gerais, mais inclusivos. Estrutura cognitiva significa, portanto, uma estrutura hierárquica de conceitos que são abstrações de experiências do indivíduo. (Moreira; Masini, 1982, p. 7-8)

Moreira e Masini (1982, p. 8) exemplificam a ideia de subsunçores com uma aula de Física sobre forças, portanto “se os conceitos de campo e força já existem na estrutura cognitiva do aluno, eles servirão de subsunçores para novas informações referentes a certos tipos de força e campo como, por exemplo, a força e o campo eletromagnético”.

Mas a aprendizagem significativa não para por aí, o processo de retenção do novo conceito resulta em uma modificação do conceito subsunçor. Ou seja,

Isso significa que os subsunçores existentes na estrutura cognitiva podem ser abrangentes e bem desenvolvidos ou limitados e pouco desenvolvidos, dependendo da frequência com que ocorre a aprendizagem significativa em conjunto com um dado subsunçor. (Moreira; Masini, 1982, p. 8)

Seguindo esse princípio, no exemplo de Física apresentado por Moreira e Masini (1982) a respeito dos subsunçores teríamos,

[...] uma idéia intuitiva de força e campo serviria como subsunçor para novas informações referentes a força e campo gravitacional, eletromagnético e nuclear, porém, na medida em que esses novos conceitos fossem aprendidos de maneira significativa, disso resultaria um crescimento e elaboração dos conceitos subsunçores iniciais. Isto é, os conceitos de força e campo ficariam mais elaborados, mais inclusivos e mais capazes de servir de subsunçores para novas informações relativas a forças e campos ou correlatas. (Moreira; Masini, 1982, p. 8)

Divergindo com a aprendizagem significativa, para Ausubel existe também a aprendizagem mecânica, sendo essa a aprendizagem de novos conceitos sem

nenhuma associação aos conhecimentos prévios, ou seja, sem relação a estrutura cognitiva dos estudantes.

Para Ausubel (1976, p. 56),

independentemente de quanto significado potencial seja inerente à proposição especial, se a intenção do aluno consistir em memorizar arbitrária e literalmente (como uma série de palavras caprichosamente relacionadas), tanto o processo de aprendizagem como os seus resultados serão mecânicos e desprovidos de significado. E, inversamente, por mais significativa que seja a atitude do aluno, nem o processo nem o resultado da aprendizagem serão possivelmente significativos se a tarefa de aprendizagem não for potencialmente, e se não estiver intencional e substancialmente relacionado, com a sua estrutura cognitiva. (*tradução nossa*)

Infelizmente a aprendizagem mecânica é muito comum no cotidiano de uma unidade escolar. Muitas vezes os estudantes desenvolvem um mecanismo de aprendizagem por memorização para determinados conceitos devido ao fato de que, diversos professores, assumem que a resposta correta é aquela que esteja em conformidade com o livro didático ou qualquer outro meio utilizado durante as aulas.

Outras vezes os estudantes se deparam com a necessidade de memorização devido à aprendizagem não ter características significativas e apresentarem frustrações atribuídas a situações de fracasso já vividas em métodos avaliativos anteriormente propostos. Ausubel (2003) ainda cita outro motivo para a memorização, atribuindo-a a pressão que os estudantes sentem ao terem que exibir “fluência, ou a ocultarem, em vez de admitirem e remediarem, gradualmente, deficiências existentes na compreensão genuína” (p.72), ou seja, é mais importante aparentar que aprendeu memorizando alguns termos do que se esforçar para realmente compreender o que esses significam.

Nas palavras do autor,

A aprendizagem significativa exige que os aprendizes manifestem um mecanismo de aprendizagem significativa (ou seja, uma disposição para relacionarem o novo material a ser aprendido, de forma não arbitrária e não literal, à própria estrutura de conhecimentos) e que o material que apreendem seja potencialmente significativo para os mesmos, nomeadamente relacional com as estruturas de conhecimento particulares, numa base não arbitrária e não literal. [...] independente da significação que o mecanismo do aprendiz pode ter, nem o processo nem o resultado da aprendizagem podem ser significativos, se a própria tarefa da aprendizagem não for potencialmente significativa – se não for relacional, de forma não arbitrária e não literal, com qualquer estrutura cognitiva hipotética na mesma área de matérias, bem como com a estrutura cognitiva idiossincrática particular do aprendiz. (Ausubel, 2003, p. 72)

A teoria proposta por Ausubel também é classificada como verbal, já que “considera a linguagem uma componente promotora da aprendizagem significativa, sendo o meio mais eficiente de ensinar e de levar a um conhecimento mais seguro e menos trivial” (Praia, 2000, p. 121). Assim, a manipulação de conceitos aprendidos e as proposições recém-criadas, são elevadas com o uso das propriedades de representações das palavras, ou seja, pelos signos linguísticos.

Compreender que os novos significados são oriundos da interação dessas novas ideias com as ideias presentes na estrutura cognitiva, traz uma questão: como surgem “os significados originais antes de existir qualquer estrutura cognitiva?” (Ausubel, 2003, p. 76).

A resposta a essa questão torna-se uma relação muito clara sobre como o significado irá se relacionar com a aprendizagem significativa. Para Ausubel,

Antes de as crianças formarem conceitos, aprendem que determinados objectos e acontecimentos, semelhantes em termos perceptuais, têm o mesmo nome e que outros objectos e acontecimentos, diferentes em termos perceptuais, possuem nomes diferentes. A partir destas duas generalizações complementares, a maioria das crianças desenvolve, cerca do primeiro ano de vida, o discernimento de que tudo tem um nome e que este significa, psicologicamente, o que o respectivo referente significa. Assim, mesmo antes de adquirirem conceitos genéricos genuínos, as crianças aprendem que a linguagem possui propriedades representativas e, através do relacionamento de relações particulares objecto-nome como exemplares deste discernimento geral, começam a entrar na aprendizagem representacional. (Ausubel, 2003, p. 76)

A continuidade desse processo se dá com

[...] a aquisição de regras e de conceitos sintácticos suficientes para combinarem palavras em frases rudimentares, que expressam ideias proposicionais simples. Ao mesmo tempo, as crianças adquirem conceitos através da criação e experimentação de hipóteses; gradualmente, os nomes de conceitos culturais padrão que utilizaram anteriormente, de forma supra ou subinclusiva, para designarem objectos e acontecimentos particulares, tornam-se, então, os nomes de objectos e de acontecimentos *genéricos*. Com um desenvolvimento cognitivo contínuo, apreendem conceitos de ordem superior, nos quais objectos e acontecimentos, *diferentes* em termos perceptuais e que partilham determinadas propriedades de critérios semelhantes por inerência, se tornam membros de uma classe mais inclusiva designadas pelo nome apropriado. Desta forma, desenvolve-se uma estrutura cognitiva organizada de modo hierárquico, que serve como matriz para a aquisição de mais significados novos. (Ausubel, 2003, p. 76 e 77)

É notório que na teoria da aprendizagem significativa, Ausubel enfatiza as bases para a compreensão de como é a construção do conhecimento pelo homem, de como esse constrói significados, assim sendo, como é possível elaborar estratégias de ensino que possam facilitar uma aprendizagem significativa (Tavares, 2008).

Deste modo, compreende-se que existem três requisitos essenciais para essa aprendizagem significativa, sendo:

1. A introdução de um novo conceito estruturado de modo lógico;
2. A presença de um conhecimento prévio (ou subsunçor) na estrutura cognitiva do estudante que vá possibilitar a sua conexão com o novo conhecimento;
3. A conexão aprender-relacionar o conhecimento existente com aquele que se pretende aprender.

Vale ressaltar que a aprendizagem é classificada como significativa quando não ocorre somente a retenção da estrutura do conhecimento, mas sim, quando se é possível desenvolver a capacidade do estudante de transferir e aplicar esse conhecimento em contextos diferentes daquele que se utilizou para sua percepção (Tavares, 2008).

Ausubel garante que por ser um mecanismo humano, a aprendizagem significativa é tão importante para a aquisição e o armazenamento de uma grande quantidade de ideias, conceitos, informações, fatos, de qualquer área do conhecimento.

A tremenda eficiência da aprendizagem significativa como um mecanismo de transformação e de armazenamento de informações pode atribuir-se, em grande parte, a duas características distintas da mesma – a não-arbitrariedade e o carácter não-literal da capacidade de relação da tarefa de aprendizagem para a construção cognitiva. (Ausubel, 2003, p. 81)

Portanto, o estudante é capaz de transformar o significado lógico em significado psicológico do material pedagógico utilizado, desse modo, ao passo que esse conteúdo se insere em sua estrutura cognitiva, dar-se-á aprendizagem significativa.

Cada estudante possui uma maneira específica de produzir essa inserção de informação ao seu conhecimento prévio, mesmo partilhando significados comuns sobre a essência do conteúdo, duas pessoas possuem opiniões diferentes do conhecimento em estudo, tendo em vista a sua elaboração peculiar.

Assim sendo, a aprendizagem significativa necessita de um esforço do estudante, uma atitude proativa, ao realizar a conexão de modo não-arbitrário e não-litera do novo conhecimento à sua estrutura cognitiva (Tavares, 2004), torna-se fundamental a existência de uma motivação intrínseca e o desejo de aprender (Pozo; Crespo, 2009).

A aprendizagem mecânica, por outro lado, só é sugerida por Ausubel (2003) quando não existir nenhum conhecimento prévio na estrutura cognitiva do estudante que possa auxiliar na conexão com o novo conceito em estudo, ou seja, quando não existirem ideias prévias que possibilitem a correlação entre o conhecimento para que ocorra a aprendizagem significativa.

De modo geral, podemos dizer que para a produção de uma aprendizagem significativa temos que pensar pedagogicamente sobre duas vertentes: o material utilizado e o estudante. O material deve ser organizado, apresentar lógica, conceitos explícitos, considerando sempre o uso de vocabulário e terminologias que estejam de acordo e adaptados ao estudante. Em relação ao estudante, é necessário identificar os conhecimentos prévios e a sua predisposição para a compreensão. Deve-se estimular o estudante para buscar o significado e o sentido do que aprende, produzindo conexões bem estabelecidas com o conhecimento já existente em sua estrutura cognitiva (Pozo; Crespo, 2009).

Os conhecimentos prévios que esses estudantes possuem e que sejam capazes de sustentar o novo conceito assume importante papel, uma vez que “toda tentativa de dar significado apoia-se não apenas aos materiais de aprendizagem, mas nos conhecimentos prévios ativados para dar sentido a esses materiais” (Pozo; Crespo, 2009, p.86).

Pozo e Crespo (2009, p. 87) afirmam que

O objetivo do aprendizado significativo é que, na interação entre os materiais de aprendizagem (o texto, a explicação, a experiência, etc.) e os conhecimentos prévios ativados para dar-lhe sentido, esses conhecimentos prévios sejam modificados, fazendo surgir um novo conhecimento; contudo, com maior frequência do que a explicação ausubeliana do aprendizado significativo faria supor, quando os alunos tentam compreender uma nova situação a partir de seus conhecimentos prévios, o que *muda* é essa nova informação, que é interpretada em termos dos conhecimentos prévios, sem que eles sofram praticamente nenhuma modificação. Este é um dos problemas fundamentais para a aprendizagem da ciência [...]

E completam reconhecendo a atenção que esse campo começou a receber nos últimos anos com o investimento em novas pesquisas,

O interesse deslocou-se das condições e dos processos do aprendizado significativo para a natureza e os conteúdos desses conhecimentos prévios e para a forma como eles podem ser modificados. A aprendizagem significativa deu lugar ao estudo da *mudança conceitual*, entendida como a modificação desses conhecimentos prévios dos alunos. (Pozo; Cespo, 2009, p. 87 e 88)

Pozo e Crespo (2009) denominam esses conhecimentos prévios como “concepções alternativas” (p. 88), portanto, consideramos nesse trabalho que os termos subsunçores, conhecimentos prévios e concepções alternativas tratam do conhecimento inicial do estudante que virá a ser fundamental para a aprendizagem significativa do novo conceito.

Apesar da teoria da mudança conceitual no Ensino de Ciências ter gerado um importante tema de pesquisa na década de 1990, a atenção da comunidade científica foi deslocada para outras propostas, uma vez que a teoria não se mostrou frutífera em relação a aprendizagem dos estudantes pela impossibilidade de se obter uma real “mudança conceitual”.

Entretanto, uma importante questão resultante da necessidade de levantar as concepções dos estudantes, obrigatória na teoria da mudança conceitual, levou a comunidade acadêmica a reconhecer que para utilizar qualquer proposta de ensino, faz-se necessário, obrigatoriamente, levantar as concepções dos estudantes. Estas constatações nos encaminham para a necessidade de compreender um pouco mais o que caracteriza as concepções alternativas presentes na estrutura cognitiva dos aprendizes.

3.2 As concepções alternativas e a mudança conceitual

Muitos professores de ciências esperam que os alunos adquiram familiarização com teorias, conceitos e modelos científicos, desenvolvendo um nível de profundidade para aplicar esse conhecimento, elaborando explicações para fenômenos do cotidiano e reproduzindo as explicações convencionais de uma ciência ortodoxa (Stefani; Tsaparlis, 2009).

O processo de ensino de conceitos científicos se tornou uma problemática para professores a partir do momento que se constatou que a aprendizagem dos alunos

não era coerente com a esperada, uma vez que os resultados das avaliações passaram a indicar altas taxas de respostas erradas por parte desses estudantes para ‘questões inteligentes’, ou seja, que não demandaram apenas uma simples repetição do conceito científico ensinado em sala de aula, mas exigem uma aplicação significativa do conhecimento adquirido em diferentes situações.

Ao se analisar o alto índice de “erros” pelos estudantes a essas questões, houve o surgimento de uma linha de pesquisa no ensino de ciências desenvolvida desde a segunda metade do século XX, que visa identificar a maneira como os estudantes desenvolveriam suas ideias sobre os fenômenos naturais. Muitas pesquisas evidenciaram que essas ideias podem ser construídas antes mesmo da escolarização e do contato do estudante com o ensino de ciências (Driver, 1988; Zoller, 1990; Nakhleh, 1992; Posada, 1999).

As ideias que fundamentam estas pesquisas podem ser definidas como coerentes com as que estão apresentadas no currículo de ciências, ou totalmente controversas às definições científicas aceitas por especialistas (Schmidt, 1997; Nicoll, 2001). Abimbola (1988) apresenta até vinte termos diferentes para nomeá-las, sendo entre elas equívocos ou erros conceituais, concepções pré-científicas, raciocínio de senso comum, pré-conceitos, entre outros (*apud* Furió; Guisasola, 1999). Já Driver (1988) apesar de indicar diferentes maneiras de denominar essas ideias, as caracteriza como concepções alternativas.

Seguiremos aqui chamando essas ideias de concepções alternativas, como já foi denominado no item acima apresentado.

Gilbert e Swift (1985) denominaram como ACM, sigla do inglês Alternative Concepts Movement, o movimento que se iniciou em meados da década de 70 com o grande número de pesquisas sobre as concepções alternativas. Esse movimento resultou em um vasto número de publicações acerca do assunto e o resultado dessas pesquisas auxiliaram no fortalecimento de um aporte construtivista dos processos de ensino e aprendizagem.

As concepções alternativas dos estudantes correspondem a um dos maiores problemas enfrentados no dia a dia dos professores e alunos (Nakiboglu; Tekin, 2006) e a uma das maiores contribuições ao Ensino das Ciências.

Pozo e Crespo (2009) discutem que as concepções alternativas podem ser oriundas de modo sensorial ou cultural, sendo que para a origem sensorial elas seriam

[...] formadas de modo espontâneo, na tentativa de dar significado às atividades cotidianas, e seriam baseadas essencialmente no uso de regras de inferência casual aplicadas sobre dados colhidos – no caso do mundo natural – por meio de processos sensoriais e perceptivos. (p. 90)

Já para as concepções alternativas de origem cultural,

[...] estas concepções teriam sua origem não tanto na interação direta, sensorial, com o mundo, mas no entorno social e cultural, de cujas ideias o aluno estaria impregnado. [...] Dado que o sistema educacional não é, hoje em dia, o único veículo – às vezes, sequer é o mais importante – de transmissão cultural, os alunos chegariam às salas de aula com crenças socialmente induzidas sobre inúmeros fatores e fenômenos. (p. 90 e 93)

Dentro das salas de aula, quando o professor atribui maior importância ao conceito científico a ser ensinado e menor importância ao conhecimento pessoal do aluno, o processo de aprendizagem resultará em deficiências conceituais e esses alunos cometerão erros ao utilizar o conceito estudado. Por outro lado, se o professor visa compreender e conhecer as concepções alternativas que esses alunos possuem, a maneira que eles interpretam o mundo, antes do ensino do conceito científico específico, o processo de aprendizagem poderá ser válido e consistente (Furió, 1996; Furió; Guisasola, 1999). No entanto, essas concepções só são mencionadas no momento de se justificar os possíveis “erros” dos alunos, uma vez que sua origem aparentemente está no próprio ensino que lhe foi apresentado.

Compreender as concepções alternativas dos estudantes é determinante para o processo de ensino e aprendizagem, uma vez que esses estudos mostram a existência real de dificuldades de aprendizagem em diversas áreas da ciência (Furió; Guisasola, 1999).

Ao conhecer estas concepções, pode-se utilizá-las como base para a promoção do processo de aprendizagem significativa de um novo conceito científico, buscando relacionar o novo conhecimento a conceitos relevantes presentes na estrutura cognitiva do aluno (Zoller, 1990). Elas não são visualizadas como erros ou algo negativo para o estudante, mas como estruturas cognitivas que interagem com as informações que chegam do processo de ensino e/ou do cotidiano e que desempenham um papel essencial na aprendizagem (Driver, 1988).

Pozo e Crespo (2009) afirmam que

Apresentações deformadas ou simplificadas de certos conceitos levam a uma compreensão errônea, desviada, por parte dos alunos [...]

[...] com muita frequência as ideias que os alunos obtêm do conhecimento escolar não apenas refletem erros conceituais presentes nos livros didáticos ou nas explicações recebidas. Elas refletem um “erro” didático na forma como lhe são apresentados os saberes científicos. (p. 94)

Os mesmos autores ainda garantem que as concepções alternativas são (p.94)

[...] o resultado de uma mente ou um sistema cognitivo que tenta dar sentido a um mundo definido não apenas pelas relações entre os objetos físicos que povoam o mundo, mas também pelas relações sociais e culturais que se estabelecem em torno desses objetos. Não é estranho, portanto, que seja tão difícil livrar-se delas no ensino, dado que constituem boa parte do senso comum e, inclusive, da nossa tradição cultural. Contudo, o ensino de ciências, caso pretenda que os alunos compartilhem essas outras produções culturais tão elaboradas que são os modelos e teorias da ciência, precisa superar ou transcender essas representações de primeira mão [...] é necessário conhecer um pouco mais sobre como estão organizadas essas concepções alternativas e sobre o que é preciso mudar na chamada mudança conceitual [...]

Em estudos Hewson e Thorley (1989) apontam condições básicas para se obter mudanças conceituais no processo de ensino. Para os autores, toda e qualquer concepção alternativa tem um teor de coerência para o estudante, caracterizado pelo grau de plausibilidade, inteligibilidade e utilidade com que é percebido por ele. Quando o estudante se depara com um novo conceito que contradiz alguma ideia que ele já possui, a sua aceitação seria possível se for evidenciado pelo próprio estudante que as concepções existentes sejam inadequadas. Ou seja, ao expor uma atividade (tarefa ou problema) que vá induzir no aluno a ideia de uma representação, se essa for incoerente com o conceito científico, ele poderá assumir que essa representação era uma concepção alternativa, desde modo poderá existir mudança conceitual (Pozo; Crespo, 2009).

Driver (1988) descreve como uma característica fundamental para o processo de aprendizagem utilizado pela psicologia cognitiva, a ideia de construções mentais ou “esquemas”. Os “esquemas” são usados por todos, independentemente da faixa etária, para interpretar novas situações do cotidiano, sendo ativamente construídos pelo sujeito.

Esses “esquemas” apresentam diferentes elementos organizados entre si formando uma estrutura, que pode ligar-se a outros “esquemas” originando novas estruturas. Partindo desse pressuposto, para a autora, no processo de aprendizagem significa o aluno leva seus “esquemas” para a sala de aula, para enfrentar uma situação imposta pelo professor tentando entender seus significados, portanto, aquilo

que não é aprendido depende dos novos “esquemas” apresentados para esse aluno e o modo como ele conseguiu interligá-lo aos já existentes em sua estrutura cognitiva. Em outras palavras, o processo de aprendizagem torna-se uma interação entre esquemas mentais característicos desse processo e do ambiente que ele está sendo colocado.

Quando um estudante manifesta diversos conceitos contraditórios, Driver, Guesne e Tiberghien (1999, p. 26, tradução nossa) afirmam que

[...] se põem em jogo diferentes esquemas; estas ideias podem ser todas elas estáveis na medida que os esquemas os mantenham integrados nas estruturas, de modo que a mudança de um deles exige a modificação de uma estrutura e não apenas um elemento da mesma.

Ao aprender ciências, um aluno pode dar-se conta de que um trecho se opõe às suas expectativas, de que não se ajuda aos seus esquemas. Sem demora, a simples comprovação dessa discrepância não implica necessariamente em uma reestruturação das ideias do estudante; essa reestruturação requer tempo e circunstâncias favoráveis.

Entretanto, mudar as concepções alternativas desses alunos, requer um pouco mais do que uma apresentação de conceitos científicos. Na realidade, não julgamos a necessidade de se tratar de uma mudança necessariamente nessas concepções alternativas, mas sim de uma evolução conceitual. Pozo e Crespo (2009, p.109) afirmam que

[...] Em vez de estarmos diante de uma comparação dicotômica entre formas cotidianas e científicas de conhecer o mundo, estaríamos diante de um *continuum* ao longo do qual seria necessário ir se aprofundando com a finalidade de chegar cada vez mais perto do sentido do conhecimento científico.

Assumir uma aprendizagem construtivista de aprendizagem que coloca o aluno como o centro do processo, supõe levar em consideração estas concepções, portanto, o que ele aprende em uma situação cotidiana/escolar depende de concepções alternativas existentes, sendo confrontadas por situações de aprendizagem, estratégias cognitivas disponíveis e o próprio interesse pela aprendizagem (Driver, 1988).

Partindo de uma posição construtivista, assume-se que todas as teorias e modelos existentes são construídas ou elaboradas socialmente em resposta a demandas ou “necessidades práticas e teóricas e que a ciência [...], não é um discurso sobre o real mas, sim, sobre modelos possíveis” (Pozo; Crespo, 2009, p. 113). Compreender o valor das ciências e suas contribuições para o avanço do mundo é

entender que o próprio conhecimento não se baseia no fato de descobrir uma realidade, mas é elaborar modelos alternativos que justifiquem essa realidade. Pozo e Crespo (2009, p. 113) garantem que

[...] por mais rigor que se tenha, na ciência nunca se alcança o conhecimento verdadeiro no sentido de que reproduza exatamente o mundo real. O que teremos são modelos cada vez mais complexos e potentes para prever, explicar e simular a estrutura do mundo.

Para Mortimer (1996), considerando essa visão de aprendizagem, existe um modelo de ensino que irá lidar com a presença das concepções alternativas dos estudantes e auxiliará no processo de transformação para conceitos científicos, sendo este o modelo de mudança conceitual. Sendo esse modelo proposto inicialmente para descrever

[...] "as dimensões substantivas do processo pelo qual os conceitos centrais e organizadores das pessoas mudam de um conjunto de conceitos a outro, incompatível com o primeiro" (Posner, et al., 1982, p. 211 *apud* Mortimer, 1996).

Deste modo, a mudança conceitual passou a ser um sinônimo de aprendizagem científica e, seguindo o exemplo do construtivismo, a mudança conceitual virou um rótulo que veio escondendo muitas visões e pressupostos diferentes (Mortimer, 1996). Esse modelo de mudança conceitual surgiu para ser uma maneira de propiciar condições necessárias para que o aluno, partindo de suas concepções alternativas, fosse capaz de rejeitá-las e transformá-las em concepções cientificamente aceitas pelo ensino de ciências (Nardi; Gatti, 2008).

Percebe-se que para alcançar a mudança conceitual junto ao aluno, é fundamental que, inicialmente, este aluno esteja insatisfeito com suas próprias concepções alternativas; em seguida que seja apresentado a uma nova concepção inteligível e compreensível a sua estrutura cognitiva que lhe seja plausível e, por fim, essa nova concepção deve apresentar-se de modo mais produtivo e mais explicativo que a sua concepção original (Nardi; Gatti, 2008; Pozo; Crespo, 2009).

Muitas críticas foram feitas a este modelo, inclusive, Nardi e Gatti (2008) descrevem que entre as críticas uma das questões mais frequentes na época era se realmente seria possível abandonar as concepções alternativas fortemente enraizadas por novas concepções cientificamente aceitas. Os autores ressaltam posteriormente que novas pesquisas apontam que, para o processo de aquisição de um novo conceito científico, não seria necessariamente obrigatória a eliminação de uma concepção antiga. Algo reforçado por Mortimer (1996)

[...] Uma pessoa poderia adquirir a capacidade de distinguir essa maneira cotidiana de ver o mundo de maneiras mais sofisticadas. Suprimir essas 'concepções alternativas', no entanto, significaria suprimir o pensamento de senso comum e seu modo de expressão, a linguagem cotidiana. Uma expectativa irreal e inútil. A linguagem cotidiana é o modo mais abrangente de se compartilhar significados e permite a comunicação entre os vários grupos especializados dentro de uma mesma língua. Suprimi-la seria instaurar uma babel, impedindo que diferentes grupos pudessem compartilhar de significados numa mesma cultura. (p. 26 e 27)

Considerando essa base psicológica, muitas estratégias dos processos de ensino e aprendizagem apresentam uma base filosófica. O modelo mais influente nas estratégias de mudança conceitual é o kuhniano, onde é descrito o desenvolvimento científico com alternâncias da ciência comum com a revolução científica (Mortimer, 1996).

Não cabe para nosso contexto fazer uma releitura de todo o movimento da mudança conceitual, mas, é nossa intenção ressaltar a importância do movimento e da sua relação com o elencar das concepções alternativas. No entanto, o conhecimento das concepções alternativas presente na estrutura cognitiva dos alunos não bastou para a resolução dos problemas de aprendizagem, ou seja, se apenas conhecê-las fosse suficiente para que o movimento de mudança conceitual resultasse em processos de ensino e aprendizagem eficientes, nossos “problemas” sobre o ensino de ciências estariam resolvidos.

Apesar de todas as controversas do movimento da mudança conceitual, o conhecimento das concepções alternativas e sua consideração no momento da elaboração de sequências didáticas foi o principal legado do movimento e, até os dias atuais, deve ser levado em conta pelos professores na preparação de suas aulas.

3.3 Dificuldades de aprendizagem em Química

Ao iniciar qualquer curso, os alunos trazem consigo um conjunto de crenças sobre o processo de aprendizagem, além de muita expectativa do ponto que eles querem chegar. Essas “crenças” são provenientes de inúmeras experiências que esses alunos tiveram em escolas anteriores, bem como outras situações de aprendizagem e, compreender como os alunos aprendem, pode auxiliar os professores a conceberem estratégias mais eficientes para os processos de ensino e aprendizagem. Na Química não é diferente, sendo essa uma disciplina importante na

área das ciências, ao permitir que os alunos compreendam muitos fenômenos que ocorrem ao seu redor (Sirhan, 2007).

No processo de ensino de Química, muitas vezes os professores se restringem somente aos resultados dos conhecimentos científicos apresentados como representações da realidade, sem considerar as concepções alternativas dos estudantes e o fato da existência da possibilidade de que esses estudantes nem sequer tenham sido apresentados a esses conhecimentos científicos anteriormente. Tal fato, por não ser abrangente o suficiente para produzir um ensino de qualidade, pode acarretar a formação de dificuldades de aprendizagem e de compreensão aos estudantes.

O ensino de Química esbarra constantemente neste problema. Por se tratar de uma disciplina em que seus conceitos principais têm por base a estrutura fundamental da matéria, fundamentada principalmente em leis e uso de modelos, torna-se de difícil entendimento para os alunos. Além disso, ela incorporar conceitos abstratos - como é o caso dos conceitos iniciais sobre a estrutura da matéria - em junção a outras dificuldades em disciplinas complementares, como a Física e a Matemática.

Alguns conceitos apresentam interconexões com a Química e serão fundamentais para o decorrer do processo de aprendizagem, uma vez que são conceitos subjacentes e interligados a outros e, portanto, exigem do educador que utilize um conjunto de habilidades de alto nível ao elaborar suas aulas. Sendo assim, as aulas desta disciplina são classificadas como uma das que geram maiores dificuldades de aprendizagem para os estudantes (Sirhan, 2007).

Pozo e Crespo (2009) apresentam um quadro com algumas dificuldades na aprendizagem de Química relacionadas com os conceitos químicos que são desenvolvidos com os estudantes durante o Ensino Médio. Dentre as dificuldades, temos (p. 141),

- Concepção contínua e estática da matéria, que é representada como um todo indiferenciado.
- Indiferenciação entre mudança física e mudança química.
- Atribuição de propriedades macroscópicas a átomos e moléculas.
- Identificação de conceitos como, por exemplo, substância pura e elemento.
- Dificuldades para compreender e utilizar o conceito de quantidade de substância.
- Dificuldades para estabelecer as relações quantitativas entre massas, quantidades de substâncias, número de átomos, etc.

Sirhan (2007) aponta que uma característica essencial da disciplina que representa um desafio significativo aos estudantes, principalmente aos iniciantes, é sua intensa interação entre os níveis macroscópicos e submicroscópicos. Vigotski já considerava que a linguagem se desenvolve no mesmo ritmo que as estruturas cognitivas vão evoluindo do concreto até o abstrato, e vice-versa, sendo assim, a linguagem que a Química utiliza, por meio do uso de modelos, fórmulas estruturais, figuras e gráficos, fórmulas matemáticas, entre outros, geram grandes dificuldades e elas estão totalmente relacionadas “à distinção em relação à linguagem comum, à sua especificidade quase hermética” (Roque; Silva, 2008, p. 922).

A natureza da ciência Química é uma natureza extremamente conceitual, e apesar de sabermos que muito conhecimento pode ser adquirido por um aprendizado rotineiro, a aprendizagem de fato torna-se significativa com a inter-relação entre diversos conceitos (Sirhan, 2007).

Em seu artigo, Sirhan (2007) elenca três níveis nos quais o conhecimento químico é ensinado, sendo eles o descritivo, o microscópico e o simbólico.

O vínculo existente entre esses três níveis deve ser levado em consideração no momento do processo de ensino de modo muito explícito. Além de ser fundamental para a aprendizagem de Química distinguir suas interações e diferenciações, alcançando assim a compreensão de conceitos químicos. Sirhan (2007) aponta que se o aluno apresentar dificuldade em qualquer um dos níveis, isso certamente irá influenciar no entendimento do outro nível. No entanto, o aluno não consegue lidar com todos os níveis de uma única vez.

Para o autor,

Os métodos pelos quais os alunos aprendem estão potencialmente em conflito com a natureza da ciência, o que, por sua vez, influencia os métodos pelos quais os professores tradicionalmente ensinaram (Johnstone, 1980 *apud* Sirhan, 2007, p. 5, tradução nossa).

Na literatura encontramos vários trabalhos relacionados com a identificação de dificuldades de aprendizagem. Osborne e Cosgrove (1983), por exemplo, analisaram, em diferentes níveis escolares, o que os estudantes compreendem sobre a natureza corpuscular da matéria utilizando fenômenos cotidianos como os estados físicos da matéria: água (líquida), o gelo (sólido) e o vapor (gasoso), uma vez que estão muito familiarizados com esses termos desde a infância.

Nesse estudo, através de uma entrevista, os autores perceberam que as crianças têm ideias sobre as mudanças físicas nos estados da água, diferente dos

conceitos científicos e que muitas dessas ideias foram desenvolvidas após a introdução dos conceitos nas escolas.

Um fato interessante para a nossa pesquisa foi observado por Bodner (1991). O autor utilizou as mesmas nove questões propostas por Osborne e Cosgrove (1983) para identificar os equívocos que estudantes de pós-graduação possuíam sobre a natureza da matéria e, essa pesquisa indica que mesmo após anos e anos de estudo, as explicações não-científicas persistem para alguns estudantes.

Zoller, em 1990, ao publicar o artigo “Students’ Misunderstandings and Misconceptions in College Freshman Chemistry (general and organic)” passa a ser referência sobre diversos casos de dificuldades de aprendizagem, uma vez que dentre os quatro objetivos propostos por essa pesquisa, um deles é a seleção de conceitos que contribuem para as dificuldades de aprendizagem, juntamente com as concepções alternativas que permeiam esses conceitos, além da identificação da essência dessas dificuldades de aprendizagem. Para os casos apresentados por Zoller (1990), o mesmo artigo indica condições teóricas e/ou práticas para lidar com essas dificuldades elencadas.

Um dos estudos de caso apresentados pelo autor demonstra a dificuldade dos estudantes em compreender a probabilidade espacial de Orbitais Eletrônicos e a Hibridização. Para ele, lidar com orbitais híbridos com os estudantes traz, sem exceções, questionamentos. Sendo os mais comuns: 1. Qual seria o real significado de s, p, d e f nos níveis eletrônicos?; 2. Qual o motivo dos orbitais hibridizarem?

Para respondê-los, o autor faz uso de modelos que ilustrem os orbitais antes e após a hibridização do átomo de carbono, formando um carbono tetraédrico com orbitais iguais e, classifica como útil para responder as questões apresentadas. Para o autor, o uso dessas ilustrações é aceita pelos estudantes como razoáveis ou lógicas quanto as questões por eles levantadas.

Outra dificuldade apontada por Zoller (1990) trata-se sobre o entendimento dos estudantes sobre os conceitos de Lewis de acidez, basicidade, eletrofilicidade e nucleofilicidade. Para o autor, os estudantes associam ácidos e bases conforme a teoria de Arrhenius (como HCl, HNO₃, NaOH, KOH, entre outros) – que caracteriza o ácido como todo composto que em solução aquosa libera como único cátion de hidrogênio (H⁺), enquanto a base é definida como a um composto que em solução aquosa libera como único ânion a hidroxila (OH⁻).

Quando tratado da extensão do conceito de ácidos de bases pela teoria proposta por Brönsted-Lowry, o autor aponta que nenhuma dificuldade em particular é observada. No entanto, quando os alunos se deparam com conceitos propostos por Lewis que combinam a acidez, a basicidade, a eletroafinidade e a nucleofilicidade dentro de um mesmo estudo, abre-se a “caixa de Pandora” (p. 1058) das dificuldades dos estudantes.

O uso da terminologia pH é tão rotineiro por alunos e professores que se acredita que todos saibam o seu significado, o que não é verdade. Para Zoller (1990), a maioria dos estudantes não teve oportunidade para aprender de fato esse conceito e mesmo assim fazem uso de modo mecânico. O autor ainda ressalta a dificuldade dos estudantes em compreenderem o motivo de uma solução de carbonato de sódio, por exemplo, ser básica, uma vez que se esse sal é formado de uma reação de neutralização e, para eles, deveria ser neutra. Para o autor, a maneira de superar essa dificuldade é o uso dos conceitos de hidrólise, no qual o equilíbrio final das equações que estão explicando o movimento de íons na solução pode se tornar convincente aos estudantes.

Continuando o tema de ácido e base, Furió-Más, Calatuyud e Bárcenas (2007), investigaram até que ponto os estudantes - ao finalizar o Ensino Médio – dominam os conceitos e são capazes de explicar as propriedades dos ácidos, das bases e dos sais. Para os autores, o estudo revelou que os alunos até sabem os conceitos científicos, ou seja, as definições, mas não são capazes de aplicá-las ao comportamento ácido-base de substâncias e de suas dissoluções. Por exemplo, os estudantes conhecem o significado de dissolução iônica, mas não são capazes de aplicar o conhecimento quando questionados sobre uma determinada dissociação é possível ou não.

Os autores observam que a falta de algumas conceitualizações macroscópicas e microscópicas sobre o comportamento dos ácidos e das bases poderiam explicar algumas dificuldades encontradas. Tais como:

- i. cada três estudantes, um deles não sabe diferenciar íon e átomo de um elemento químico, assim sendo apresentam dificuldades para compreender e interpretar as propriedades macroscópicas das substâncias;
- ii. a maioria dos estudantes sabem que substâncias iônicas conduzem corrente elétrica, mas não sabem explicar como.

iii. confusão em relação a conceitualização ao atribuir propriedades macroscópicas a um átomo ou a um íon.

Figueira (2010) realizou um estudo com alunos do ensino fundamental ao ensino superior sobre suas ideias em relação aos ácidos e bases. Para isso, a autora utilizou de um questionário com quatro questões abertas sobre, de modo geral, o entendimento dos colaboradores da pesquisa em relação ao que era entendido por ácido, base e a relação desses compostos com o cotidiano. Ao todo foram obtidos 113 questionários, sendo 26 de alunos do nono ano do Ensino Fundamental, 36 de alunos do 3º ano do Ensino Médio e 51 alunos (26 alunos no primeiro semestre do curso de Licenciatura em Química e 25 no último semestre) de uma Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Os resultados obtidos pela autora indicam que muitas concepções de alunos do Ensino Fundamental ainda estão presente em respostas de alunos do último ano do curso de superior. Para a autora,

Uma análise geral dos dados obtidos em nossa pesquisa permite-nos dizer que a grande parte dos estudantes não apresenta uma progressão conceitual das teorias ácido base, muitos permanecem com a concepção advinda da teoria de Arrhenius, fato que causa sérias limitações no entendimento das demais teorias, com conceitos mais complexos e generalizados (Figueira, 2010, p. 73).

A autora recomenda que ao aprofundar o estudo das teorias de ácido base além de Arrhenius, ou seja, Lewis e Brønsted-Lowry, o professor deve basear-se no comportamento de dessas substâncias em situações determinadas, o que possibilitaria discussões sobre o tema e não apenas memorização dos conceitos.

As teorias de ácido e base causam dificuldades no decorrer do processo de ensino e aprendizagem. Quando tratamos de Química Orgânica torna-se fundamental uma ruptura pragmática para o processo de aprendizagem sobre comportamento ácido e base das estruturas orgânicas.

Nicoll (2001) considera que uma infinidade de conceitos que devem ser aprendidos nos cursos de Química estão relacionados aos conceitos de elétrons, ligações químicas, eletronegatividade e até mesmo a geometria molecular. Portanto, antes dos alunos entendam o que é o conceito de reatividade, por exemplo, eles devem compreender como uma estrutura molecular pode influenciar na interação molecular, além do fato de reconhecer o que é a eletronegatividade. Esses conceitos,

para o autor, são conceitos centrais para o estudo de toda a Química, formando assim um alicerce para o processo de aprendizado.

Para a autora, esses conceitos são “as chaves cognitivas que os alunos precisam para desbloquear a porta do entendimento do mundo microscópico da Química” (Nicoll, 2001, p. 708, tradução nossa), e em adição, muitos outros estudos garantem o mesmo sobre o conceito Ligação Química (Solbes; Vilches, 1991; Pauling, 1992; Lawson, et al, 1993; Posada, 1999).

Para identificar as dificuldades de aprendizagem nos conceitos já apresentados, Nicoll (2001) entrevistou 56 estudantes do Ensino Superior em Química de seis cursos diferentes, em diferentes níveis de estudo (ingressantes e concluintes). Com uma entrevista semiestruturada, a autora buscou identificar o entendimento e as concepções alternativas dos estudantes sobre ligações químicas, estruturas moleculares, elétrons e eletronegatividade.

As dificuldades observadas pela autora foram várias, desde a dificuldade dos estudantes em diferenciar átomos de moléculas, dificuldade em elucidar estruturas de Lewis (inclusive o uso da Regra do Octeto) e até mesmo vários estudantes atribuírem “sentimento” às moléculas e átomos, considerando átomos pertencentes aos gases nobres, por exemplo, como átomos “felizes” por possuírem um octeto completo, indicando os problemas gerados pelo uso de algumas analogias pelos docentes durante suas aulas.

No caso dos elétrons, as dificuldades encontradas foram separadas em quatro subcategorias, sendo elas: respostas que consideravam a atração de elétron-elétron; respostas incorretas em relação à explicação do movimento eletrônico; respostas incoerentes com o movimento do “spin” e, por fim, respostas que apresentavam conceitos controversos, ou seja, considerados inadequados. Dentre essas subcategorias, 34 estudantes apresentaram dificuldades de aprendizagem, sendo que a atração entre elétrons foi a subcategoria mais recorrente (Nicoll, 2001).

Já para o caso das Ligações Químicas, Nicoll (2001) classificou em cinco subcategorias as dificuldades encontradas em sua pesquisa:

1. Polaridade: houve casos no qual os estudantes tentavam definir polaridade sem fazer uso do conceito de eletronegatividade.
2. Confusão quanto às ligações: Muitos estudantes aparentavam confundir as definições de ligações iônicas e covalentes.

3. Ligações em geral: essa subcategoria foi criada para associar dificuldades relacionadas ao processo da formação da ligação química como um todo.
4. Ligação incorreta: no caso das dificuldades relacionadas a explicar o que era uma ligação química.
5. Micro-ligações: respostas dos estudantes que envolviam dificuldades em relacionar o domínio microscópico das ligações.

Nicoll (2001) identificou 40 estudantes que apresentavam dificuldades em ligações Químicas e a subcategoria que apresentou maior índice de erros, foi “Ligações em Geral”, identificando que os estudantes possuem muitas dificuldades para explicar qual o real motivo da formação de uma Ligação Química.

Os resultados obtidos por Nicoll (2001) indica que não há tamanha diferença entre as concepções alternativas dos alunos ingressantes e os concluintes do curso, portanto, apesar de expostos a mais conteúdos de Química ao longo do tempo, os alunos continuam apresentando explicações equivocadas para diversos conceitos, entre eles o de Ligações Químicas.

Posada (1999) em seu artigo questiona se os estudantes são capazes de adquirirem uma aprendizagem significativa quando estudam o conceito de Ligações Químicas e, para responder tal questão, o autor faz uma análise do que o estudante de Ensino Médio aprende antes, durante e depois de ter sido exposto a aprendizagem por métodos tradicionais.

Os resultados obtidos demonstram que a natureza das ligações químicas para algumas substâncias gasosas moleculares não é bem compreendida pelos estudantes tanto no início dos estudos de Química quanto para estudantes em níveis mais aprofundados. Mesmo quando se introduz as estruturas de Lewis, são utilizadas as ideias de compartilhamento de elétrons para justificar a atração entre os átomos (Posada, 1999).

Ao discutir a força eletrostática como uma atração entre íons na ligação iônica e no compartilhamento de elétrons, os estudantes apresentam visões de uma nova força. No entanto, para Posada (1999), essa visão é reforçada por livros didáticos e pelos professores, já que ambos preferem o uso de explicações diretas e simples dos conceitos, no lugar da tentativa de conexão com as concepções já formuladas pelos estudantes, não possibilitando assim uma aprendizagem significativa. Por outro lado,

a ideia da existência de íons, torna-se extremamente complexa para os estudantes, pois estes não conseguem utilizar o conceito em suas explicações.

Treagust, em 1986, apresenta um artigo onde seu objetivo é apresentar uma metodologia na qual os professores podem aprender a desenvolver testes diagnósticos para identificar as áreas de dificuldades de aprendizagem. Ao apresentar seus resultados, o autor avalia o que a grande maioria dos estudantes sabem sobre Ligações Químicas. Além disso ele observa que a maior parte dos estudantes que participaram da pesquisa respondeu corretamente que as forças intermoleculares são responsáveis pela diferença de estado de agregação do sulfato de hidrogênio e da água à temperatura ambiente.

No entanto, menos de 30% dos estudantes estão realmente cientes da relação existente entre essas forças intermoleculares e o ponto de fusão e/ou ponto de ebulição dessas substâncias. Treagust (1986) ainda aponta que muitos estudantes não compreendem a diferença entre forças intermoleculares e ligações químicas, o que já havia sido ressaltado por Osborne e Cosgrove (1983).

Na literatura encontramos muitos trabalhos relacionados a essas dificuldades, por exemplo Butts e Smith (1987) ao estudarem as dificuldades de aprendizagem sobre Ligações Químicas, observaram que os estudantes apresentam muita confusão para distinguir os tipos de ligações. Já Özmen (2004) faz uma revisão na literatura sobre as dificuldades de aprendizagem dos estudantes sobre o conceito de Ligações Químicas. Unal, Costu e Ayas (2010) também investigam a compreensão dos estudantes do primeiro ano do Ensino Médio sobre o tema de Ligações Químicas, mais especificamente à ligação covalente, e os resultados obtidos demonstraram que os estudantes apresentam muitas dificuldades no tema, sobretudo em relação aos tipos e propriedades dos átomos que formam a ligação covalente, como ela se forma e as características estruturais dos compostos moleculares formados.

Muitos outros temas estão presentes na literatura sobre as dificuldades de aprendizagem. Furió e Calatayud (1996) pesquisaram as dificuldades dos estudantes com a geometria e a polaridade das moléculas. Wang e Barrow (2012) avaliaram o que os alunos compreendiam por estruturas atômicas com uso de modelos atômicos, variações periódicas, ligações químicas e polaridade. Schmidt (1992) busca identificar as concepções alternativas de estudantes de Ensino Médio sobre relações estequiométricas. Gussarsky e Gorodetsky (1990) buscaram compreender quais

seriam essas concepções em relação ao tema de equilíbrio químico. Schmidt, (1996) que pesquisou o tema propriedades moleculares, demonstra também a dificuldades de aprendizagem dos estudantes.

Nicoll (2001) apresenta em seu estudo as dificuldades dos estudantes relacionadas às propriedades periódicas. Em relação ao conceito de eletronegatividade, verificou que ao serem questionados sobre a definição do conceito, os estudantes mostraram noções incorretas ou que associavam o conceito exclusivamente a compostos iônicos, ou seja, com a capacidade de átomos ganharem e perderem elétrons.

Para o conceito de raio-atômico, os estudantes, em sua maioria, acreditam que o tamanho do raio atômico aumenta para a direita da Tabela Periódica uma vez que mais elétrons são adicionados ao átomo, deste modo, o átomo de Oxigênio seria maior que o átomo de Carbono, uma vez que o Oxigênio apresenta um único elétron a mais que o átomo de Carbono (Nicoll, 2001).

Nakhleh (1992) ao estudar as dificuldades de aprendizagem em Química apresenta que estudantes, de todas as idades, possuem dificuldades em compreender e utilizar modelos químicos que aceitem a constituição da matéria como partículas que estão em constante movimento e com espaços vazios entre elas, não como um meio contínuo. Para o autor, compreender a natureza particulada da matéria é demasiadamente importante para a compreensão de muitos outros conceitos químicos como reações químicas, o efeito da pressão, do volume e da temperatura, as mudanças de estado, o equilíbrio químico. Infelizmente, muitos estudantes visualizam a matéria como um meio contínuo e estático e seus estudos demonstram que mais da metade dos estudantes de nível médio e superior que participaram de sua pesquisa apresentam essa confusão.

Furió, et al. (2000) apresentam uma revisão literária sobre o ensino e a aprendizagem de Química, relacionando inúmeras pesquisas sobre as dificuldades de aprendizagem dos estudantes em relação a natureza corpuscular da matéria, a estrutura das substâncias e as transformações químicas.

Apesar de todas estas pesquisas sobre dificuldades de aprendizagem e de que, uma disciplina muito importante no currículo dos cursos de Graduação em Química, desde 1850 é a Química Orgânica (Roque; Silva, 2008), uma busca na literatura, pouco se encontra sobre as dificuldades de aprendizagem nesta área de estudo.

Apesar disto a disciplina é considerada uma disciplina com elevado grau de dificuldade de aprendizagem e alto índice de insucesso dos alunos.

A partir daqui estão apresentados alguns estudos focados nas dificuldades conceituais para o Ensino de Química Orgânica que conseguimos encontrar na literatura.

Em seus estudos, Roque e Silva (2008) apontam que, em 1850, a ausência de homogeneidade dos “pesos atômicos”, do nome das estruturas orgânicas e o elevado número de isômeros dos compostos orgânicos dificultavam muito o desenvolvimento da área, uma vez que a comunicação dentro do campo era bastante prejudicada. Após anos de evolução nas representações moleculares, fica claro para os autores a importância de se estudar química orgânica e a impossibilidade de compreendê-la sem conhecimento dessas representações moleculares no ensino superior. No entanto, infelizmente, muitos professores consideram que esses conhecimentos já são dominados pelos alunos ao ingressar no curso ou os ignoram, prejudicando a aprendizagem dos estudantes.

Alguns assuntos que geram dificuldades de aprendizagem no processo de ensino e aprendizagem, na disciplina de Química Orgânica, como hibridização e teoria dos orbitais, foram estudados por Zoller (1990). O autor, ao tratar da reatividade das ligações simples, duplas ou triplas, é questionado pelos estudantes sobre o motivo dos alcenos serem mais reativos mesmo que as ligações duplas apresentem uma força de ligação maior que a ligação simples. Com essa pergunta fica claro que há uma grande dificuldade em relação a reatividade de ligações simples e duplas. Além disso, o estudo aponta existir uma confusão entre a reatividade química do ponto de vista cinético para a estabilidade química do ponto de vista termodinâmico.

Outro conceito abordado por Zoller (1990) é o efeito indutivo e a ressonância nas substituições aromáticas. Para o autor ambos são de fácil entendimento, sendo um baseado na eletronegatividade e o outro na disponibilidade de um par de elétrons, respectivamente. Aqui o autor aponta que a dificuldade tem início no momento que tanto o efeito indutivo quanto o de ressonância, em um sistema aromático, agem em direções opostas, o que acarreta frustrações do estudante ao tentar prever os resultados em determinados sistemas.

Vale ressaltarmos que aqui já discutimos trabalhos que apresentam a dificuldade de aprendizagem dos estudantes sobre o conceito de eletronegatividade, deste modo,

acreditamos que esse fator também se torna relevante nos estudos de Zoller, mesmo o autor não citando-o como uma dificuldade.

Tsaparlis (1997) também buscou elencar as dificuldades dos estudantes em relação aos conceitos de orbitais atômicos, orbitais moleculares e conceitos relacionados. Os resultados observados mostram que os estudantes não possuem uma compreensão clara sobre os conceitos estudados, conceitos esses fundamentais para a aprendizagem de Química. Além disso, os estudantes apresentam dificuldades em semelhança conceitual entre formas matemáticas reais e complexas de orbitais atômicos; confundem as representações dos orbitais, bem como apresentam dificuldades de representação de átomos com mais elétrons.

Nakiboglu (2003) também investigou as concepções e dificuldades dos estudantes sobre orbitais atômicos. Para isso a autora usou um teste de diagnóstico com 167 estudantes de nível superior em Química, da Turquia, sendo que todos os estudantes já haviam finalizado seus estudos nas disciplinas de Química Geral 1 e 2, em seus primeiros anos de estudo.

Os resultados obtidos pela autora sobre a compreensão dos estudantes sobre o que seria o orbital atômico foram surpreendentes, sendo que apenas 5% dos alunos apresentaram um bom entendimento sobre o assunto. Aproximadamente 54% dos estudantes apresentaram entendimento parcial, relacionando o orbital atômico a “região do espaço em um átomo mais provável que um elétron seja encontrado”, 29% apresentam equívocos e 12% não sabem ou não responderam à questão.

Um ponto interessante que a autora evidenciou em sua pesquisa foi que 20% dos estudantes que apresentaram equívocos em suas respostas usaram o modelo do Sistema Solar para explicar a estrutura atômica (Nakiboglu, 2003).

Dentro da Química Orgânica o conceito de orbital atômico é um dos conhecimentos prévios mais importantes para se compreender o conceito de hibridização. Assim sendo, já era esperado um número alarmante em relação ao entendimento dos estudantes sobre o conceito.

Nakiboglu (2003) identificou que 7% dos estudantes de graduação conhecem o conceito de hibridização. No entanto, 14 % apresentam um entendimento parcial, 51% apresentam equívocos e 28% não conhecem ou não responderam à questão. Dentre os equívocos mais comuns sobre hibridização estava a menção a Regra do Octeto como ela sendo o motivo da hibridização acontecer.

O uso discriminado e excessiva da Regra do Octeto durante os anos iniciais de estudo em Química, no Ensino Médio, pode ser uma das causas desse possível bloqueio epistemológico evidenciado pelos estudos aqui apresentados, não só sobre orbitais atômicos e hibridização, mas também sobre ligações químicas.

O conceito de Ressonância, um dos vários conceitos que são estudados em Química Orgânica, e torna-se um dos mais difíceis para a compreensão dos estudantes, algo muito preocupante, uma vez que este conceito se relaciona diretamente à compreensão das estruturas, reatividade química, propriedades físicas das moléculas, mecanismos de reações, conjugação, aromaticidade, formação de produtos, espectroscopia entre outros conceitos, o que torna seu real entendimento de extrema importância (Betancourt-Pérez; Oliveira; Rodrigues, 2010).

Keber (2006) descreve em seu artigo que em livros didáticos de Química, a ressonância é tratada como uma exceção depois de apresentar o uso das estruturas de Lewis para compostos de ligações covalentes, ou seja, aqueles casos nos quais estruturas de Lewis individuais não são suficientes para explicar o fenômeno. Deste modo, recorre-se ao uso do termo ressonância.

Para o autor, apesar de todo o esforço para descrever o conceito, uso de símbolos e implicações ainda resultam no fato de que a terminologia em si é um problema. O autor busca detectar então, como o termo ressonância surgiu na Química e indicar a evolução que o conceito sofreu ao longo dos anos, desde sua primeira apresentação por Pauling em 1930.

Na literatura encontramos alguns artigos que propõem estratégias para o ensino deste conceito para um melhor entendimento por parte dos estudantes em relação aos híbridos de ressonância (Park, 1999). No entanto, pouco se encontra na literatura sobre pesquisas que tragam o que realmente os estudantes compreendem sobre esse conceito.

Betancourt-Pérez, Oliveira e Rodrigues (2010) apontam que mesmo a Ressonância tendo base na teoria quântica, os professores de Química Orgânica ainda ensinam esse conceito em caráter qualitativo, ou seja, com um conjunto de regras que descrevem como os elétrons vão se mover entre os átomos em uma estrutura de Lewis de modo que uma delas passa a ser escolhida como o contribuinte mais estável.

No entanto, aprender esse conceito exige que o estudante tenha um vasto conhecimento em determinados conceitos anteriores, para que assim consiga inter-relacionar o movimento de elétrons a essas estruturas geradas pela ressonância. Portanto, os autores investigaram a maneira como os alunos aprendem estruturas relacionadas com a ressonância, bem como tentaram identificar os erros comuns dos estudantes no processo de aprendizagem. A conclusão da investigação apontou que os erros mais comuns dos estudantes para as tarefas propostas no estudo eram a violação da regra do octeto e a incapacidade de identificação de sistemas de deslocalização π (Betancourt-Pérez; Oliveira; Rodrigues, 2010).

Os cursos de Graduação em Química, em suas diversas modalidades (Licenciatura, Bacharelados Tecnológicos ou Ambientais), apresentaram várias alterações ao longo das últimas duas décadas. No entanto, Zucco, Pessine e Andrade (1999), afirmam que essas mudanças foram superficiais e limitadas à organização curricular buscando formar químicos para o setor industrial ou para a pós-graduação. Para o autor, as diretrizes propostas nos currículos dos cursos de Graduação em Química sugerem que os professores não são o centro do saber, mas facilitadores de ideias. Assim, na elaboração dos currículos, os cursos devem evitar a inserção de um número elevado de disciplinas, sem deixar de lado o essencial do campo de conhecimento e sem esquecer-se do fato de que a “compartimentalização leva à repetição de conteúdos de maneira desnecessária” (p. 460).

Na década de 1970, a American Chemical Society's (ACS) reuniu vários de seus comitês para desenvolver um relatório detalhado sobre os conteúdos que estariam classificados como padrões para os cursos de Química (Duis, 2011). Apesar de antigo, esse relatório não teve nenhuma atualização e, os temas conceituais para o ensino de Química Orgânica são:

- O entendimento de que nosso único caminho para o conhecimento molecular é através da experimentação; estruturas correlacionadas com reatividade e função através de métodos químicos, espectroscopia (notadamente ressonância magnética nuclear, espectroscopia infravermelha e cristalografia de raios X) e uso de metodologia computacional;
- Ligação e suas consequências na estrutura molecular e na reatividade;
- Relação entre interações eletrônicas, estéricas e orbitais no comportamento e propriedades das moléculas;
- A dependência da estrutura e reatividade no contexto, o ambiente, seja gasoso, líquido ou sólido, ou em solução;
- Química ácido-base de Lewis e Brønsted;
- Stereoquímica e análise conformacional;

- Mecanismos de adição, eliminação, substituição, rearranjo e intermediários reativos;
- Grupos funcionais, com especial ênfase na centralidade do grupo carbonilo em reações orgânicas;
- Síntese orgânica, incluindo análise retrosintética de moléculas alvo;
- Síntese e comportamento de espécies macromoleculares, incluindo biomoléculas, como proteínas, polissacarídeos e polímeros sintéticos (Duis, 2011, p. 346, tradução nossa).

Ao analisar os temas conceituais apontados no relatório da ACS da década de 70 e a literatura, vemos o vasto número de estudos que apresentam dificuldades de aprendizagem pelos estudantes. Mesmo com a compartimentalização dos cursos de Química, ainda vemos um alto índice em concepções alternativas nos estudantes em conceitos básicos, tais como ligações químicas.

Duis, (2011) entrevistou 23 docentes, com experiência no ensino da disciplina de Química Orgânica, em busca de elencar quais conceitos que eles consideravam importantes e as dificuldades que eram observadas nos estudantes durante suas aulas. Os conceitos de química geral, identificados pelos docentes, como itens de revisão para os cursos de Química Orgânica estão apresentados no Quadro 2.

Quadro 2. Conceitos identificados para revisão durante o curso de Química Orgânica.

Conceitos	Número de respostas
Química Ácido-Base	18
Hibridação Orbital	11
Ligações	9
Estruturas de Lewis	8
Estruturas 3-D	8
Polaridade	6
Forças Intermoleculares	5
Estruturas de Ressonância	5
Termodinâmica e cinética	5

Fonte: Duis, 2011.

Ao considerar que a grande maioria dos cursos de Química Orgânica classificam como pré-requisito a disciplina de Química Geral, Duis (2011) pode observar que os docentes entrevistados esperam que esses estudantes cheguem a disciplina com uma série de conhecimentos em conceitos da própria Química Geral, mas ainda assim, esses docentes acreditam que esses conceitos devem ser revisados.

Em relação aos conceitos que devem ser ensinados na disciplina, estão, em ordem decrescente de citação pelos docentes: mecanismo de reação; relação entre estrutura e propriedade/reactividade; química ácido-base; ligação e estrutura; grupos funcionais e propriedades; e, deslocalização eletrônica e ressonância.

Duis (2011) ressalta algo de grande interesse ao questionar os docentes sobre as dificuldades que visualizadas em suas aulas: 9 docentes, de 23 entrevistas, não foram capazes de fornecer essa informação, para ela “vários participantes não pareciam acreditar que seus alunos tinham verdadeiros equívocos e, em vez disso, observavam “erros comuns de estudantes” ou “apenas um ponto particular que um aluno em particular não dominava” (p. 347, tradução nossa). Já os demais docentes, apresentaram mais de 30 dificuldades de aprendizagem dos estudantes, sendo algumas citadas pela autora como: carbono com mais ou menos de quatro ligações; a ressonância sendo uma troca rápida de elétrons; hidroxilas presentes em mecanismos de reações ácidas; rupturas de ligações como exotérmicas; entre outros.

Muitas metodologias já são utilizadas para se superar as dificuldades de aprendizagem dos estudantes, uma que podemos citar aqui é a utilização do contexto histórico na elaboração das aulas. Assim, o professor poderá identificar problemas no primórdio da construção do conhecimento científico, o que auxiliará na previsão das dificuldades de compreensão dos alunos durante o processo de aprendizagem e será válido para avaliar os ‘pré-requisitos conceituais’ para utilização no planejamento das aulas (Furió; Martinez, 2003; Azcona, et al., 2004).

Os pré-requisitos conceituais são classificados como os conceitos fundamentais que os estudantes necessitam aprender inicialmente para o estudo de um determinado conceito científico mais complexo em questão. Atualmente na literatura encontram-se poucos estudos sobre o estudo sobre os pré-requisitos conceituais, no entanto, alguns pesquisadores tornaram-se referência sobre o assunto (Furió; Furió, 2000; Furió; Martinez, 2003; Azcona, et al., 2004).

Rodrigues, Silva e Quadros (2011) estudaram as concepções que os estudantes de graduação apresentavam sobre os conceitos classificados como pré-requisitos para o ensino de Química Orgânica, e encontraram conceitos como ligações químicas, interações intermoleculares e estrutura de Lewis como primordiais.

Deste modo, considerando a falta de literatura sobre o assunto e o elevado índice de reprovação na área de Química Orgânica, conforme aqui já exposto, a presente pesquisa visa compreender os reais motivos pelos quais os estudantes apresentam tamanha dificuldade de compreensão na disciplina. Nosso ponto de partida será compreender quais os pré-requisitos conceituais que devem ser levados em conta no momento da elaboração de uma sequência didática para a aprendizagem de

conceitos da área de Orgânica e quais as dificuldades de aprendizagem que os estudantes apresentam sobre esses conceitos, revisando a literatura e pelo uso de instrumentos que identifiquem essas dificuldades junto aos sujeitos dessa pesquisa.

A compreensão desses pré-requisitos e a dificuldade que os estudantes apresentam sobre esses conceitos nos interessa, pois, para a continuidade dessa pesquisa, buscar-se-á a construção de subsídios para uma sequência didática focada no ensino Química Orgânica, nas quais sejam possíveis superar as dificuldades elencadas por esse estudo.

4. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Buscando a resposta à essas perguntas, desenvolvemos uma pesquisa de natureza qualitativa descritiva, pois esta ocupa um lugar de destaque devido à sua vasta possibilidade de se estudar os fenômenos não só que envolvem os seres humanos, mas também suas complexas relações estabelecidas em diferentes ambientes (Godoy, 1995).

Ludke e André (1986) elencam cinco características básicas da pesquisa qualitativa, sendo essas:

- i. o ambiente natural como fonte de coleta de dados;
- ii. os dados coletados são caracterizados como descritivos;
- iii. estabelece-se uma preocupação muito grande com o processo estrutural da pesquisa, sendo este muito maior do que a preocupação com o produto coletado;
- iv. ao significado que os participantes da pesquisa irão atribuir ao fenômeno são o ponto fundamental da atenção do pesquisador;
- v. tender-se-á seguir um processo indutivo para a análise de dados.

Segundo Minayo (2012) a primeira premissa que se deve compreender quando se trata de uma pesquisa qualitativa é a necessidade de se conhecer qual é a principal estrutura dessa pesquisa. Em suas palavras, é necessário

[...] conhecer os termos estruturantes das pesquisas qualitativas. Sua matéria prima é composta por um conjunto de substantivos cujos sentidos se complementam: experiência, vivência, senso comum e ação. E o movimento que informa qualquer abordagem ou análise se baseia em três verbos: compreender, interpretar e dialetizar (p. 622).

A segunda premissa apontada pela pesquisadora se baseia na definição do fenômeno sob a forma de uma questão problematizadora. Esta indagação inicial será o norte do pesquisador durante toda a trajetória da sua investigação (Minayo, 2012).

A pesquisa qualitativa permite constituir, partindo de uma perspectiva analítica, fatores de certo fenômeno a partir dos participantes da pesquisa, possibilitando tanto a análise de dados de maneira qualitativa, permitindo o aprofundamento da qualidade de interpretação captando as percepções dos participantes de modo a facilitar a compreensão do fato vivido por estes, ressaltando o modo que os mesmos percebem o fenômeno em questão, quanto de maneira quantitativa, buscando ilustrar e aprofundar a análise e interpretação dos dados (Camara, 2013).

O tratamento dos dados coletados foi realizado utilizando o método da Análise do Conteúdo, tomando como principal referência Laurence Bardin (1977), que descreveu esta análise como uma metodologia que toma como base a interpretação e qualificação das vivências que os participantes da pesquisa possuem, bem como as percepções e os significados que o objeto e/ou fenômeno apresenta.

Deste modo, apresenta-se a seguir, de maneira mais detalhada, os instrumentos utilizados na coleta de dados dessa pesquisa, bem como a descrição dos participantes da pesquisa e maiores detalhes sobre a metodologia utilizada para a análise dos dados aqui apresentados.

Essa pesquisa conta com três momentos principais:

- i. uma entrevista com docentes da área de Química Orgânica seguindo um protocolo semiestruturado (Instrumento 1 – discutido mais detalhadamente, juntamente com seus objetivos no Quadro 3);
- ii. a construção e validação de um questionário (Instrumento 2 – vide Apêndice B) que visará compreender o que os sujeitos de pesquisa conhecem sobre os pré-requisitos conceituais do processo de aprendizagem de Química Orgânica e, por fim,
- iii. a aplicação do Instrumento 2.

Aqui apresentaremos os dois instrumentos utilizados nesta pesquisa.

O Instrumento 1, consiste em uma entrevista realizada com docentes responsáveis pela disciplina Química Orgânica, visando o levantamento dos pré-requisitos conceituais necessários para um processo de Aprendizagem Significativa² na disciplina de Química Orgânica, cuja análise subsidiou a elaboração do Instrumento 2. Por sua vez, o Instrumento 2 consiste em um questionário constituído por questões abertas, cujo objetivo foi evidenciar o que os participantes dessa pesquisa compreendem sobre os conceitos aos quais chamamos pré-requisitos.

4.1 Instrumento de Coleta de Dados

4.1.1 Levantamento dos pré-requisitos – Realização das entrevistas

² A Aprendizagem Significativa aqui mencionada já foi definida em nosso Referencial Teórico, tendo como referência Ausubel (2003).

Utilizando como referências os estudos realizados pelo pesquisador Jenaro Guisasola Aranzábal e seus colaboradores (Furió; Guisasola, 1999; Furió, Azcona; Guisasola, 1999), pudemos identificar a possibilidade do uso de um questionário com questões abertas para o levantamento do que os alunos compreendiam e das dificuldades de aprendizagem que apresentam em relação aos pré-requisitos conceituais, no entanto, neste momento nos deparamos com a seguinte questão: Quais são esses pré-requisitos? Para responder a essa questão, pedimos a ajuda de cinco professores universitários que já atuam na área de ensino das disciplinas de Química Orgânica de suas respectivas unidades de ensino há pelo menos 5 anos.

Esta escolha dos docentes sustenta-se no fato de estes docentes que já haviam acompanhado diversas turmas, apresentassem uma visão mais ampliada sobre quais seriam os pré-requisitos conceituais que necessitávamos levantar e teoricamente possuírem maior clareza sobre as dificuldades de aprendizagem que os alunos apresentam na disciplina. Acreditamos que isso poderia auxiliar esses docentes quando estariam trabalhando com esses conceitos em suas disciplinas. Deste modo, foram realizadas entrevistas semiestruturadas segundo o protocolo constituído de 4 questões (Ludke; André, 1986).

As questões propostas na entrevistas foram inicialmente discutidas com os integrantes do Grupo de Pesquisa: Ensino de Química, Investigação Orientada, Linguagens e Formação Docente, onde sofreram algumas adequações e, em seguida, se realizou em 2013, na Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho no campus de Bauru a primeira entrevista para validar o instrumento, onde pudemos perceber que as 4 questões propostas se adequavam para o levantamento dos conceitos necessários à aprendizagem da área de Química Orgânica. No Quadro 3 apresentamos o objetivo das quatro questões utilizadas nessa pesquisa.

Quadro 3. Objetivos das questões do Instrumento 1 (Entrevista com os docentes)

Nº	Questão	Objetivo
1	Quais os conceitos mais importantes a serem estudados na disciplina Química Orgânica?	Reconhecer a visão do docente sobre o conteúdo que deve ser estudado na disciplina.
2	Quais conceitos básicos os alunos devem saber para começar a disciplina?	Verificar, pela perspectiva do docente, quais os conceitos fundamentais que a disciplina em si exige para o desenvolvimento do aluno no decorrer do curso de Química Orgânica.
3	Quais as principais defasagens conceituais os alunos apresentam ao chegar na disciplina?	Verificar se o docente consegue observar pontos de defasagem conceitual nos alunos de modo que se justifiquem as dificuldades de aprendizagem que possam ser observadas no momento da aplicação do questionário.
4	Quais os pré-requisitos conceituais necessários para o estudo do conceito de Ressonância?	Compreender se os docentes têm consciência da existência de conceitos classificados como pré-requisitos; Elencar, em conjunto com o docente, quais os conceitos fundamentais devem ser levados em conta no processo de ensino e aprendizagem do conceito de Ressonância.

Fonte: a autora.

As entrevistas foram gravadas em áudio, transcritas na íntegra de modo que nenhuma fala fosse excluída no momento da análise dos dados.

Todos os docentes entrevistados se mostraram à vontade com o gravador e autorizaram o uso da gravação e do material produzido nesta pesquisa. O modelo de termo utilizado para consentimento das entrevistas é apresentado no apêndice A.

Após a análise dos dados obtidos, imaginamos que somente a questão 2 seria suficiente para listar os pré-requisitos conceituais necessários para essa pesquisa. No entanto, optamos por introduzir uma questão com um conceito em específico de estudo da área de Química Orgânica (ressonância), a questão 4, para nos ajudar nessa identificação.

Em nosso entendimento, ambas as questões (2 e 4) teriam os mesmos pré-requisitos ou, no caso da questão 4, os docentes poderiam abranger alguns conceitos adicionais já estudados na área em questão. Contudo, na seção sobre as análises das entrevistas, será possível evidenciar que os próprios docentes entrevistados apresentam dificuldade em identificar os pré-requisitos fundamentais para o estudo de Química Orgânica. Por isso, daremos maior evidência à análise dessa questão mais adiante.

As análises produzidas a partir do Instrumento 1 subsidiaram a sequência de construção de atividades para a continuidade da pesquisa, auxiliando na elaboração do questionário (Instrumento 2), uma vez que ao elencar esses conceitos, elaboramos as questões que o iriam compor, buscando sempre a utilização de dois ou mais pré-requisitos conceituais em uma única questão, a fim de abranger um levantamento mais amplo dos conceitos presentes na estrutura cognitiva dos participantes da pesquisa ao responder as questões.

Os métodos utilizados para a análise das entrevistas foi a Análise do Conteúdo. Apresenta-se a descrição desta análise no item 4.3.1 e as análises realizadas são descritas no item 5.1 desta pesquisa.

Os principais conceitos elencados pelos docentes como pré-requisitos conceituais para o estudo do conceito da Química Orgânica foram: *Ligação química, Hibridização, Estabilidade dos Compostos, Polaridade das Ligações/Polaridade das moléculas, Teoria dos Orbitais Moleculares, Propriedades periódicas (principalmente eletronegatividade), Geometria Molecular, Atomística e Uso de modelos*. Estes conceitos foram utilizados na construção do Instrumento 2 descrito a seguir.

4.1.2 Elaboração do questionário

O objetivo principal para a construção do questionário foi a identificação da compreensão dos participantes da pesquisa sobre os conceitos, chamados aqui de pré-requisitos para uma aprendizagem significativa de Química Orgânica. Este questionário (Instrumento 2) foi utilizado para a coleta de dados e está apresentado no Apêndice B.

Cada questão elaborada apresenta um objetivo geral, ou seja, verificar se o conceito requisitado era de domínio do aluno. Os conceitos utilizados na elaboração do questionário foram extraídos da análise do Instrumento 1 (vide item 5.1).

Ao todo foram elaboradas cinco questões abertas, sendo todas voltadas para a identificação das concepções dos alunos acerca dos pré-requisitos elencados, portanto, todas elas solicitavam uma resposta construída, escrita manualmente e individualmente pelo aluno. Em seus estudos Hill e Hill (1998, p. 18) apontam tanto as vantagens como as desvantagens do uso das questões abertas na elaboração de questionários, sendo elas:

Vantagens: Podem dar mais informação; Muitas vezes dão informação mais “rica” e detalhada; Por vezes dão informação inesperada. Desvantagens: Muitas vezes as respostas têm de ser “interpretadas”; É preciso muito tempo para codificar as respostas; Normalmente é preciso utilizar pelo menos dois avaliadores na “interpretação” e codificação das respostas; As respostas são mais difíceis de analisar numa maneira estatisticamente sofisticada e a análise requer muito tempo.

Apesar de conhecer todas essas variáveis, a elaboração deste Instrumento 2 foi assim conduzida devido à falta de literatura disponível acerca do tema escolhido para esta pesquisa. Tomamos o cuidado para que todas as questões fossem claras e objetivas.

As questões elaboradas inicialmente foram respondidas por integrantes do Grupo de Pesquisa: Ensino de Química, Investigação Orientada, Linguagens e Formação Docente, buscando possíveis erros ou duplo entendimento. Nesse momento, as questões foram discutidas e sofreram algumas adequações.

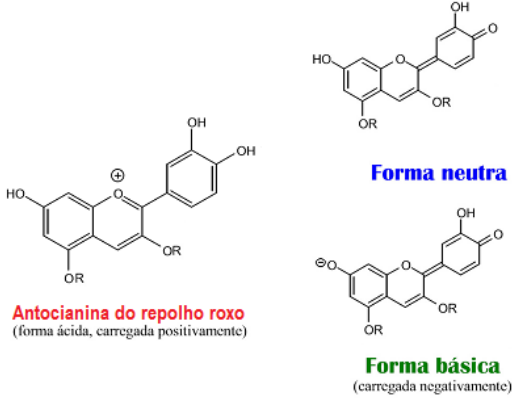
Antes da aplicação do Instrumento 2, esse foi validado por três pesquisadores que já possuem uma vasta experiência com pesquisas como essa e as questões foram novamente reformuladas para posterior aplicação. Os pesquisadores consultados foram: Jenaro Guisasola Aranzabal, da Universidade do País Basco (San Sebastian, Espanha), Carles Furió Más, da Universidade de Valência (Valência, Espanha) e Socorro Intxausti, do Colegio Alemán San Alberto Magno (San Sebastian, Espanha).

Apresentamos no Quadro 4 as seis questões finais que compõem o Instrumento 2, juntamente com seus objetivos e os pré-requisitos a elas associados. O Instrumento 2 foi aplicado para 61 alunos de diferentes Universidades Públicas e tanto a escolha desses participantes, bem como maiores detalhes das aplicações estão descritas no item 4.2 desta pesquisa.

Quadro 4. Questões elaboradas para o Instrumento 2 com seus respectivos pré-requisitos associados e o objetivo esperado para cada questão.

Nº 1	Questão	<i>Como você explica as ligações que se formam entre um átomo de Cálcio e os átomos de halogênios? Quais tipos de ligações químicas podemos esperar?</i>
	Pré-requisito associado	Ligações Químicas e Propriedades periódicas (Eletronegatividade e Eletropositividade).
	Objetivo	(i) Avaliar as noções que o aluno tem sobre as teorias de ligações químicas. (ii) Reconhecer se o aluno considerará as propriedades periódicas (eletropositividade do cálcio e a eletronegatividade do halogênio) para avaliar o grau de covalência e o caráter iônico de uma ligação química.
Nº 2	Questão	<i>Explique utilizando apenas propriedades periódicas as ligações que o enxofre faz nos seguintes compostos: SO_4^{2-} e SF_6. Qual seria a geometria molecular e a polaridade de cada espécie?</i>
	Pré-requisito associado	Propriedades periódicas (Eletronegatividade), Geometria molecular e Polaridade representada no uso de Modelos químicos.
	Objetivo	(i) Verificar se o aluno consegue construir mentalmente figuras geométricas tridimensionais e, usando o modelo da repulsão dos pares de elétrons da camada de valência, aplicar esses conceitos à geometria molecular. (ii) Relacionar geometria molecular e eletronegatividade para inferir a polaridade de ligações e moléculas.
Nº 3	Questão	<i>Explique em termos de energia de ligação as ligações C-C e C-O. Represente-as através de um desenho.</i>
	Pré-requisito associado	Ligação Química, Hibridização e Propriedades periódicas (Eletronegatividade).
	Objetivo	(i) Saber relacionar a hibridização existente nas ligações químicas solicitadas com a diferença de intensidade de forças devido a eletronegatividade.
Nº 4	Questão	<i>Represente através de um desenho a estrutura das três moléculas a seguir considerando suas geometrias moleculares 3D e as zonas de maior densidade eletrônica de cada uma delas. Acrescente os comentários que você julgar necessários. Ácido acético – Tricloro acético – 2-butenos</i>
	Pré-requisito associado	Uso de Modelos, Geometria molecular e Deslocalização de Elétrons (Densidade eletrônica).
	Objetivo	(i) Verificar se o aluno tem um bom entendimento quanto às nomenclaturas utilizadas em Química. (ii) Verificar se o aluno consegue aplicar os modelos de geometria molecular tanto com moléculas semelhantes quanto com moléculas diferentes. (iii) Observar se o aluno reconhece a deslocalização de elétrons e os efeitos causados na densidade eletrônica dessas moléculas.

Quadro 4. Continuação

Nº 5	Questão	<i>Observa-se que o cézio reage com água de maneira mais violenta que o sódio. Justifique.</i>
	Pré-requisito associado	Propriedades periódicas (Raio atômico) e atômica.
	Objetivo	(i) Evidenciar se o aluno tem bem compreendido a relação entre raio atômico e sua influência nas reações químicas. (ii) Verificar se o aluno reconhece o efeito de blindagem dos elétrons das camadas mais externas nas reações químicas.
Nº 6	Questão	<i>Sabe-se que as antocianinas dão indicadores de pH. O repolho roxo e a flor hortências são utilizados cotidianamente como indicadores por muitos professores de química para identificar ácidos e bases. As formas destas antocianinas em diferentes pHs são apresentadas abaixo com suas respectivas cores. Justifique em termos de estrutura a diferença destas cores.</i>  The image displays three chemical structures of anthocyanins, which are natural pigments. The top structure is the acid form, labeled 'Antocianina do repolho roxo (forma ácida, carregada positivamente)' in red text. It features a central oxygen atom with a positive charge (O⁺) bonded to two benzene rings, each substituted with a hydroxyl group (OH) and an 'OR' group. The bottom-left structure is the neutral form, labeled 'Forma neutra' in blue text. The bottom-right structure is the basic form, labeled 'Forma básica (carregada negativamente)' in green text, showing a negative charge (O⁻) on one of the oxygen atoms.
	Pré-requisito associado	Efeito da Ressonância e sua aplicação.
	Objetivo	(i) Compreender se o aluno apresenta domínio de conhecimento sobre o efeito de ressonância, deslocalização de elétrons em moléculas orgânicas.

Fonte: a autora.

A Questão 3 gerou um conflito de interpretação e o possível duplo sentido em seu entendimento, algo evidenciado por dois docentes que auxiliaram na construção dos níveis de adequação das respostas as questões. Portanto, optamos por não a considerar nessa pesquisa.

Para melhor compreendermos a associação das questões propostas no Instrumento 2, elaboramos o Quadro 5, assim foi possível esclarecer quais questões que trariam cada um desses pré-requisitos conceituais e a sua importância para o estudo de Química Orgânica.

Quadro 5. Inter-relação entre os pré-requisitos conceituais, as questões do Instrumento 2 e seus objetivos.

Pré-requisito	Questão	Objetivo das questões	Importância do pré-requisito para a construção dos conceitos em Química Orgânica
Ligação química	1	1. Avaliar as noções que o aluno tem sobre as teorias de ligações químicas.	Indispensável para a compreensão dos aspectos energéticos envolvidos na formação dos compostos, estabilidade química e reações.
Estabilidade dos compostos	2 e 4	2. Verificar se o aluno consegue construir mentalmente figuras geométricas tridimensionais e, usando o modelo da repulsão dos pares de elétrons da camada de valência, aplicar esses conceitos à geometria molecular. 4. Verificar se o aluno consegue aplicar os modelos de geometria molecular tanto com moléculas semelhantes quanto com moléculas diferentes.	Importante para se avaliar a espontaneidade de reações e comparar energeticamente reações análogas, por exemplo.
Ligações polarizadas/Densidade eletrônica	2 e 4	2. Verificar se o aluno consegue construir mentalmente figuras geométricas tridimensionais e, usando o modelo da repulsão dos pares de elétrons da camada de valência, aplicar esses conceitos à geometria molecular. 4. Observar se o aluno reconhece a deslocalização de elétrons e os efeitos causados na densidade eletrônica dessas moléculas.	Necessário para aprendizagem de mecanismos de reações e tendência de propriedades químicas e físicas dos compostos.

Propriedades periódicas (Eletronegatividade, eletropositividade, raio atômico)	1, 2, 4 e 5	1. Reconhecer se o aluno considerará as propriedades periódicas para avaliar o grau de covalência e o caráter iônico de uma ligação química. 2. Relacionar geometria molecular e eletronegatividade para inferir a polaridade de ligações e moléculas. 4. Observar se o aluno reconhece a deslocalização de elétrons e os efeitos causados na densidade eletrônica dessas moléculas. 5. Evidenciar se o aluno tem bem compreendido a relação entre raio atômico e sua influência nas reações químicas.	Importante para mecanismos de reações e previsão de propriedades químicas e físicas dos compostos.
Geometria Molecular	2 e 4	2. Verificar se o aluno consegue construir mentalmente figuras geométricas tridimensionais e, usando o modelo da repulsão dos pares de elétrons da camada de valência, aplicar esses conceitos à geometria molecular. 4. Verificar se o aluno consegue aplicar os modelos de geometria molecular tanto com moléculas semelhantes quanto com moléculas diferentes.	Fundamental para estudar isomeria.
Atomística	5	5. Verificar se o aluno reconhece o efeito de blindagem dos elétrons das camadas mais externas nas reações químicas.	Imprescindível para compreender ligações químicas.
Uso de Modelos	2 e 4	2. Verificar se o aluno consegue construir mentalmente figuras geométricas tridimensionais e, usando o modelo da repulsão dos pares de elétrons da camada de valência, aplicar esses conceitos à geometria molecular. 4. Verificar se o aluno consegue aplicar os modelos de geometria molecular tanto com moléculas semelhantes quanto com moléculas diferentes.	Importante para mecanismos de reações e isomeria.

Fonte: a autora.

Considerando os conceitos apontados como pré-requisitos conceituais pelos docentes e a inter-relação entre eles e as questões do Instrumento 2 (Quadro 5), percebemos que as Questões 1 e 2 seriam suficientes, em uma primeira análise, para identificar as principais deficiências dos estudantes em relação a esses pré-requisitos, com exceção do conceito de atomística.

Portanto, mais adiante, apresentaremos as análises realizadas apenas para a questão 1 e 2 do Instrumento 2.

4.2 A escolha dos Participantes da Pesquisa e Coleta de Dados.

Tomando como partida os pré-requisitos conceituais necessários para o ensino de Química Orgânica elencados pelos docentes e o Instrumento 2 (Apêndice B), foi necessário ponderar minuciosamente quais seriam os participantes da pesquisa ideais para a coleta de dados.

Para isso, consideramos cada um dos pré-requisitos conceituais elencados e fizemos uma busca no currículo de Química, para cada uma das disciplinas específicas, evidenciando em quais momentos esses conceitos seriam estudados.

Essa triangulação de informações permitiu identificar em que período do curso o aluno, colaborador desta pesquisa, deveria estar cursando ou já ter cursado, para ter o contato com todos os conceitos em questão, ou seja, os pré-requisitos necessários à aprendizagem de Química Orgânica

O Quadro 6 apresenta nove disciplinas da estrutura curricular de um curso superior de Química (enquadrado nas Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química, Bacharelado e Licenciatura Plena) bem como os respectivos pré-requisitos encontrados em seus conteúdos propostos para estudo e o período em que normalmente é estudado.

É importante considerar que o Quadro 6 foi montado tomando como norte apenas as disciplinas específicas do curso de Química, uma vez que estão presentes no núcleo comum do Bacharelado ou Licenciatura, deixando de lado as disciplinas que objetivam a aplicação da teoria à prática (disciplinas laboratoriais), disciplinas vinculadas a outros Departamentos (como por exemplo: Computação, Física, Biologia, entre outros) e disciplinas específicas para cursos como o Bacharelado ou as pedagógicas, específicas para a Licenciatura.

Assim sendo, associamos as informações obtidas no Quadro 2, ou seja, os pré-requisitos conceituais elencados pelos professores às disciplinas onde eles são estudados.

O Quadro 6 apresenta um resumo dessa busca entre conceito (pré-requisito) e a disciplinas. A análise mais detalhada podem ser encontrada no Apêndice G dessa pesquisa.

Quadro 6. Apresentação das disciplinas da área de Química juntamente com os pré-requisitos conceituais apontados neste estudo para o processo de aprendizagem da área de Química Orgânica.

Área da Química	Estudo do pré-requisito	Época de estudo
Química Geral	- Ligações Químicas - Hibridização - Propriedades periódicas - Atomística - Uso de Modelos - Introdução da teoria dos orbitais moleculares (orbitais atômicos) - Balanço de cargas	1º ano do curso (pode ser dividida em Química Geral I e II)
Química Inorgânica	- Propriedades periódicas - Teoria dos Orbitais Moleculares - Deslocalização de elétrons - Estabilidade dos compostos - Geometria molecular - Uso de Modelos - Teoria de acidez e basicidade	2º ano do curso (pode ser dividida em Química Inorgânica I e II)
Química Computacional	- Geometria molecular - Teoria dos Orbitais Moleculares - Propriedades periódicas	1º ano do curso
Química Analítica Qualitativa	- Teoria de acidez e basicidade	1º ano do curso
Química Orgânica	- Propriedades periódicas - Hibridização - Estabilidade dos compostos - Uso de Modelos - Teoria de acidez e basicidade	3º ano do curso adiante (pode ser dividida em Química Orgânica I, II e até III)
Bioquímica	- Ligação Química - Geometria molecular - Uso de Modelos	Anos finais do curso

Fonte: a autora.

Cabe ressaltarmos aqui que o Quadro supracitado apresenta dados referentes a uma única proposta de currículo para o curso de Licenciatura e Bacharelado em Química, construído respeitando os documentos oficiais que balizam a aprovação e reconhecimento dos cursos de formação.

Percebe-se que todos os pré-requisitos conceituais elencados no Instrumento 1 estão contemplados no curso de Química, no entanto, ao analisarmos o Quadro 6 mais profundamente é possível notar que os nove pré-requisitos estão distribuídos em duas disciplinas básicas, sendo elas: Química Geral e Química Inorgânica.

Pode-se observar que os pré-requisitos continuam sendo estudados diversas vezes em outras disciplinas, sendo essas de caráter mais específico, como é o caso de Química Computacional ou Química Analítica Qualitativa.

Portanto, concluímos que os alunos que seriam escolhidos para a participação nesta pesquisa deveriam ter completado duas disciplinas

fundamentais: Química Geral e Química Inorgânica. Muitas vezes essas disciplinas são divididas em semestres (por exemplo: Química Geral I e Química Geral II; Química Inorgânica I e Química Inorgânica II), assim sendo, tomamos o cuidado em observar atentamente a matriz curricular de todas as Unidades de Ensino nas quais essa pesquisa se realizou, de modo que obrigatoriamente todos os participantes já tivessem concluído essas disciplinas.

Deste modo, a coleta de dados foi realizada em quatro instituições públicas do Estado de São Paulo e do Paraná. No Estado de São Paulo tivemos acesso a três Universidade Públicas, nas cidades de Araraquara, Bauru e Presidente Prudente. Já no Estado do Paraná, o questionário foi aplicado em uma Universidade na cidade de Ponta Grossa.

Essas universidades foram selecionadas para a pesquisa a partir do contato com docentes que se dispuseram a participar e autorizaram a aplicação do Instrumento 2 durante suas aulas, respeitando o requisito de que os alunos participantes tivessem concluído as duas disciplinas supracitadas.

Todos os alunos que participaram dessa pesquisa foram esclarecidos sobre os objetivos da pesquisa e autorizaram previamente o uso de suas respostas. O modelo do Termo de Autorização utilizado encontra-se no Apêndice A, juntamente com a autorização do Comitê de Ética para o desenvolvimento dessa pesquisa.

A pesquisa contou com a participação de 61 alunos dos cursos de Licenciatura em Química, com idades variadas e a única exigência era que eles já tivessem finalizado seus estudos nas disciplinas de Química Geral e Química Inorgânica. Considerando essa exigência, os participantes da pesquisa apresentavam uma característica em comum nas quatro Unidades de Ensino: todos estavam no terceiro ano do curso e já tinham iniciado seus estudos nas disciplinas de Química Orgânica, mais precisamente estavam no primeiro semestre de estudo, em Química Orgânica I.

Deste total de alunos, nove eram da cidade de Araraquara, vinte e um de Bauru, dezoito de Presidente Prudente e treze de Ponta Grossa.

O Quadro 7 apresenta de modo mais detalhado essas informações.

Quadro 7. Localização das Universidades e número de participantes no momento da aplicação do Instrumento 2 dessa pesquisa.

Cidade da Universidade	Número de participantes da pesquisa
Araraquara	9
Bauru	21
Presidente Prudente	18
Ponta Grossa	13
Total	61

Fonte: a autora.

Vale ressaltar que no Instrumento 2, os participantes não foram identificados e não havia campo no qual o aluno pudesse indicar sua Unidade de Ensino, portanto essa informação não foi levado em conta como pressuposto no momento da análise de dados.

Esta medida teve como justificativa o fato de que para os objetivos propostos, ou seja, identificar as dificuldades apresentadas em geral pelos participantes, sem levar em consideração a instituição que eles estão vinculados ou o método de ensino utilizado pelos respectivos.

No momento da aplicação do Instrumento 2, todos os participantes estavam em suas respectivas salas de aula, supervisionados pelo pesquisador ou por um professor colaborador.

Caso algum participante solicitasse fazer uso de algum livro, tabela periódica ou suas próprias anotações, essa possibilidade foi autorizada, uma vez que nosso objetivo era identificar como o aluno utilizava e aplicava o pré-requisito em uma questão aberta, ou seja, na qual a resposta não é evidente. No entanto, os únicos participantes que fizeram uso da classificação periódica, foram alguns dos participantes de Ponta Grossa.

Ao final dessa pesquisa, no Apêndice F, apresentamos a título de ilustração, dois questionários respondidos.

O Instrumento 2 foi analisado em níveis de adequação, de modo semelhante ao proposto por Carmo (2015), no entanto, como complemento para a adequação dos níveis explicativos utilizamos a Análise do Conteúdo, conforme descrevemos a seguir.

4.3 A Análise de dados

4.3.1 A análise do conteúdo

Apesar de existirem evidências do seu uso desde os primórdios, na qual a humanidade buscava a interpretação dos livros sagrados, a Análise do Conteúdo só foi considerada um método de tratamentos de dados em 1977 com a publicação da obra de Laurence Bardin com a sistemática do método em minuciosos detalhes (Bardin, 1977; Camara, 2013; Silva, Gobbi e Simão, 2005).

Para Bardin (1977) a análise do conteúdo aplica-se a qualquer forma de comunicação, independentemente dos seus instrumentos de coleta de dados, sendo que a metodologia possui duas funções básicas. Em suas palavras (p. 30):

- uma função heurística: a análise de conteúdo enriquece a tentativa exploratória, aumenta a propensão à descoberta. É a análise de conteúdo “para ver o que dá”.
- uma função de “administração da prova”. Hipóteses sob a forma de questões ou afirmações provisórias servindo de diretrizes, apelarão para o método de análise sistemática para serem verificadas no sentido de uma confirmação ou de uma afirmação. É a análise de conteúdo “para servir de prova”.

Segundo a autora, a análise se compõe de diversas técnicas e visa descrever o conteúdo emitido durante o processo de comunicação, sendo ele por alocação ou a elaboração de um texto. Portanto, o foco da metodologia proposta é de estudar o processo comunicativo, não sendo classificado como um instrumento, mas um leque de apetrechos, marcados por uma vasta diversidade de adaptações ao determinado campo de aplicação, sendo estabelecido em:

[...] um conjunto de técnicas de análise das comunicações, visando, por procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens, obterem indicadores quantitativos ou não, que permitam a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção/recepção (variáveis inferidas) destas mensagens (p.42).

Para Oliveira (2008), a análise do conteúdo possibilita:

O acesso a diversos conteúdos, explícitos ou não, presentes em um texto, sejam eles expressos na axiologia subjacente ao texto analisado; implicação do contexto político nos discursos; exploração da moralidade de dada época; análise das representações sociais sobre determinado objeto; inconsciente coletivo em determinado tema; repertório semântico ou sintático de determinado grupo social ou profissional; análise da

comunicação cotidiana seja ela verbal ou escrita, entre outros (Oliveira, 2008, p. 570).

No entanto, a metodologia da análise do conteúdo deve-se adequar ao domínio e ao objetivo do estudo, portanto, ela deve ser constantemente reinventada, não existindo um passo-a-passo (Bardin, 1977). Ao iniciar os estudos nessa metodologia, o pesquisador deve optar pela vertente teórica que seguirá, sendo que essas vertentes podem ser resumidas em diversas técnicas.

Cavalcante, Calixto e Pinheiro, em um artigo de revisão da metodologia publicado em 2014 elencam essas diferentes técnicas. Em suas palavras,

[...] são elas: análise temática ou categorial, análise de avaliação ou representacional, análise de enunciação, análise da expressão, análise das relações ou associações, análise do discurso, análise léxica ou sintática, análise transversal ou longitudinal, análise do geral para o particular, análise do particular para o geral, análise segundo o tipo de relação mantida com o objeto estudado, análise dimensional, análise de dupla categorização em quadro de dupla entrada, dentre outras (p. 14).

Torna-se claro que cada técnica citada apresenta particularidades e deste modo produzirá resultados distintos, porém “permitem a produção de conhecimento sobre o objeto de estudo, bem com suas relações” (Cavalcante; Calixto; Pinheiro, 2014, p. 14).

Bardin (1977) elenca em seu livro que existem três polos cronológicos para a organização da análise de conteúdo, sendo o inicial a pré-análise, seguido da exploração do material e, por fim, o tratamento dos resultados, a inferência e a interpretação.

A pré-análise resume-se na fase de organização. Nesse momento o pesquisador deve fazer inicialmente uma leitura flutuante, onde o objetivo torna-se em estabelecer um contato com os documentos que serão analisados posteriormente, conhecendo o material e, possivelmente, reformulando hipóteses ou pressupostos que já eram conhecidos pelo pesquisador (Bardin, 1977; Cavalcante; Calixto; Pinheiro, 2014, p. 14; Oliveira, 2008). Nas palavras de Bardin (1977) a pré-análise,

Corresponde a um período de intuições, mas, tem por objectivo tornar operacionais e sistematizar as ideias iniciais, de maneira a conduzir a um esquema preciso do desenvolvimento das operações sucessivas, num plano de análise. [...] esta primeira fase possui três missões: a escolha dos documentos a serem submetidos à análise, a formulação das hipóteses e dos

objetivos e a elaboração de indicadores que fundamentem a interpretação final. (p. 95)

Durante a pré-análise deve-se escolher os documentos que serão susceptíveis no fornecimento das informações necessárias para a análise. A constituição do *corpus* é a escolha de todos os documentos que dirão respeito à composição do universo estudado, ou seja, “é o conjunto dos documentos tidos em conta para serem submetidos aos procedimentos analíticos” (Bardin, 1997, p. 96). Para essa escolha, deve-se seguir 4 regras principais, sendo elas:

1. Exaustividade: deve-se esgotar todos os elementos contidos do texto;
2. Representatividade: determina uma amostragem do material;
3. Homogeneidade: os documentos escolhidos devem todos conter o mesmo tema em discussão;
4. Pertinência: documentos escolhidos devem ser adequados ao objetivo do estudo.

Ainda nessa fase devemos formular hipóteses, ou seja, devemos organizar as suposições da intuição do pesquisador, permanecendo em suspenso enquanto não recorrer aos procedimentos de análises. São os objetivos que definirão a intenção geral de uso dos resultados obtidos.

Nas palavras de Bardin, “Levantar uma hipótese é interrogarmo-nos: «será verdade que, tal como é sugerido pela análise a priori do problema é pelo conhecimento que dele possuo, ou, como as minhas primeiras leituras me levam a pensar, que...?»” (1977, p. 98). No entanto, a autora deixa claro que não é obrigatória a formulação das hipóteses no momento de se realizar os procedimentos de análise, uma vez que em algumas técnicas não se utilizam ideias pré-concebidas do pesquisador para que assim o material possa se comunicar, ou seja, “falar” (p. 98) com o pesquisador.

Na pré-análise também se elaboram os índices e indicadores do trabalho, que irão fundamentar a interpretação final dos resultados. Bardin descreve a elaboração do índice como,

[...]o índice pode ser a menção explícita de um tema numa mensagem. Se se parte do princípio, de que este tema possui tanto mais importância para o locutor, quanto mais frequentemente é repetido (caso da análise sistemática quantitativa), o indicador correspondente será a frequência deste tema de maneira relativa ou absoluta, relativamente a outros (1977, p. 100).

E completa dizendo que a partir daí se concebem os indicadores:

Uma vez escolhidos os índices, procede-se à construção de indicadores precisos e seguros. Desde a pré-análise devem ser determinadas operações: de recorte do texto em unidades comparáveis de categorização para análise temática e de modalidade de codificação para o registro de dados. (BARDIN, 1977, p.100)

Por fim, chegaremos na última fase da pré-análise: a preparação do material. Aqui iremos fazer uma “preparação formal («edição»)” (p. 100), dos documentos a serem analisados. Essa preparação para a autora “pode ir desde o alinhamento dos enunciados intactos, proposição por proposição, até à transformação linguística dos sintagmas” (p. 101).

A maior parte dos procedimentos de análises nesse método fazem uso de um processo de categorização. Essa categorização é um processo no qual se classificam os elementos que constituem um conjunto definido previamente. Bardin descreve que essas categorias são rubricas ou classes, que estão reunidas em um grupo de elementos, que para a análise do conteúdo, são denominadas unidades de registro. O critério de categorização pode ser semântico, sintático, léxico ou expressivo. Segundo Bardin “classificar elementos em categorias, impõe a investigação do que cada um deles tem em comum com outros. O que vai permitir seu agrupamento, é a parte comum existente entre eles” (1977, p. 118).

Partindo do ponto que se deseja codificar o material para a análise do conteúdo, pode-se elaborar um sistema de categorias, uma vez que a categorização tem como objetivo “fornecer, por condensação, uma representação simplificada dos dados brutos” (1977, p. 119). Seria como se nós estivéssemos desconstruindo o instrumento para reconstruí-lo no momento da análise.

O segundo polo cronológico para a elaboração dessa análise é a exploração do material, no qual o pesquisador irá cumprir todas as decisões tomadas na fase da pré-análise. A análise por categorias é a análise mais citada dessa metodologia. Para Bardin ela “funciona por operações de desmembramento do texto em unidades, em categorias segundo reagrupamentos analógicos” (1977, p. 153), dentre uma vasta possibilidade de categorizações, a verificação dos temas ou “análise temática” (1977, p. 153), é simples, clara, objetiva e rápida de se aplicar a discursos diretos.

E por fim, temos o terceiro e último polo: o tratamento dos resultados obtidos e suas interpretações. Para Bardin:

Os resultados brutos são tratados de maneira a serem significativos («falantes») e válidos. Operações estatísticas simples (percentagens), ou mais complexas (análise factorial), permitem estabelecer quadros de resultados, diagramas, figuras e modelos, os quais condensam e põem em relevo as informações fornecidas pela análise. (1977, p. 101)

Uma vez que o pesquisador dispuser dos resultados significativos da análise, ele poderá propor inferências e interpretar esses dados seguindo os objetivos previstos. Existe também a possibilidade de que os resultados levem o pesquisador para descobertas inesperadas ao final da análise.

A Análise do Conteúdo foi utilizada duas vezes no decorrer desta pesquisa, sendo uma na análise das entrevistas iniciais com os docentes (Instrumento 1) e após uma primeira classificação em níveis de adequação (para as respostas dos participantes ao Instrumento 2), as respostas consideradas adequadas e parcialmente adequadas, foram reanalisadas utilizando novamente a metodologia, como descrevemos a seguir.

Cabe ressaltar que a Análise do Conteúdo, no momento da análise do Instrumento 1, nos possibilitou a identificação dos pré-requisitos conceituais para o processo de aprendizagem dos conceitos de Química Orgânica, durante a fala dos docentes entrevistados, conceitos esses que iriam nortear todas as proposições feitas por esta pesquisa, na construção do Instrumento 2.

No momento da análise do Instrumento 2, pudemos observar que mais uma vez a Análise do Conteúdo nos seria útil, uma vez que a partir das categorias e unidades de sentido identificadas pudemos caracterizar qual o conceito Químico o participante poderia estar fazendo uso ao responder determinada questão, assim, conseguimos avaliar se ele apresentava ou não o pré-requisito em sua estrutura cognitiva.

4.3.2 A análise do Instrumento 1 – Entrevistas

O método escolhido para a análise dos dados da entrevista realizada com os professores no Instrumento 1 conforme já explicitado, foi a Análise de Conteúdo. Portanto, após a transcrição das entrevistas, as respostas dos

professores foram analisadas categorizando os conceitos indicados dos pelos docentes.

Os professores que participaram dessa entrevista, não foram identificados com seus nomes verdadeiros. Foram utilizados codinomes para referenciá-los, sendo: Alves, Bia, Júnior, Marcos e Helena.

Todos os cinco docentes entrevistados são atuantes da área de Química Orgânica há pelo menos 5 anos, conforme já citado anteriormente.

O Quadro 8 apresenta a formação desses docentes.

Quadro 8. Formação e área de atuação dos docentes entrevistados para a elaboração do Instrumento 2.

Docente	Formação	Área de Atuação
Bia	Graduação em Química, Doutorado em Química Analítica, Pós-doutorado em Química Ambiental	Química Orgânica e Bioquímica
Helena	Bacharel em Química, Mestrado e Doutorado em Química	Química Orgânica
Marcos	Licenciatura em Química, Mestrado e Doutorado em Química	Química Orgânica
Júnior	Bacharel em Química, Licenciatura em Química, Bacharelado com atribuições Tecnológicas e Doutorado em Química Orgânica	Química Orgânica
Alves	Bacharel em Química, Doutorado em Química Orgânica, Pós-doutorado na área de Biológicas, Livre-docente.	Química Orgânica e Bioquímica

Fonte: a autora.

A análise das entrevistas será discutida mais detalhadamente no item 5.1 desta pesquisa.

Partindo dos conceitos elencados pelos docentes, extraímos os pré-requisitos conceituais necessários para o estudo da disciplina em questão, assim elaboramos as questões do Instrumento 2, conforme já especificado no 4.1.2.

4.3.3 Níveis de adequação das respostas dos participantes

Para analisar as respostas dos estudantes, foram elaborados níveis de adequações para cada questão do Instrumento 2. Para isso, solicitamos o auxílio de cinco docentes. Os docentes, atuantes em cursos de graduação em Química (licenciatura e bacharelado), responderam o Instrumento 2, elaborando um conjunto de respostas consideradas a mais adequada possíveis, como se estivessem corrigindo-as, de maneira semelhante a uma atividade de avaliação.

Vale ressaltar que esses docentes foram escolhidos levando em consideração suas formações, suas áreas de pesquisa na universidade e as disciplinas que ministram no longo dos cursos. Esses cuidados foram tomados porque utilizamos como critério para a escolha dos participantes que tivessem concluído as disciplinas Química Geral e Química Inorgânica.

Os cinco docentes são professores em Universidades Públicas, e todos já ministraram, ao longo de suas carreiras, aulas nas disciplinas de Química Geral. Três deles atuam diretamente na área de Química Inorgânica, enquanto dois atuam em Química Orgânica.

No Quadro 9, apresentamos a formação e área de atuação de cada um dos docentes que auxiliaram na elaboração dos níveis de adequação dos questionários. A esses docentes, atribuímos codinomes para preservar suas identidades: Armando, Cláudio, Marcos, Júnior e Miguel. Dois desses professores, aqui chamados de Marcos e Júnior, contribuíram também para a elaboração do Instrumento 1, como pode-se observar no item 4.3.2.

Quadro 9. Formação e área de atuação dos docentes que auxiliaram respondendo o Instrumento 2

Docente	Formação	Área de Atuação
Armando	Licenciatura em Química, Mestrado em Química Inorgânica e Doutorado em Educação para a Ciência.	Educação em Ciências
Cláudio	Bacharelado em Química com atribuições Tecnológicas, Licenciatura em Química e Doutorado em Química	Química Inorgânica
Marcos	Licenciatura em Química, Mestrado e Doutorado em Química	Química Orgânica
Júnior	Bacharel em Química, Licenciatura em Química, Bacharelado com atribuições Tecnológicas e Doutorado em Química Orgânica	Química Orgânica
Miguel	Bacharelado em Química, Especialização em Mecanismos de Reações Inorgânicas e Doutorado em Química Inorgânica.	Química Inorgânica e Educação em Ciências

Fonte: a autora

É interessante ressaltar que as áreas de atuação dos docentes foram escolhidas de modo a oferecer diferentes perspectivas na elaboração do conjunto de respostas. Um docente da área de Química Inorgânica, por exemplo, poderia apresentar explicações com outro nível de profundidade diferente daquele docente da área de Educação em Ciências ou Química Orgânica.

Com base nas respostas dos docentes, foi elaborado o Quadro 10, que apresenta os quatro níveis de adequação para a classificação das respostas dos

estudantes: Explicações adequadas, Explicações parcialmente adequadas e Explicações inadequadas (Carmo, 2015).

Nesta pesquisa, além dos níveis de adequação propostos anteriormente, sentimos a necessidade de criar um quarto nível, destinado às respostas em branco, ou seja, “Sem respostas”.

A elaboração dos níveis de adequação para as explicações dos participantes dessa pesquisa nos direcionou para uma primeira análise, na qual pudemos identificar aspectos relevantes para a caracterização inicial das dificuldades conceituais dos participantes.

Os três níveis de adequação apresentados foram elaborados considerando um objetivo geral: a proximidade da resposta do sujeito ao padrão estabelecido a partir da resposta dos docentes. Assim, podemos considerar em cada um dos níveis de adequação:

- **Explicações Adequadas**

São as explicações nas quais os participantes fazem uso de leis e teorias condizentes com os modelos científicos (Carmo, 2015). Aqui consideramos todas as respostas dos participantes que mais se aproximaram das respostas elaboradas a partir das apresentadas pelos docentes.

- **Explicações Parcialmente Adequadas**

São as explicações nas quais os participantes apresentaram alguma compreensão do fenômeno, no entanto, apresentam erros conceituais e/ou o uso de uma linguagem informal na estruturação dos conceitos químicos (Carmo, 2015). Aqui consideramos todas as respostas nas quais os alunos tentaram articular uma explicação utilizando alguns conceitos da Química, no entanto, apresentam ainda concepções que deveriam ser abandonadas nesse nível de ensino.

- **Explicações Inadequadas**

São as explicações nas quais existem “erros conceituais e concepções alternativas que não apresentam indícios da compreensão do fenômeno” (Carmo, 2015, p. 89). Aqui consideramos as questões em que os alunos apresentaram uma resposta incoerente para a questão, de modo que fosse possível observar que o aluno estava se desviando do assunto, também as respostas diretas ou lacônicas ou respostas sem explicações.

- **Sem resposta**

Um quarto nível de adequação foi elaborado no decorrer da análise de dados, uma vez que muitos questionários apresentaram respostas em branco para as questões.

No Quadro 10 estão apresentados os critérios utilizados para classificar respostas dos participantes em cada um dos quatro níveis de adequação para as questões 1 e 2 do Instrumento 2.

Cabe aqui ressaltar que nossa pesquisa difere da pesquisa de Carmo (2015) pois a autora, em sua Tese, fez uma pesquisa longitudinal, que acompanhou os estudantes de Ensino Médio por três anos a fim de verificar a evolução dos conceitos Químicos (conceitos submicroscópicos acerca da estrutura da matéria), buscando verificar o desenvolvimento desses modelos explicativos ao utilizá-los no momento da explicação de um fenômeno.

Quadro 10. Nível de adequação das respostas dos participantes da pesquisa e seus critérios de enquadramento.

Questões	Explicações adequadas	Explicações parcialmente adequadas	Explicações inadequadas	Sem resposta
1	O participante apresenta noções sobre as teorias de ligação química, bem como compreende a influência das propriedades periódicas (eletronegatividade) na ligação formada. Exemplos: <i>“O cálcio possui alta eletropositividade (tendência em “perder” elétrons) e os halogênios possuem alta eletronegatividade (tendência em “ganhar” elétrons), o que faz com que, ao se formarem essas ligações químicas, ocorra a transferência dos elétrons do cálcio para os halogênios, dando origem a cátions Ca^{2+} e a ânions X^-. As ligações entre o cálcio e halogênio devem possuir maior caráter iônico, desse modo, serão formados compostos iônicos. Não há ligação entre apenas um átomo de cálcio e átomos de halogênio, mas sim a formação de íons que se agrupam em um retículo cristalino com fórmula mínima igual a CaX_2, em que X é um halogênio”</i>	O participante apresenta uma breve noção sobre teorias de ligações química, no entanto, não consegue vinculá-la as propriedades periódicas e pode apresentar significados de conceitos que se distanciam dos modelos científicos atuais. Exemplos: <i>“Ligação iônica, que ocorre entre cátion (Ca^{2+}) e ânion (Hal^-). O cálcio tem dois elétrons a mais que o gás nobre antecessor, e tenderá a perder dois elétrons, formando o íon Ca^{2+}, que tem estrutura de gás nobre. O halogênio, que tem um elétron a menos que o gás nobre subsequente, e tenderá a adquiri-lo (cedido pelo Ca), formando o ânion X^- que tem a estrutura do gás nobre, ambos seriam estáveis por obedecerem a regra do octeto. Ligação seria formada pela interação entre íons de cargas opostas”</i>	O participante apresenta pouco ou nenhum entendimento sobre os conceitos solicitados na questão, bem como suas respostas se distanciam do esperado nos dois níveis anteriores citados. Aqui incluiremos respostas que apresentem incorreto o tipo de ligação química, sem justificativas e/ou que a justificativa de uma ligação com caráter covalente quando se trata de uma ligação de caráter iônico.	

Quadro 10. Continuação.

Q	Explicações adequadas	Explicações parcialmente adequadas	Explicações inadequadas	Sem resposta
2	O participante faz relação com a periodicidade dos elementos à polaridade que os átomos adquirem ao formarem ligações químicas e constrói figuras geométricas respeitando o movimento e as repulsões dos pares de elétrons da camada de valência. Exemplos: <i>“Ao se desenhar as possíveis estruturas de Lewis para o ânion sulfato (SO_4^{2-}), nota-se que há duas ligações duplas e duas ligações simples, já assumindo a expansão do octeto para um total de 12 elétrons ao redor do átomo de enxofre. É possível desenhar outra forma canônica alternando as ligações duplas e simples, o que leva à conclusão de que o híbrido de ressonância contém quatro ligações idênticas com comprimento e força intermediários entre ligação dupla e ligação simples, o ânion sulfato apresenta 4 domínios de elétrons idênticos, o que resulta em uma geometria tetraédrica regular ao redor do enxofre. Ligações S-O em SO_4^{2-} seriam covalentes com algum caráter polar, devido as diferenças de eletronegatividade. Cada ligação S-O será polar, no entanto, a geometria faz com que os momentos de dipolo se anulem e o íon molecular será apolar”</i> <i>“O SF_6 apresenta 6 ligações simples S-F e cada ligação S-F, devido à diferença de eletronegatividade são descritas como ligação covalente fortemente polarizada, no entanto, existem 6 domínios de elétrons iguais ao redor do átomo central, resultando uma geometria octaédrica, assim o momento dipolo total seja zero, ou seja, a molécula SF_6 será apolar”</i>	O participante apresenta uma breve noção sobre a relação entre a periodicidade dos elementos à ligação química e consegue propor parcialmente uma estrutura geométrica que remeta às estruturas químicas existentes distanciando-se dos modelos científicos atuais. Exemplos: <i>“Embora a diferença de eletronegatividade exista entre O-S e F-S, essa diferença não chega atingir valores que proporcionem maior caráter iônico, portanto, são ligações com maior caráter covalente”</i> <i>“O SO_4^{2-} apresenta geometria tetraédrica e os vetores da polaridade de anulam, $\mu=0$ (não polar)”</i>	O participante apresenta pouco ou nenhum entendimento sobre os conceitos solicitados na questão, bem como suas respostas se distanciam do esperado nos dois níveis anteriores citados. Aqui incluiremos respostas que apresentem incorreta: - Tipo de ligação química; - Polaridade; - Geometria molecular.	

Fonte: a autora.

Após a análise dos níveis de adequação de cada questão respondida pelos participantes, poder-se-á observar se eles apresentam diferentes graus de compreensão dos conceitos estudados. Para refinar o entendimento de como os participantes compreendem esses conceitos e identificar qual o grau de profundidade utilizado ao mobilizar os pré-requisitos conceituais exigidos em cada questão, realizamos uma segunda análise das respostas classificadas como adequadas e parcialmente adequadas. Nesta etapa, utilizamos também a Análise do Conteúdo para avaliar o quanto os participantes se aproximaram das respostas consideradas adequadas e o quanto compreendem dos conceitos envolvidos em cada questão, conforme discutiremos a seguir.

4.3.3.1 Análise das questões adequadas e parcialmente adequadas

As respostas inicialmente classificadas entre os níveis adequadas e parcialmente adequadas, foram novamente analisadas para determinar a profundidade com que cada participante utilizavam os pré-requisitos conceituais exigidos em cada questão. Para isso ponderamos as respostas de todos os docentes em conjunto com os pré-requisitos conceituais apresentados no Quadro 4 para cada questão como as categorias principais, e identificamos as palavras que poderiam ser classificadas como um dos casos expostos por Bardin em seu livro, ou seja, a categorização semântica. Nas palavras da autora:

O critério de categorização pode ser semântico (categorias temáticas: por exemplo, todos os temas que significam a ansiedade, ficam agrupados na categoria «ansiedade», enquanto que os que significam a descontração, ficam agrupadas sob o título conceptual «descontração» (1977, p.118).

Sendo assim, para cada pré-requisito conceitual, identificamos palavras que remetem ao tema principal, o pré-requisito elencado para cada questão. Chamaremos aqui essas palavras adjacentes aos conceitos de 'unidades complementares às categorias'.

O Quadro 11 apresenta a análise das respostas dos docentes classificadas nos níveis mais alto de compreensão, ou seja, as respostas no nível adequada juntamente com os registros de como essa palavra completa a unidade de sentido inicial, portanto, as unidades complementares à cada categoria.

Quadro 11. Análise do Conteúdo para identificação dos níveis de aprofundamento das respostas ao Instrumento 2.

Questão	Categorias (Pré-requisito)	Respostas adequadas – evidências do conceito	Unidades complementares de identificação ao conceito.
1	Ligações Químicas	“O cálcio possui alta eletropositividade (tendência em “perder” elétrons) e os halogênios possuem alta eletronegatividade (tendência em “ganhar” elétrons), o que faz com que, ao se formarem essas ligações químicas, ocorra a transferência dos elétrons do cálcio para os halogênios, dando origem a cátions Ca^{2+} e a ânions X^- .” “As ligações entre o cálcio e halogênio devem possuir maior caráter iônico , desse modo, serão formados compostos iônicos . Não há ligação entre apenas um átomo de cálcio e átomos de halogênio, mas sim a formação de íons que se agrupam em um retículo cristalino com fórmula mínima igual a CaX_2 , em que X é um halogênio.”	- Eletropositividade - Eletronegatividade - Transferência de elétrons - Formação de cátions/ânions - Caráter iônico/compostos iônicos - Reticulo cristalino
	Propriedades periódicas	“O cálcio possui alta eletropositividade (tendência em “perder” elétrons) e os halogênios possuem alta eletronegatividade (tendência em “ganhar” elétrons), o que faz com que, ao se formarem essas ligações químicas, ocorra a transferência dos elétrons do cálcio para os halogênios, dando origem a cátions Ca^{2+} e a ânions X^- .”	- Eletropositividade - Eletronegatividade
2	Propriedades periódicas	Ligações S-O em SO_4^{2-} seriam covalentes com algum caráter polar , devido as diferenças de eletronegatividade . O SF_6 apresenta 6 ligações simples S-F e cada ligação S-F, devido à diferença de eletronegatividade são descritas como ligação covalente fortemente polarizada no entanto, existem 6 domínios de elétrons iguais ao redor do átomo central, resultando uma geometria octaédrica, assim o momento dipolo total seja zero, ou seja, a molécula SF_6 será apolar ”	- Diferença de eletronegatividade - Caráter polar/apolar
	Geometria Molecular	Ao se desenhar as possíveis estruturas de Lewis para o ânion sulfato (SO_4^{2-}), nota-se que há duas ligações duplas e duas ligações simples , já assumindo a expansão do octeto para um total de 12 elétrons ao redor do átomo de enxofre. É possível desenhar outra forma canônica alternando as ligações duplas e simples, o que leva à conclusão de que o híbrido de ressonância contém quatro ligações idênticas com comprimento e força intermediários entre ligação dupla e ligação simples, o ânion sulfato apresenta 4 domínios de elétrons idênticos , o que resulta em uma geometria tetraédrica regular ao redor do enxofre. O SF_6 apresenta 6 ligações simples S-F e cada ligação S-F, devido à diferença de eletronegatividade são descritas como ligação covalente fortemente polarizada, no entanto, existem 6 domínios de elétrons iguais ao redor do átomo central, resultando uma geometria octaédrica , assim o momento dipolo total seja zero, ou seja, a molécula SF_6 será apolar ”	- Ligações simples/Ligações duplas - Expansão da regra do octeto. - Domínios de elétrons - Diferença de eletronegatividade - Caracterizar a geometria: octaédrica, tetraédrica, entre outros.
	Polaridade	Ligações S-O em SO_4^{2-} seriam covalentes com algum caráter polar , devido as diferenças de eletronegatividade . Cada ligação S-O será polar , no entanto, a geometria faz com que os momentos de dipolo se anulem e o íon molecular será apolar ” O SF_6 apresenta 6 ligações simples S-F e cada ligação S-F, devido à diferença de eletronegatividade são descritas como ligação covalente fortemente polarizada no entanto, existem 6 domínios de elétrons iguais ao redor do átomo central, resultando uma geometria octaédrica, assim o momento dipolo total seja zero, ou seja, a molécula SF_6 será apolar ”	- Caráter polar/apolar. - Diferença de eletronegatividade

Fonte: a autora.

Partindo desse quadro, elaboramos quatro níveis de compreensão: *insuficiente*, *vago*, *satisfatório* e *plenamente satisfatório*. Matematicamente, cada unidade complementar de categoria representa uma parte da resposta, ou seja, a explicação classificada no nível adequada deve apresentar todas as categorias discutidas, e as unidades complementares a essas categorias dever ser perceptíveis ao longo da resposta do participante. Assim, a resposta terá um nível de 100% de conformidade com as unidades complementares, sendo classificada com nível de compreensão *plenamente satisfatório*. De maneira análoga, uma resposta que apresenta de 0 a 25% de conformidade com as unidades complementares às categorias será classificada com o nível de compreensão *insuficiente*, indicando um nível inadequado de explicação.

Dessa forma, atribuímos matematicamente um valor percentual para cada um desses níveis de compreensão. No Quadro 12, pode-se observar os valores atribuídos aos níveis de compreensão comparados aos níveis de adequação da explicação.

Quadro 12. Classificação dos níveis de compreensão da explicação em relação aos níveis de adequação das respostas dos participantes da pesquisa.

Índice de alusão as unidades complementares às categorias (%)	Nível de compreensão da explicação	Nível de adequação da explicação
0 – 25	Insuficiente	Inadequado
26 – 50	Vago	Parcialmente adequado
51 – 75	Satisfatória	
76 – 100	Plenamente Satisfatória	Adequado

Fonte: o autor.

Durante a análise, para cada uma das duas questões analisadas, atribuímos um valor numérico referente a uma unidade complementar, conforme será detalhado no próximo capítulo. Para definir esse valor, verificamos quantas unidades complementares cada questão apresentava e, considerando que a resposta adequada teria um índice de alusão às categorias de 100%, dividimos esse valor pelo número de unidades complementares atribuídas.

O Quadro 13 apresenta os valores atribuídos para cada uma das 2 questões. Neste momento, não nos preocupamos em destacar quais são essas unidades complementares, mas apenas o número delas para cada questão; essa representação foi feita no próximo capítulo.

Quadro 13. Valores atribuídos para cada unidade complementar mediante cada questão do Instrumento 2.

Questão	Categoria	Número de unidades complementares	Índice de alusão	Nível de compreensão	Nível de adequação
1	Ligações Químicas e Propriedades Periódicas	1	16,7	Insuficiente	Inadequado
		2	33,4	Vago	Parcialmente adequado
		3	50,1	Vago	
		4	66,8	Satisfatória	
		5	83,5	Plenamente Satisfatória	Adequado
		6	100	Plenamente Satisfatória	
2	Geometria molecular; Propriedades Periódicas e Polaridade	1	16,7	Insuficiente	Inadequado
		2	33,4	Vago	Parcialmente adequado
		3	50,1	Vago	
		4	66,8	Satisfatória	
		5	83,5	Plenamente Satisfatória	Adequado
		6	100	Plenamente Satisfatória	

Fonte: a autora.

É importante salientar que o agrupamento das categorias para cada questão foi possível porque consideramos as unidades complementares de identificação ao conceito iguais entre os pré-requisitos.

Conforme pode ser visto no Quadro 11, por exemplo, para a Questão 1 temos duas categorias apenas, sendo uma delas a categoria Ligações Químicas com seis unidades complementares de identificação ao conceito: eletronegatividade, eletropositividade, transferência de elétrons, formação de cátions/ânions, caráter iônico/compostos iônicos e retículo cristalino. A segunda categoria é Propriedades Periódicas, com duas unidades complementares que também fazem a identificação da categoria de Ligações Químicas, ou seja, eletronegatividade e eletropositividade.

Tratando sobre o índice de alusão, partimos do pressuposto de que uma resposta de nível adequado apresentaria todas as evidências dos conceitos, ou seja, todas as unidades complementares de identificação ao conceito (nível de alusão das unidades complementares de 100%). Assim, para a Questão 1, temos seis unidades complementares, portanto, cada unidade representou uma parte do total das seis unidades (16,7%). Seguindo o Quadro 12, classificamos

os níveis de compreensão da explicação em relação aos níveis de adequação das respostas dos participantes dessa pesquisa.

5. ANÁLISE DE DADOS

Neste capítulo, inicialmente são apresentadas as análises dos resultados a partir dos dados extraídos das entrevistas com os docentes (Instrumento 1), cujo objetivo principal foi identificar os pré-requisitos conceituais para a aprendizagem de Química Orgânica.

Em seguida, estes dados foram utilizados na construção do Instrumento 2 (já discutido anteriormente), que foi aplicado aos 61 participantes da pesquisa. Os dados obtidos foram analisados com o objetivo de identificar as dificuldades de aprendizagem apresentadas pelos participantes em relação aos conceitos identificados na análise do Instrumento 1 como pré-requisitos conceituais.

5.1 Análise do Instrumento 1

Ao analisar as entrevistas realizadas com os docentes, o foco é identificar a visão de cada um em relação a cada questão proposta. Ao transcrever na íntegra as cinco entrevistas e utilizando a Análise do Conteúdo (Bardin, 1977), pudemos destacar pontos recorrentes na fala dos docentes. Esses pontos serviram como base para identificar as unidades de sentido, que correspondem aos conceitos científicos utilizados como pré-requisitos, e as categorias correspondentes às questões formuladas aos docentes participantes da pesquisa. Os docentes não foram identificados por codinomes para preservar suas identidades: Alves, Bia, Júnior, Marcos e Helena. Suas formações estão apresentadas no Quadro 8.

A seguir apresentamos a análise das quatro questões (vide Quadro 4), que nortearam a elaboração do questionário utilizado como Instrumento 2. Através dessa análise, pudemos identificar, na perspectiva dos professores, os pré-requisitos conceituais para a aprendizagem de Química Orgânica.

Aqui torna-se interessante apontar que, a este trabalho, nosso objetivo seria a inserção das análises apenas das questões 2 e 4, conforme já mencionado anteriormente. No entanto, ao analisar por completo as entrevistas, percebemos que os próprios docentes entrevistados apresentam dificuldades de entendimento em relação aos conceitos que devem ser pré-requisitos e os

conceitos que se aprende em Química Orgânica. Assim, apresentaremos aqui a análise por completo das entrevistas.

Ao analisarmos as entrevistas realizadas com os docentes, começando pela questão número 1 (*“Quais os conceitos mais importantes a serem estudados na disciplina Química Orgânica?”*), cujo objetivo era identificar, na visão dos docentes, quais conteúdos deveriam ser abordados na disciplina Química Orgânica, apresentamos a análise que resultaram na categoria referente a essa questão, ou seja, “Conceitos mais importantes a serem estudados na disciplina”, cujas unidades complementares são os conceitos elencados pelos docentes.

Quadro 14. Categoria e unidades complementares elencadas através da análise das entrevistas com os docentes para a questão 1.

Categoria	Unidades de sentido	Registros dos professores
Conceitos mais importantes a serem estudados na disciplina	Ligação química	“(…) ligação química, que não é um conceito de química orgânica mas um conceito de Química Geral” (Bia)
	Orbitais	“Teoria de orbitais, porque todas as reações orgânicas e as estabilidades de compostos têm a ver com a teoria dos orbitais” (Júnior)
	Hibridização	“Quando nós começamos falar de hibridação, acho que este conceito é um conceito bastante importante em química orgânica,” (Bia)
	Propriedades periódicas (Eletronegatividade)	“(…) às vezes eu descontava nota e ouvia ‘ah professora só porque eu inverti o par de elétrons que foi pra cima e foi pra baixo, descontou nota?’. É claro! Não é só o pra ir pra cima ou pra baixo, você está mexendo, você não está entendendo a diferença de eletronegatividade” (Helena)
	Acidez e basicidade	“(…) é algumas reações químicas nós exploramos acidez de compostos orgânicos, nós entramos um pouco na acidez de alguns ácidos que nós chamamos de inorgânicos, os minerais. O conceito de pKa, em alguns mecanismos, eles conseguem ver se eles erraram ou não na proposta a partir de valor de pKa” (Bia)
	Estrutura molecular	“(…) para você ter uma noção geral acho que o que nós almejamos é que o aluno tenha uma noção de estrutura (...) consiga olhar e identificar daquele desenho, que no fundo é um símbolo, uma simbologia que nós usamos (...)” (Alves)

Fonte: a autora.

No decorrer da leitura das entrevistas com os docentes, os conceitos que se repetiam foram destacados. Cabe ressaltar, que dentre estes, o conceito que se apresentou comum a todos os docentes entrevistados foi o de Ligação Química.

O conceito de Ligação Química é tratado com os estudantes do curso de Licenciatura em Química na disciplina específica de Química Geral, conforme confirmado pela docente Bia em excerto apresentado no Quadro 14.

Na mesma linha de pensamento, Helena ressalta que a maior importância deste conceito em Química Orgânica é a diferenciação entre os tipos de ligações existentes. Em suas palavras:

“[...] aí dentro de ligação química eles entenderem a diferença entre uma ligação covalente. Entender o conceito da ligação covalente, saber diferenciar uma ligação iônica de uma ligação covalente e as interações intermoleculares [...]”

Na opinião de Bia, ao aprender ligações químicas, o sujeito necessita também reconhecer e diferenciar “Interações Intermoleculares”. Esse comentário nos chamou atenção, uma vez que Helena, ao citar as Ligações Químicas, complementa sua fala utilizando a terminologia “Ligação de Hidrogênio”, referindo-se a um tipo de Interação intermolecular.

Em suas palavras:

“(...) antigamente nós utilizávamos o termo “ponte de hidrogênio” e então houve uma mudança, agora é “ligação de hidrogênio” (...) eu achava mais útil a terminologia antiga porque hoje em dia eles confundem quando se pede para eles explicarem ponto de ebulição, eles falam que é a quebra de uma ligação. E um quebrar de ligação muitas vezes eles interpretam como uma quebra de uma ligação covalente e não uma ligação do tipo interação (...)”

Segundo Atkins e Jones (2006), o princípio da Ligação de Hidrogênio é explicado como:

“A existência de uma interação espacial começa a ficar aparente quando analisamos os pontos de ebulição de compostos binários de hidrogênio com os elementos dos grupos 14/IV a 17/VII. A tendência do grupo 14/VI é a que se esperaria para compostos semelhantes com número diferente de elétrons, isto é, os pontos de ebulição aumentam de cima para baixo no grupo (...). A amônia, a água e o fluoreto de hidrogênio, entretanto tem comportamento anômalo. Os pontos de ebulição excepcionalmente altos sugerem que existem forças atrativas muito fortes entre as moléculas. A interação forte responsável pelos altos pontos de ebulição dessas e de outras substâncias é

devida à chamada ligação hidrogênio. Apesar do nome, a ligação hidrogênio não é uma ligação covalente. Ela é uma atração intermolecular, na qual um átomo de hidrogênio fica entre dois átomos pequenos, fortemente eletronegativos, que têm pares isolados de elétrons, principalmente, N, O ou F.” (p 275, grifo nosso)

Percebe-se que o livro didático, amplamente utilizado pelos estudantes dos cursos de Graduação em Química, já aponta para a possibilidade dessa confusão, chamando a atenção para o fato.

Outros importantes conceitos indicados pelos docentes foram os conceitos de Orbitais Moleculares e de Hibridização, segundo eles, fundamentais para o estudo de Química Orgânica. Júnior enfatiza:

“Mais importante? Teoria de orbitais. Todas as reações orgânicas e as estabilidades de compostos têm a ver com a teoria dos orbitais, sejam os orbitais moleculares, os orbitais de fronteira, ou seja, pra se entender Química Orgânica tem que saber teoria de orbitais (...) para você saber o nível de energia dos elétrons, como eles se comportam, como eles tem a deslocalização das moléculas orgânicas que é o que envolve bastante o conceito de ressonância... então a primeira coisa que se tem que saber pra entender Química Orgânica é teoria de orbitais, as mesmas reações químicas elas ocorrem entre os orbitais não é entre o átomo, são entre os orbitais que envolvem a ligação química. No meu modo de pensar é assim “você tem que saber isso!”.”

O próprio docente aponta o problema na aprendizagem desse conceito:

“(...) o problema é que isso não é aplicado com afinco na graduação, pelo menos no ambiente que eu vejo, porque você teria que ter um bom conhecimento da área de Físico-Química, para saber o que é um orbital p, um orbital d. O processo de hibridização, como ocorre à formação da ligação química. Então é uma deficiência que tem na graduação, eu só mesmo só fui aprender teoria de orbitais na pós-graduação”.

Para Zoller (1990) os equívocos dos estudantes quanto à compreensão de hibridização podem estar relacionados com a dificuldade de compreensão de

pré-requisitos, como o entendimento de um orbital atômico, o real significado das denominações s, p, d e f, modelos quânticos, entre diversos outros tópicos.

Por outro lado, mais de um entrevistado menciona a importância da compreensão das propriedades periódicas, especificamente a Eletronegatividade.

Nas afirmações de Bia e Marcos,

“A eletronegatividade é um conceito muito importante em Química Orgânica” (Bia).

“[...] propriedades periódicas o que que é importante? Para, por exemplo, uma reação orgânica, quando ocorre uma clivagem, o ataque nucleofílico, a estabilidade de um nucleófilo, tem que o conceito de eletronegatividade estar envolvido” (Marcos).

Lopes (1996) aponta que, ao ministrar aulas com o tema “Propriedades Periódicas dos elementos” aos alunos do Ensino Médio, o professor possivelmente utiliza duas definições para o conceito de eletronegatividade. São elas: 1. a capacidade que um átomo tem em atrair para perto de si elétrons, ou 2. uma tendência de receber elétrons no seu nível mais externo ao ligarem-se a outros átomos (Lopes, 1996).

Para a autora, ao se utilizar as definições presentes nos livros didáticos, nos deparamos com uma situação em que não sabemos distinguir as circunstâncias em que os valores de eletronegatividade são obtidos. O contexto histórico em que o conceito foi identificado não é discutido, o que pode causar dificuldades de aprendizagem, especialmente quando comparado, por exemplo, à definição de potencial padrão de redução. Deve-se ter muito cuidado, pois a definição pode se limitar à simples definição de atração por elétrons.

Para Pauling (1965), a eletronegatividade é definida como a capacidade de átomo ou molécula de atrair elétrons para si.

Müller e Maldaner (2014) em sua pesquisa qualitativa, buscaram identificar como os estudantes da 1ª série do Ensino Médio manifestavam seu entendimento sobre o conceito de eletronegatividade. Os autores, observaram que, embora os participantes da pesquisa já tivessem sido expostos ao conceito anteriormente, ficou evidente que os estudantes não conseguiam dar sentido à

palavra e ao conceito, pois não as utilizavam em suas explicações. Nesse estudo, “LD” é a abreviação que os autores utilizaram para Livro Didático (utilizaram o livro “Ser Protagonista – 1º ano”, organizado por Julio Cezar Foschini Lisboa, editora SM, 2010), e “E” é o conceito de eletronegatividade.

Para os autores:

Na tabela periódica dos elementos (TP), os valores de eletronegatividade aumentam da esquerda para a direita ao longo de um período, e de baixo para cima ao longo de um grupo, o que permite que o aprendiz localize os elementos de maior ou menor eletronegatividade pela posição na TP. O LD analisado aborda o conceito de E de maneira breve, como uma das propriedades periódicas da TP, utilizando uma figura para facilitar a memorização da tendência de aumento da E no decorrer dos grupos e dos períodos. O professor utiliza a mesma metodologia para explicar a diferença de eletronegatividade entre os elementos, sem se preocupar com a relação deste conceito e outros como, tamanho do átomo, número atômico, camadas de valência, carga nuclear efetiva, todos essenciais para justificar essa propriedade, preferindo a tal “regrinha”. (p.4)

Muitas vezes, o conceito apresentado pelos alunos de graduação a respeito desta propriedade periódica mantém-se no âmbito daqueles discutidos no Ensino Médio/Educação Básica, pois estas propriedades são vistas de forma superficial uma vez que o docente pressupõe que foram estudadas naquele nível de ensino (Santos; Silva; Wartha, 2011).

Entre os demais temas considerados importantes para a Química Orgânica podemos citar as reações ácido-base. Bia ressalta a necessidade de compreensão deste tema em sua fala:

“[...] os conceitos de acidez e basicidade são muito importantes em química orgânica porque eu acho que a partir deles também você consegue vislumbrar e aprofundar reatividade dos compostos”.

Furió, Calatayud e Bárcenas (2007), em um estudo cujo objetivo foi avaliar a efetividade da aprendizagem de reações ácido-base, considerando as teorias de Arrhenius e Brönsted, explicam as falhas na aprendizagem significativa dessas reações. Entre as deficiências epistemológicas observadas por eles, está a falta de percepção dos alunos de que tratamos de conceitos hipotéticos introduzidos em uma teoria. Os alunos dependem da necessidade epistemológica para resolver um problema e, na opinião dos autores, a ausência

de exposição das deficiências e limitações da teoria resulta em dificuldades de aprendizagem.

Os autores também verificaram que as justificativas usadas pelos estudantes para determinar se um composto possui características ácidas ou básicas não são coerentes com a definição funcional de um ácido ou uma base. Baseando-se nas propriedades das substâncias, a maioria dos estudantes utiliza um perfil conceitual mais próximo da teoria de Arrhenius, generalizando a ideia de que ácido é toda substância que apresenta átomos de hidrogênio em sua fórmula, enquanto as bases são identificadas por grupos hidroxila.

Uma questão significativa foi apontada apenas por Alves, que mencionou a importância de os alunos aprenderem, em Química Orgânica, a estrutura de uma substância e a identificação de suas propriedades. Alves indica a necessidade de,

“Que ele conheça, que ele possa olhar uma estrutura molecular desenhada e conseguir, olhando para aqueles átomos ligados daquele jeito, imaginar quais propriedades ele deve ter, propriedades químicas, principalmente químicas. Consiga olhar e identificar daquele desenho, que no fundo é um símbolo, uma simbologia que nós usamos, naquele símbolo ali desenhado identificar o que aquele símbolo representa em termos de propriedades químicas, acho que é o mais importante”.

E continua:

“(…) existe essa coisa de nomenclatura, tudo isso é importante, mas isso é menos importante! É muito mais importante você olhar aquela estrutura química, desenhar aquele desenho, aquele símbolo, acho que esse é o ponto, pensar ‘poxa o que é uma dupla ligação? um carbono e oxigênio? isso quer dizer alguma coisa?’, isso quer dizer uma propriedade! Isso quer dizer que essa molécula provavelmente vai agir assim e assado (...). A Química Orgânica é extremamente estranha, existe milhares de reações químicas, milhares e jamais você vai conseguir conhecer todas as possibilidades (...). Não precisa conhecer todas as possibilidades, todas as reações, mas conhecer, olhar ali e ver que uma reatividade química em função do que está

desenhado e as propriedades físicas, se uma pessoa conseguir isso, já conseguiu quase tudo o que precisa na graduação”.

Quando tratamos do ensino da disciplina Química Orgânica no contexto geral, observamos pouca empatia e rejeição pelos estudantes, fato este notado desde os primeiros anos do Ensino Médio. Analisando a vasta exigência de memorização de informações, como no caso do estudo da nomenclatura de compostos orgânicos, é possível compreender o motivo dessa rejeição (Matos, *et al.* 2009).

Matos *et al.* (2009), ao analisarem diversos livros didáticos utilizados no Ensino Médio, concluíram que os estudantes são conduzidos a memorizar os termos aplicados à disciplina, no entanto, pela pouca frequência de uso, os estudantes acabam esquecendo em um curto período, pois não há relação do conhecimento adquirido com o seu cotidiano muito menos com a sua estrutura cognitiva.

É interessante ressaltar que conforme avançamos na análise das outras questões do Instrumento 1, muitos conceitos se repetiram e fomos observando falas recorrentes dos docentes entrevistados.

Ao analisar as respostas dos docentes para a questão 2: “Quais conceitos básicos (pré-requisitos) os alunos devem saber ao iniciar a disciplina?”, categorizada como “pré-requisitos conceituais para a aprendizagem de Química Orgânica”, pudemos identificar, com base no conhecimento desses docentes, quais conceitos deveriam ser considerados e que são estudados ao longo do curso de Química para o entendimento do conteúdo de Química Orgânica. No entanto, observou-se uma grande confusão nas respostas desses docentes.

O Quadro 15 foi elaborado com base na fala dos docentes e nos pré-requisitos citados, caracterizados a partir de unidades de sentido. A seguir, apresentaremos um breve registro da fala de alguns desses docentes.

Quadro 15. Categoria e unidades complementares elencadas através da análise das entrevistas com os docentes para a questão 2.

Categoria	Unidades de sentido	Registros dos professores
Pré-requisitos conceituais para a aprendizagem de Química Orgânica	Ligação química	“Então ligação química precisa trazer também, além deste conceito básico de um carbono no que diz respeito a sua eletronegatividade, no que diz respeito ao comprimento de uma ligação química, a força de uma ligação química, esses conceitos todos de ligação química (...)” (Alves)
	Orbitais	“(...) todas as reações orgânicas e as estabilidades de compostos tem a ver com a teoria dos orbitais, certo?! Sejam os orbitais moleculares, os orbitais de fronteira, ou seja, pra se entender Química Orgânica tem que saber Teoria de Orbitais (...)” (Júnior)
	Atomística	“(...) a concepção dita moderna de átomo é necessário ter (...)” (Marcos)
	Propriedades periódicas (Eletronegatividade)	“(...) a periodicidade, aquelas propriedades atômicas, a eletronegatividade (...)” (Alves)
	Mecanismo reacional	“(...) entender mecanismo reacional, entendeu? (...), entender o porquê que um composto que tem uma alta densidade de elétrons ele vai se ligar a um composto, a um átomo que tem uma baixa densidade de elétrons.” (Júnior)

Fonte: a autora.

O conceito de Ligação Química foi novamente o mais citado entre os docentes entrevistados, sendo mencionado por quatro deles, assim como observamos durante a análise da questão 1. Como já foi mencionado, há inúmeros trabalhos disponíveis na literatura sobre as dificuldades que os estudantes apresentam em relação a esse conceito.

Os conceitos relacionados a Propriedades Periódicas foram citados por três docentes e dois deles envolveram o conceito de Atomística durante suas falas. Marcos ainda cita os orbitais moleculares como um outro conceito de grande importância. Em suas palavras:

“[...] a concepção dita moderna de átomo é necessário ter, os orbitais moleculares, principalmente para entender ressonância, por exemplo. É, ligação química, tem que ter muito bem trabalhado isso e Propriedades Periódicas.” (Marcos)

Alves afirma que o conceito mais importante é:

“[...] atomística mesmo, ligação química. O conceito de ligação química, as propriedades dos átomos, a periodicidade, aquelas

propriedades atômicas, a eletronegatividade, esses conceitos todos porque é isso que vai construir, é juntando essas características, essas propriedades, estudos, que você vai fazer ligação química.”

Ao pesquisar as concepções incoerentes sobre os modelos atômicos, Melo (2002) constatou que tanto professores em exercício da profissão como com professores em fase de formação, 18% deles têm a ideia de átomos como uma criação científica. Essas incompreensões podem estar relacionadas ao modo como os livros didáticos abordam o conceito e modelo, uma vez que esses livros são os instrumentos didáticos utilizados nas escolas e causam um grande efeito na relação existente de ensino e aprendizagem, principalmente quando o professor o utiliza como referencial para a elaboração da sua sequência didática (Melo; Lima Neto, 2013).

Bia, por sua vez, citou vários conceitos, incluindo Hibridização e Propriedades Periódicas novamente. A docente foi a única a considerar a importância do conhecimento de Reações Químicas. Para ela

“[...] a disponibilidade de pares de elétrons, a hibridação, também eletronegatividade, então tudo isso eu acho que compõe, né?! Compõe tudo, tudo, todas as partes, inclusive a parte de reação química, também!”

Mariano (2014) elaborou um estudo de caso sobre as dificuldades de aprendizagem observadas em 48 alunos da 1ª série do Ensino Médio sobre o conteúdo de Tabela Periódica e para isso, o autor fez uso de dois questionários, sendo que um deles buscava realizar um diagnóstico sobre o Ensino de Química da unidade escolar sobre o processo de ensino e o outro buscava avaliar o nível de conhecimento do aluno sobre o tema. Como resultado, o autor pode evidenciar que os alunos apresentaram muitas dificuldades de aprendizagem de ordem conceitual sobre o tema Tabela Periódica e, foi possível elencar outros fatores que auxiliavam na formação dessas dificuldades, como por exemplo o ensino baseado no método tradicional (transmissão-recepção), algo novamente recorrente durante a nossa pesquisa, a contribuição de uma falsa aprendizagem relacionada a memorização de definições, conceitos, leis, fórmulas sem

nenhuma interação com o contexto de vida e/ou com suas concepções alternativas já estabelecidas.

Dois pontos durante a fala dos docentes nos chamaram a atenção para a questão 2:

- Todos os docentes entrevistados apresentaram as dificuldades que observavam nos alunos ao responder essa questão.
- Dois docentes relacionaram uma ideia de aprendizagem construtivista em suas falas.

É interessante ressaltar que nenhum dos docentes entrevistados sabiam o protocolo da entrevista, portanto, nenhum deles tinha o conhecimento que a questão seguinte (questão 3) seria sobre as dificuldades de aprendizagem por eles já observadas.

Bia comenta que,

“(...) quando você começa a falar em hibridização química, eles não têm um conceito bem estabelecido. Quando você começa falar de acidez, por exemplo, o conceito de acidez e basicidade então, Lewis, Lewis para nós é tudo, tudo está relacionado a Lewis e aí quando você começa falar eu percebo que eles não sabem, eles não sabem esse conceito.”

Júnior cita a dificuldade dos estudantes em compreender mecanismos de reação após dizer que os mecanismos reacionais são pré-requisitos para a aprendizagem da disciplina. Para ele,

“A grande dificuldade dos alunos é entender o mecanismo, por que que alguém ataca alguém? Tudo isso tem a ver também com a Teoria de Orbitais, mais a densidade eletrônica, que é o conceito de ácido e base de Lewis, certo?! Onde está rico em elétrons vai procurar um átomo que esteja deficiente de elétrons. Porque se você entende o processo mecanístico, você consegue entender o que está acontecendo, porque que a reação ocorre de uma determinada forma, sem pensar nessas reações mais elaboradas que é o que é utilizada em pesquisa, se a gente for pensar em termos de graduação, o aluno teria que entender o porquê alguém ataca alguém, o sentido da flecha que a gente tem no mecanismo reacional. Mas o que o aluno precisa

entender é que a reação envolvida é a mesma, entendeu? Então o que ele tem que entender é o movimento de elétrons nesse tipo de reação [...]. Então é isso que precisa entender, os alunos entender, porque chega em uma aula lá, você vai colocando mecanismos, você pode falar 'proponha o mecanismo dessa reação', mas porque que isso acontece, entendeu? É porque você tem esse fluxo de elétrons levando a uma molécula que tem uma menor energia, certo?! Esse é a reação orgânica, sempre chegar em um fluxo de elétrons com menor energia."

Marcos completa seu comentário sobre os pré-requisitos citando novamente o conceito de propriedades periódicas, com ênfase no raio atômico e na eletronegatividade. Esses dois conceitos já foram identificados como conceitos que acarretam dificuldades de aprendizagem, principalmente devido à metodologia de ensino regradada e memorística. Para o docente,

"(...) a maior dificuldade que eu me deparo ao ensinar Química Orgânica é na hora que chega em reações orgânicas, SN_1 , SN_2 , E_1 , E_2 né?! Por que o cloro abandona a molécula e vira cloreto e o OH não consegue fazer isso de forma espontânea? Como ocorre em uma SN_1 , por quê? O que está envolvido aí? Claro, está envolvido o raio atômico, tudo isso está envolvido, mas o principal ali né?! Que é a eletronegatividade do composto, o que está relacionado com a carga efetiva no núcleo, com o raio atômico, né?! Todos esses conceitos que a gente aprende em Química Geral, então eles tem muita dificuldade em entender isso, quando você pede para comparar, por exemplo, uma molécula que tem um flúor e uma molécula que tem um iodo, né?! Como que vai ocorrer uma reação SN_1 mais rápida? Então eles têm dificuldade. O flúor é, ele é mais eletronegativo que o iodo, então o flúor que abandona mais"

E completa considerando que o aluno não compreende os conceitos por não ter aprendido de modo significativo.

"(...) então esses são os conceitos que a gente percebe que eles tiveram é, eu diria uma... é, nem sei como dizer isso, mas assim, que

talvez não tenha sido muito bem trabalhado ele próprio, o aluno.”

É interessante que Helena também menciona a dificuldade dos estudantes e a origem dessa dificuldade. Para ela,

“(…) se você não souber o mecanismo de ligação covalente, como é que você vai propor a formação de quebra de ligações químicas, se você não sabe o que é uma ligação química? Porque as moléculas e os compostos reagem entre si, para formar o que? Por que eles reagem? Porque estão lá de repente, né? Então é complicado né, eu acho. E aí eles trazem essa dificuldade já do Ensino Médio, e na Química Geral não é sanado (…)”

Percebe-se que, na visão de Marcos e Helena, os alunos chegam com dificuldades que prejudicam o andamento de suas aulas. Eles sugerem que isso se deve ao fato de os alunos não terem adquirido uma aprendizagem significativa em anos anteriores, algo que já pudemos observar nas pesquisas apresentadas durante nossa discussão, nas quais várias dificuldades de aprendizagem foram identificadas no Ensino Médio.

Tratando da visão construtivista da disciplina, Bia apresenta a seguinte fala:

“[...] porque se você tem isso tudo bem, uma base, se essa base está bem construída, quando você começa falar da hibridização, quando você começa falar do conceito de eletronegatividade, da ressonância ou mesmo da reatividade de um composto orgânico, então quer dizer que você só está adicionando, porque a base está construindo”.

Conforme já discutimos em nosso referencial teórico, o Construtivismo não é um método, é uma postura assumida pelo professor em relação à aquisição do conhecimento. É assumir que o conhecimento não está no pronto, não está terminado, mas sim será construído conforme houver interação do indivíduo com o meio e com outros sujeitos (Leão, 1999).

Isso pode justificar o motivo dos docentes responderem de modo muito semelhante tanto a questão 1 (*Quais os conceitos mais importantes a serem estudados na disciplina de Química Orgânica?*) quanto a questão 2 (*Quais*

conceitos básicos (pré-requisitos) os alunos devem saber ao iniciar a disciplina?).

Se observarmos os conceitos apontados pelos docentes entrevistados como importantes para se aprender na disciplina e os pré-requisitos para compreender a disciplina, parece que esses conceitos são muito próximos ou até mesmo idênticos. Esse fato nos remete a duas questões:

- *O protocolo de entrevista apresenta problemas quanto à compreensão de suas perguntas?*
- *Os docentes entrevistados não compreendem a importância do conhecimento dos pré-requisitos ou já os assumem como importantes e necessários à aprendizagem?*

A primeira dúvida mencionada nos leva a compreensão de que a validação do instrumento por diversos participantes do Grupo de Pesquisa, conforme já mencionado, reduziria as possibilidades de confusões quanto à compreensão das perguntas. No entanto, não se pode afirmar com certeza que as dificuldades de compreensão não possam ocorrer.

Quanto à segunda questão, considerando que os entrevistados começaram a falar sobre dificuldades que observavam durante a disciplina, acreditamos que, apesar de conhecerem os pré-requisitos conceituais, os docentes podem não estar utilizando esses conhecimentos durante a elaboração de suas aulas. Embora eles apontem as dificuldades que observam nos alunos ao responder a essas questões, não comentam sobre possíveis maneiras de superá-las.

Na continuidade da nossa análise em relação a questão 3 (*“Quais as principais defasagens conceituais os alunos apresentam ao chegar na disciplina?”*), algumas falas indicam que pode haver dificuldade dos docentes em elaborar propostas para superar essas dificuldades já identificadas por eles.

Percebemos também que não houve consenso entre os entrevistados quanto aos conceitos que geram dúvidas. Bia, por exemplo, cita que os alunos não aprenderam conceitos de Cinética Química. Em suas palavras,

“(...) um conceito que eu percebi que eles não tem, isso quando eu ministrei, quando eu ministrei por uns 2 ou 3 anos Química Orgânica II e III, em Química Orgânica II você precisa muito do conceito de Cinética, as velocidades das reações, quando você começa

apresentar os gráficos de velocidade de reação, então eu percebo assim que são conceitos vistos claro que, é, isso foi colocado pelos professores e eles ensinaram só que eles não aprenderam, por isso eu acho que esse é o grande problema, isso foi abordado, com certeza foi, só que eles não sabem, profundamente não sabem, são poucos os que tem isso claro.”

Nessa fala, podemos observar que a visão construtiva do conhecimento apresentado pela docente se perde, deixando claro com a contradição que essa visão foi apenas pontual. É interessante ressaltar que há uma afirmação sobre a certeza de que esses alunos já aprenderam o conceito. Novamente surgem dúvidas:

- *Quando esse conceito foi ensinado em outras disciplinas, a aprendizagem foi significativa?*
- *O professor busca verificar o que o estudante sabe sobre esse conceito?*

Bia continua sua fala de modo que nos leva a refletir sobre as duas questões que surgiram durante essa análise, sendo:

“(...) nada que eles gravem, nada que você começa a falar, você começa a falar de reação, de reação de 1º e 2ª ordem, porque isso é importante na reatividade, quer dizer, na Química Orgânica ela precisa de muitas ferramentas, ela precisa da Físico-Química, ela precisa da Química Geral, ela precisa da Química Analítica, ela precisa de tudo pra poder, ela une, na verdade, muitas vezes a Química Orgânica precisa de tudo isso, então na hora que você vai puxar você vê que não existe, que não tem. Você consegue perceber que os alunos têm superficialmente e as vezes tem alguns que nem se lembram daquilo, né?! Então as vezes o que nós costumamos fazer é uma revisão.”

E a docente continua,

“(...) tenho aulas que, quando eu sinto que, por exemplo, o problema do conceito de acidez e basicidade está muito difícil, eu tenho uma aula preparada que eu chego lá e acabo marcando uma aula a parte

ou ajustando, fazendo algum ajuste e ministrando essa aula novamente pra tentar, pra depois entrar com alguns conceitos, se não, é muito difícil (...) de repente você fica tocando tanto as partes básicas que você não sai do lugar, porque aí a Química Orgânica fica a margem, né?! (...) você acaba se concentrando no conceito básico, então, você também a gente não pode, não é possível fazer isso, aí você está comprometendo o curso, então o que você tem que fazer? É tocar de certa forma em alguns pontos, chamar atenção dos alunos para estes pontos e de alguma forma tentar fazê-los entender aquilo de uma forma ou outra, tentar fazer, procurar entender, né?! De alguma forma isso, ou estuda a parte em casa e depois trazê-los para a aula e tentar nivelá-los, pra depois você dar continuidade.”

Percebe-se que, apesar de a docente citar a possibilidade de uma revisão, ela também menciona possuir uma “aula preparada” sobre determinados conceitos que serão aplicado aos estudantes em momentos oportunos, buscando um nivelamento. Embora essa possa ser uma tentativa intuitiva de ajudar, no entanto, é um método tradicional que muitas vezes pode criar mais lacunas.

É interessante observarmos que, quando o estudante apresenta uma concepção alternativa sobre um conceito, essa concepção deve ser cuidadosamente observada. Cada estudante tem uma estrutura cognitiva formada com base em como aprendeu determinado conceito e se realmente aprendeu de modo significativo.

“Aulas prontas”, que são utilizadas com diversas turmas sem considerar as necessidades específicas dos estudantes, podem não abordar os pontos necessários para superar as dificuldades. Apesar de que essa tentativa de recuperação seja válida, ela pode não ser eficaz, pois o tempo dedicado a essas “revisões” e da impossibilidade de cobrir todos os conceitos resultam em falta de tempo para a disciplina em si.

Em resumo, o estudante deve identificar suas próprias dificuldades e buscar entendimento. Isto nos leva a outra dúvida: *os estudantes são capazes de perceber que suas dificuldades em “reações orgânicas” se devem à falta de compreensão de conceitos básicos, como Cinética Química?*

Outro participante cuja fala chama a atenção é Alves, que acredita que a dificuldade conceitual do estudante na disciplina não se deve à compreensão dos conceitos, mas sim ao fato de que a disciplina não faz uso recorrente de cálculos.

“Olha eu acho que as dificuldades de se aprender Química Orgânica, que é tida como as mais difíceis normalmente, a grade..., é o fato de que a Química Orgânica ela é descritiva e não é, não é numérica, e não calculável, né?! Digamos assim.”

O docente ainda justifica seu ponto de vista.

“Você entra no primeiro ano da faculdade, você começa com Química Geral e a Química Geral leva cálculos e cálculos e cálculos, né?! E Analítica, cálculos, cálculos, cálculos. Físico-Química, cálculos, cálculos, cálculos. E nenhum desses momentos, pelo menos na minha experiência quando estudava, que eu vejo até hoje, é, não se dá muita atenção para as propriedades, para a relevância da Química, das características químicas das moléculas, então o aluno ele só está, ele está acostumado ao saber “olha só, nós vamos fazer uma solução, pra isso eu preciso saber o que que é a concentração e o peso molecular e blá blá blá e pronto”, digamos, um exemplo, então o aluno está acostumado com isso. Ele traz isso, e já traz do segundo grau, inclusive, essa coisa do cálculo, quando você chega na Química Orgânica, isso não existe mais, isso não é necessário. Quebra, você queima isso, é uma quebra, para que tudo aquilo, aqueles cálculos, não precisa diretamente naquele momento, você não precisa mais pensar, né?! (...) aqui é diferente, aqui você só tem, você tem, é um descritivo, você vai começar a conhecer propriedades, características, e é descritivo nesse sentido (...) esse é o ponto que faz com que os alunos tenham dificuldades, porque eles não estão acostumados com isso.”

Para o docente, essa dificuldade é tão evidente que ele garante que, em áreas diferentes, os alunos não apresentam as mesmas dificuldades, pois essas áreas não são “calculáveis”, estando acostumados a um estudo descritivo.

“(...) se você pegar alunos das áreas biológicas que estão acostumados com isso, que estão por exemplo estudando histologia, anatomia, que são matérias descritivas, o conhecimento você estuda, estuda, estuda e aprende. Então eles estão acostumados, agora um Químico não está acostumado. Engenheiro ou por um Físico, seria muito pior ainda que eles estão menos acostumados ainda, então este momento dessa mudança dessa postura é que faz com que tenha dificuldades na aprendizagem.”

É interessante observar essa fala, uma vez que, ao pesquisar na literatura sobre as dificuldades de aprendizagem para disciplinas como a matemática, por exemplo, uma disciplina extremamente “calculável”, como mencionada pelo docente, encontramos vários estudos que apontam reflexões sobre as dificuldades de aprendizagem existentes. Esses estudos indicam que as dificuldades podem estar relacionadas à interpretação de textos (Brito; Oliveira, 2007; Weber, 2012), dificuldade em operações básicas (Sanchez, 2004; Almeida, 2006), dificuldades que foram originadas por um ensino inadequado e mal organizado (Sanchez, 2004), dificuldades com a álgebra (Santos; França; Santos, 2007) ou até mesmo a existência de um sentido pré-formado para os estudantes em relação à ‘matemática ser difícil’ (Silveira, 2002).

Desse modo, podemos observar que a parte “calculável” de uma disciplina acarreta tantas dificuldades de aprendizagem quanto a parte memorística de outra disciplina. Partindo desse princípio, *será que essa disciplina caracterizada como “não calculável” segue apenas uma vertente de ensino memorístico?* Seria essa a visão do docente ao afirmar *“que são matérias descritivas, o conhecimento você estuda, estuda, estuda e aprende”*, ou seja, você memoriza?

Júnior não atribui aos conceitos químicos o norteador para as dificuldades de aprendizagem, mas ao comportamento do aluno. Em suas palavras,

Não sei se falta, não sei, o grande problema dos alunos, que eu vejo hoje em dia, é que eles não estão preocupados em entender o processo, mas sim decorar o processo. Certo?! O problema de se decorar o processo, você decora para um determinado tipo de exemplo, certo?! Aí você muda uma vírgula, e ele perde tudo porque ele não decorou aquela mudança, é o esquema da frase “se mudar a

cor da grama a vaca morre de fome!”. Não somente em Química Orgânica, mas em qualquer disciplina. Eles vêm de uma cultura onde é melhor decorar do que entender. Esse é o grande problema não só na Universidade, mas isso daí está vindo desde antes, certo?! É a falta de interesse em aprender, em entender o que está acontecendo, e não decorar.”

Júnior, ao afirmar que esse processo de “decorar” vem de antes da universidade, nos remete à discussão sobre a aprendizagem oferecida aos alunos nos níveis iniciais do estudo na disciplina Química, principalmente no Ensino Médio.

O método de ensino tradicional, predominantemente utilizado nas escolas de Ensino Médio, é meramente expositivo, no qual o professor se apoia em uma seleção de conhecimentos, muitas vezes baseada em livros didáticos, fomentando a aprendizagem memorística dos estudantes, o que se contrapõe à aprendizagem significativa. Esse processo, totalmente passivo, é acelerado devido à quantidade de conteúdo exigida pelos currículos, o que leva o professor a optar por um método exclusivamente transmissão-recepção, em que o aluno deverá recordar o conceito e defini-lo em uma avaliação (León, 1998).

Leal (2009, p. 40) afirma que a “ênfase excessiva em fórmulas e equações, que beneficia a identificação dos estudos de Química com uma prática predominantemente memorística, relaciona a símbolos e palavras pobres de significação”. No entanto, Ausubel (2003) assegura que a aprendizagem por memorização não resulta na aquisição de novos significados, desse modo, pode-se inferir que o aluno parece chegar à Universidade com essa dificuldade e a postura memorística. A partir desta reflexão, uma nova questão pode ser notada: *o que está sendo feito pelos docentes das Universidades para mudar a visão dos estudantes quanto à necessidade de memorização no estudo dos conceitos ligados à disciplina?*

Em continuidade, Helena também apresentou uma fala, como os demais docentes, considerando as dificuldades para além das disciplinas. Para ela,

“Infelizmente eu tenho que dizer que é a leitura, compreensão de textos, é! Nas disciplinas experimentais geralmente a gente pede relatório, então concluir, fechar, né?! Eles parecem que falta aquela

ideia de começo de meio e de fim. Por mais que você explique parece que é algo, você explica na semana passada, aí quando você vai retomar o assunto nessa semana parece que é outra turma. Escrever, se expressar, colocar no papel, não é?! É ler um texto de forma crítica, seguir normas, que é o que a gente bate bastante na tecla aqui. Que é quando a gente fala para eles: Olha tem a normas da ABNT. Norma não é algo que você pode mas... Aí você fica, olha gente tudo pra você fazer na vida você precisa normas. Então antes até de eu falar para você: olha eles têm dificuldades entender ligação química, não, o básico, pegar um texto, ler, eles têm muita dificuldade. Escrever um relatório, concluir (...)"

Outro ponto que a docente ressalta é a necessidade de imaginação. Em suas palavras:

Falta de imaginação. Um dia eu brinquei com eles e falei: Gente vocês não podem ter vergonha de imaginar as coisas, porque nós estamos numa, veja, é, a gente não vê o elétron, a gente sabe que ele existe pelas manifestações, alguém já viu? Você viu? Não, ninguém nunca viu! Então a gente tem que imaginar mesmo. Quando você fala de vibração molecular, né?! A gente usa às vezes esses modelos moleculares, eles acham que a molécula é aquela coisa dura, né? E não é!

Chassot (2003), em seu livro “Alfabetização científica: questões e desafios para a educação” discorre sobre a importância dos modelos e do papel da imaginação dentro de uma sala de aula, para favorecer o processo de aprendizagem científica. E para o autor, antes de iniciar uma leitura em sala,

Espero que a continuada necessidade de se fazer imagens deste mundo quase imaginário, recurso maior para entender a natureza, seja cada vez mais aguçada com este texto. Aqueles que precisam buscar o entendimento de um microcosmo para explicar as realidades deste mundo maravilhoso que nos cerca o fazem com modelos. (p. 249)

Bunge (1976), por sua vez, afirma que o modelo científico é uma construção imaginária de um processo ou de um objeto, que irá remeter a uma realidade que permitirá um estudo teórico com o uso de leis e teorias. Gilbert

(2007) ressalta a importância do desenvolvimento junto aos estudantes de habilidades de visualização, ou seja, as capacidades metavisuais. Para o autor, existe uma ideia de metacognição relacionada a visualização e essas capacidades metavisuais permitirão o processo de assimilação dos níveis onde o conhecimento químico é aprendido (submicroscópico, macroscópico e simbólico).

A questão 4, por se referir aos pré-requisitos para um conceito em específico, foi elaborada com a finalidade de observar se os docentes tinham um consenso sobre os pré-requisitos para o processo de ensino de um conteúdo de Química Orgânica em si. No entanto, como já mencionado, devido à dificuldade desses docentes em classificar esses pré-requisitos pelos docentes, surgiu a necessidade de se basear nessa questão e nos dados obtidos para uma análise mais aprofundada.

Por fim, ao analisar a fala dos docentes para a questão 4, ou seja, *“Quais os pré-requisitos conceituais necessários para o estudo do conceito de Ressonância?”*, foi possível, em conjunto com as questões anteriores, produzir uma referência para a elaboração do Instrumento 2. Isso porque, diante das discussões já realizadas e suas particularidades, a questão 4 apresentou um número maior de pré-requisitos conceituais identificados e, aparentemente, um consenso entre os professores.

Elaboramos a categoria “conceitos fundamentais (pré-requisitos)” e, com base no conhecimento desses docentes, pudemos identificar quais conceitos deveriam ser considerados e que são estudados ao longo do curso de Química para a compreensão mais aprofundada de um conceito específico da disciplina de Química Orgânica: o de Ressonância. Assim, tivemos suporte para a elaboração das questões que comporiam o Instrumento 2.

Essa análise possibilitou elaborar o Quadro 16, no qual os conceitos foram caracterizados a partir de unidades de sentido, acompanhadas do respectivo registro de falas características de alguns desses docentes.

Quadro 16. Unidades de sentido levantadas nas entrevistas dos professores para a questão 4.

Categoria	Unidades de sentido	Registros dos professores
Conceito fundamental (pré-requisito)	Ligação química	“(…) por que o composto pode ser menos estável, força de ligação eles não sabem direito o que é então, por exemplo, tudo isso está ligado ao que? Ligação química!” (Bia)
	Hibridização	“(…) conceito de hibridização: sp^1 , sp^2 , sp^3 , que está envolvido na geometria, um é tetraédrico, um e trigonal plana e a outra é linear, então eu acho que isso é o básico para entender a ressonância (…)” (Marcos)
	Estabilidade dos compostos	“(…) quando você olha para o nitrogênio, o nitrogênio tem um par de elétrons livres, então você tem estabilidade (…)” (Bia)
	Orbitais moleculares	“Ressonância ela só ocorre porque, porque tem orbitais “ p ” alinhados nos átomos adjacentes” (Marcos)
	Propriedades periódicas (Eletro-negatividade)	“(…) em uma carbonila, o que acontece em uma carbonila? Repare que a eletronegatividade que, como propriedade periódica, está em toda nossa conversa eu falo eletronegatividade que é um conceito que muitos alunos vêm para a Química Geral sem, às vezes, sem ter muito ideia” (Marcos)
	Uso de modelos	“(…) nós desenhamos uma molécula tentando naquele desenho representar o que a molécula é” (Alves)

Fonte: a autora.

Na visão dos professores entrevistados, o conceito de Ligação Química é um importante pré-requisito para o ensino da ressonância. Para Alves, é muito importante se compreender os tipos de ligação química modelados pela ciência. Em suas palavras:

“(…) descrever ressonância é a ligação química deslocalizada, portanto o conceito inicial que se tem que ter é a de ligação química localizada (…) ou seja, agora não é mais ligação química localizada entre dois átomos, e sim entre um conjunto de átomos”

Da mesma maneira, a “deslocalização de elétrons” em uma ligação química também é citada por outros entrevistados. Na opinião de Bia,

“(…) você tem que saber o que acontece quando você tem compostos que tenha pares de elétrons livres, e porquê que você, quem são esses pares, porque eles estão ali, o que acontece em uma deslocalização de pares de elétrons livres também entra em ressonância”

Segundo Atkins e Jones (2006, p. 174), ao tratarmos de ressonância “os elétrons que podem ocupar posições diferentes nas estruturas de ressonância são chamados de elétrons deslocalizados”, ou seja, na deslocalização, um par de elétrons compartilhado distribui-se entre diversos átomos, e não apenas a um par de átomos.

Outro importante ponto indicado é o movimento dos elétrons, necessário para a compreensão dos “Orbitais Moleculares”, conceito já citado pelos docentes para as questões 1 e 2. Nas palavras de Júnior:

“(...) para entender ressonância, tem que saber, como eu disse, teoria de orbitais, certo? (...) Como os elétrons se movimentam em um, entre diferentes átomos”.

Atkins e Jones (2006) indicam que:

“Na teoria dos orbitais moleculares, os elétrons ocupam orbitais chamados orbitais moleculares, que se espalham por toda a molécula. Em outras palavras, enquanto nos modelos de Lewis e de ligação de valência os elétrons estão localizados em átomos ou entre pares de átomos, na teoria dos orbitais moleculares todos os elétrons de valência estão deslocalizados sobre toda a molécula, isto é, não pertencem a nenhuma ligação em particular” (p. 218).

Portanto, relacionar o movimento dos elétrons em um único orbital molecular pode ser considerado um erro conceitual, pois, segundo os autores, o movimento dos elétrons ocorre em todo o orbital, ou seja, em toda a estrutura, e não apenas em um ou outro átomo. Por outro lado, na visão de Marcos, quando tratamos do conceito de orbitais, torna-se imprescindível estudar “Geometria Molecular”. Ele afirma que

“(...) orbital molecular é que também está junto com a geometria, tem que saber geometria, carbono tetraédrico, saber essas coisas que também dificulta o entendimento na visualização do alinhamento dos orbitais (...)”.

Somente duas das entrevistas apareceram novamente os conceitos como “Propriedades Periódicas” – mais especificamente, a Eletronegatividade – foram mencionados novamente. Helena faz as seguintes considerações:

“(...) Tabela Periódica, eu vou falar para você na parte dos compostos orgânicos, então ele vê a correlação desse elemento na tabela periódica, o número máximo de reações que ele pode fazer, a partir do momento que ele se liga a outro elemento, eletronegatividade, que ele prevê cargas parciais, o conceito de carga formal (...)”.

Algo muito significativo nessa pesquisa foi exposto por Alves ao afirmar que o “Uso de Modelos” na Química é um fator limitante para os estudantes, uma vez que, ao representar uma molécula, nem sempre é possível ser coerente com a realidade, especialmente quando se trata da ressonância. Alves considera que

“(...) você começa os conceitos da Química Orgânica e de repente aparece essa coisa, essa tal de ressonância, onde nós vimos, em algum momento falar assim ‘olha só, isso não é o que parece ser, né?!’ (...), nós desenhamos uma molécula tentando naquele desenho representar o que a molécula é, no que diz respeito às suas características químicas (...)”.

O uso de modelos desempenha um papel crucial no desenvolvimento de diversas áreas, principalmente das Ciências. Representando um objeto ou até mesmo uma ideia, eles visam facilitar a visualização e interpretação de conceitos e fenômenos. Segundo Kuhn (2007), os modelos auxiliam no entendimento do que pode ser aceito ou não como uma explicação para um determinado fenômeno, apoiando o avanço da Ciência.

Gilbert, Justi e Queiroz (2010) destacam que a modelagem é um processo complexo que envolve muitas habilidades e competências que devem ser dominadas pelos estudantes. Partindo destes princípios, na ciência Química, o uso de modelos mentais desempenha um papel central, pois auxilia na compreensão de diversos conceitos. Podemos perceber uma aproximação entre a ideia de Alves com a fala de Helena na questão 3, quando ela menciona a falta de imaginação dos estudantes, o que resultam em dificuldades de aprendizagem.

Um fator que chamou nossa atenção durante as entrevistas foi a confusão quanto à importância e à existência dos pré-requisitos para o estudo da Ressonância. Uma parcela dos professores entrevistados não percebe a

importância desses pré-requisito ou não tem uma definição clara do que, de fato, constitui um pré-requisito de aprendizagem. Ao ser questionado, Júnior diz que

“(...) basicamente você tem que saber Físico-Química, porque tem muitos alunos que não gosta, quem gosta de Orgânica, não gosta de Físico-Química, e quem gosta de Físico-Química não gosta de Orgânica, e, só para você saber, existe uma linha de pesquisa chamada Físico-Química-Orgânica, (...). Precisa saber Química Quântica, para ver teoria de orbitais. Saber Química Geral eu acho que é o básico! (...). Então você tem que saber a parte Quântica de Química, de Físico-Química a respeito de teoria de orbitais e um pouco de Química Geral, de ligação química, (...) também é necessário as vezes para você entender o que é um catalisador”

Ao analisarmos a fala de Júnior, percebemos que, em seu ponto de vista, praticamente todo o conteúdo estudado nas disciplinas básicas (Química Geral) e de formação em Química (Química Orgânica, Analítica, Inorgânica e Físico-Química) é fundamental para a compreensão desse conceito estudado em Química Orgânica.

No entanto, ao avaliarmos os currículos propostos para o curso de Química pelas “Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação de Professores da Educação Básica”, (Garcia; Kruguer, 2009), verifica-se que conteúdos relacionados à Química Quântica não são contemplados como disciplinas obrigatórias. Observa-se, portanto, uma incoerência entre os currículos dos cursos de Química e os temas necessários ao processo de ensino de um conceito que está inserido na matriz curricular de Química Orgânica, a Ressonância.

Entretanto, Bia manifesta-se da seguinte forma:

“(...) eu acredito também que é o que nós estávamos falando, é um processo, a aprendizagem é um processo, é onde você tem, então você apresenta em Química Geral um determinado conteúdo, eles aprendem uma porcentagem disso, claro, menos que 50%! Quando eles passam para a Química Inorgânica, eles acabam também tendo um aprendizado, uma certa porcentagem disso, de conceitos. Quando eles passam para Orgânica, um pouco mais, Orgânica II e assim por

diante. Então eles vão, existe aí um processo de aprendizagem, porque nós acabamos tocando nos mesmos pontos, não interessa se é Físico-Química, Analítica, se é Orgânica ou se é Inorgânica, os pontos são os mesmos, a base é a mesma, a Química é uma só.”

Podemos observar que os dois entrevistados, Júnior e Bia, demonstram opiniões contrárias em relação aos processos de ensino e aprendizagem, sendo que, enquanto um garante que o aluno precisa aprender tudo, a outra firma que o aluno consegue aprender apesar de dominar apenas uma parcela desse conhecimento.

Para Bia, a aprendizagem é um processo evolutivo, não ligado a construções isoladas, ou seja, conhecimentos novos que não fazem relação com nenhum outro conhecimento, sem contexto, tornam-se mecânicos, causando dificuldades, pois, somente podem ser utilizados em situações semelhantes ao contexto de aprendizagem (Illeris, 2013).

Outros conceitos foram citados por um ou outro docente em particular. Portanto, os conceitos apontados como pré-requisitos ao longo das entrevistas ao todo foram: Ligação Química, Hibridização, Estabilidade dos Compostos, Ligações Polarizadas, Propriedades periódicas (principalmente eletronegatividade), Geometria Molecular, Atomística e o Uso de modelos.

A análise da Questão 1 se revelou interessante para a pesquisa ao observarmos a recorrência de conceitos nas respostas às Questões 2 e 4, ou seja, os pré-requisitos apontados tornaram-se importantes também no estudo da disciplina Química Orgânica, conforme pode ser observado no Quadro 17, que apresenta um comparativo entre os conceitos elencados na questão 1, 2 e 4 (*‘Quais os conceitos mais importantes a serem estudados na disciplina Química Orgânica?’*; *‘Quais conceitos básicos (pré-requisitos) os alunos devem saber ao iniciar a disciplina?’* e *‘Quais os pré-requisitos conceituais necessários para o estudo do conceito de Ressonância?’*, respectivamente).

Ao compararmos nossos resultados com a literatura, confirmamos os resultados de Duis (2011), que, ao entrevistar professores da área de Química Orgânica, identificou os conceitos de Química Geral que os docentes afirmam ser necessários revisar com os alunos antes de iniciar a disciplina.

Os conceitos mais apontados neste texto foram *Ligações químicas*, *Acidez e Basicidade*, seguido por *Orbital/Hibridização*, *Estruturas de Lewis/3D* e *Polaridade*.

Quadro 17. Comparação entre conceitos necessários a aprendizagem de química orgânica, os pré-requisitos conceituais para a aprendizagem da disciplina e também de ressonância.

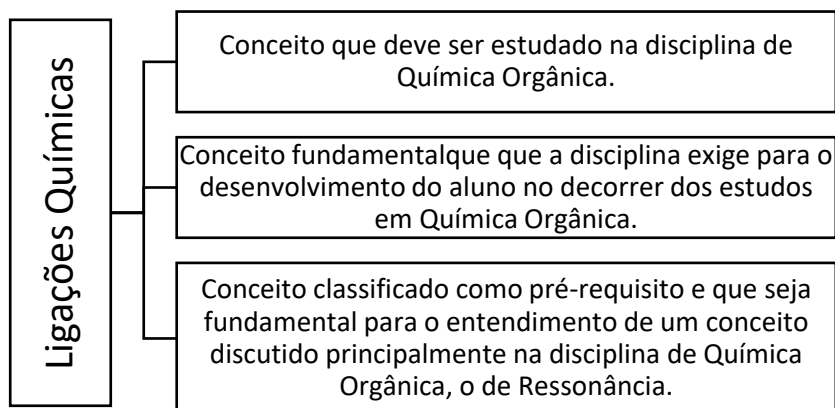
Conceito	Questão 1	Questão 2	Questão 4
Ligação Química	X	X	X
Hibridização	X	X	X
Orbitais	X	X	X
Propriedades periódicas	X	X	X
Estrutura molecular (Atomística, uso de modelos, geometria molecular, polaridade)	X	X	X
Acidez e basicidade	X		X
Mecanismo reacional		X	
Balanco de cargas			X
Estabilidade dos compostos			X
Deslocalização de elétrons			X

Fonte: a autora.

Pode-se perceber que, dos nove conceitos elencados como pré-requisitos conceituais para a aprendizagem de um conceito específico de estudo de Química Orgânica, a Ressonância, seis são caracterizados pelos docentes como conceitos fundamentais também para a aprendizagem em Química Orgânica, e seis são pré-requisitos para iniciar a disciplina em questão.

Novamente reforçamos a dúvida quanto ao que os docentes realmente compreendem sobre a importância dos pré-requisitos. Ao analisar um único conceito apontado pelos docentes em relação ao objetivo de cada questão proposta na entrevista, elaboramos a Figura 1.

Figura 1. Esquema de interpretação do pré-requisito Ligações Químicas mediante a análise do Instrumento 1.



Fonte: a autora.

Podemos observar por essa figura uma dificuldade de interpretação pelos docentes sobre o tema principal do nosso Instrumento 1: os pré-requisitos. No entanto, considerando sua validação e o aporte encontrado na literatura (Duis, 2011), obtivemos o subsídio necessário para a construção do Quadro 18, o qual apontamos os conceitos identificados pelos professores como pré-requisitos essenciais para o ensino e aprendizagem de Química Orgânica.

Quadro 18. Conceitos elencados como pré-requisitos para a aprendizagem de conceitos de Química Orgânica.

Questão	Pré-requisito
<i>Pré-requisitos utilizados para a elaboração do Instrumento 2</i>	Ligação química
	Hibridização
	Estabilidade dos compostos
	Polaridade das ligações (polaridade das moléculas / Ligações polarizadas)
	Teoria dos Orbitais Moleculares
	Propriedades periódicas com ênfase em Eletronegatividade
	Geometria Molecular
	Atomística
	Uso de Modelos

Fonte: a autora.

Cabe ressaltar que os conceitos classificados como pré-requisitos *Hibridização*, *Teoria dos Orbitais Moleculares* e *Atomística* não serão discutidos nesta pesquisa. Isso se deve ao fato de que as questões elaboradas no Instrumento 2, que abordavam esses conceitos, não serão analisadas no decorrer do próximo capítulo.

5.2 Análise do Instrumento 2

A questão 1 do Instrumento 2 (*Como você explica as ligações que se formam entre um átomo de cálcio e os átomos de halogênios? Quais tipos de ligações químicas podemos esperar?*) foi analisada seguindo os passos descritos na metodologia desta pesquisa. Inicialmente, numeramos os questionários de modo aleatório de 1 a 61 de acordo com os colaboradores apresentados.

Em seguida, construímos um Quadro (Apêndice C) no qual todas as respostas dos participantes para a questão 1 foram transcritas, e cada questionário, recém numerado, foi identificado para discussões futuras. O Quadro 19 apresenta um breve esquema de como essa análise foi realizada.

Quadro 19. Exemplo de análise inicial para quatro respostas dos estudantes mediante a questão 1 do Instrumento 2.

Código do questionário	Resposta do sujeito de pesquisa	Pré-requisito encontrado inicialmente	Nível de explicação
1	Cálcio = metal / Halogênio = ametal = Fazem ligação iônica	Ligações Químicas sem explicação	Inadequada
14	Pode-se explicar pela Teoria da Ligação Iônica.	Ligações Químicas sem explicação	Inadequada
3	A ligação entre eles é uma ligação iônica, o cálcio por ser eletropositivo doa um elétron faltante para o flúor que é muito eletronegativo. Pela regra do octeto basta apenas um elétron para estabilizar o flúor, e cálcio tem que perder dois elétrons para se estabilizar.	Ligações Químicas com explicações que remetem às propriedades periódicas dos elementos.	Parcialmente adequada
12	O cálcio é deficiente eletronicamente (2+) Qualquer halogênio é carregado eletronicamente (1-) Para cada um deles se estabilizar, ocorre a reação entre eles. A estabilidade é conseguida pela regra do octeto. Considerando X para qualquer halogênio: $X \Rightarrow Ca \Leftarrow X$	Ligações Químicas com explicações que remetem à existência de cargas e movimentos de elétrons dos elementos.	Parcialmente adequada

Fonte: a autora.

Cada uma das questões foram inicialmente analisadas mediante os níveis de adequação propostos no Quadro 10, ou seja, avaliando seus critérios de enquadramento em relação ao que era esperado pela resposta.

As respostas classificadas com nível adequado e/ou parcialmente adequadas foram novamente analisadas, no entanto, nesse momento fazendo uso da Análise do Conteúdo (Bardin, 1977), com o objetivo de identificar o nível de aprofundamento das respostas dos participantes (Quadro 11). Desse modo, buscamos identificar as unidades complementares de identificação para cada categoria (o pré-requisito) nessas respostas.

Após a identificação de todas as unidades complementares, classificamos os níveis de compreensão da explicação em relação aos níveis de adequação através do índice de alusão a unidade complementar da categoria (Quadro 12).

A análise completa das respostas dos colaboradores é apresentada no Apêndice D.

Vale ressaltar que as respostas classificadas como inadequadas não foram reanalisadas pois já era possível evidenciar que faltavam informações na mesma, ou que eram apenas conceitos jogados, sem nenhuma definição ou explicação.

Para a questão 1, foram associados dois pré-requisitos: Ligações Químicas e Propriedades Periódicas, com ênfase na Eletronegatividade e Eletropositividade. Para avaliar as noções que o aluno possuía sobre as teorias de Ligações Químicas e reconhecer se o aluno iria considerar a eletronegatividade e eletropositividade no momento de uma ligação, utilizamos inicialmente a análise em relação a qual categoria o participante fazia uso no momento da sua explicação para a pergunta e em seguida as unidades complementares de identificação ao conceito. Para a questão 1 foram indicadas seis unidades complementares: Eletronegatividade; Eletropositividade; Transferência de elétrons; Formação de cátions/ânions; Caráter iônico/compostos iônicos e Retículo cristalino, conforme indicado no Quadro 11.

Na primeira análise, ou seja, na análise mediante os níveis de adequação, tomando como partida as respostas elaboradas pelos docentes, dos 61 questionários respondidos, nove deles não apresentavam resposta para a questão de número 1, dezesseis respostas foram classificadas no nível inadequado e trinta e nove respostas foram classificadas no nível parcialmente

adequadas. Nenhuma das respostas pode ser classificada no nível adequado. Estes resultados são apresentados no Quadro 20.

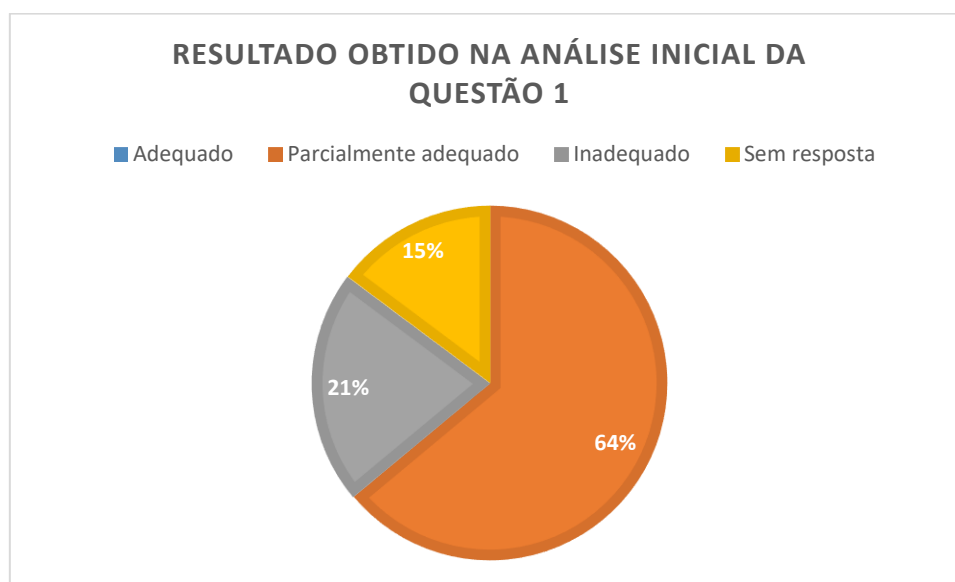
Quadro 20. Resultado obtido na análise inicial da Questão 1.

Primeira análise - Questão 1		
Níveis de adequação	Adequado	0
	Parcialmente adequado	39
	Inadequado	13
	Sem resposta	09

Fonte: a autora.

A Gráfico 5 representa esses valores em porcentagem em relação aos níveis de adequação encontrados inicialmente.

Gráfico 5. Resultado obtido na análise inicial da Questão 1 mediante os níveis de adequação das explicações dos alunos.



Fonte: a autora.

As respostas classificadas inicialmente ao nível de adequação como inadequadas foram respostas que apresentavam pouco ou nenhum entendimento dos conceitos de Ligação Química e não faziam alusão ao uso das Propriedades Periódicas para explicar a ligação solicitada. Desses questionários seis deles (números 14, 19, 40, 41, 43 e 44) apresentavam apenas respostas diretas do tipo “*Ligação Iônica*”, no plural ou apenas “*Iônica*”.

Outros estudantes tentaram justificar uma parte da questão na qual o elemento cálcio, por pertencer à coluna IIA da Tabela Periódica deve perder elétrons, no entanto, não justificaram a questão solicitada, como é o caso do questionário número 42:

“Ligações iônicas, pois Ca família IIA, doa elétrons”

Já os questionários de número 01 e 04, respectivamente, apresentam uma breve noção do conceito de Ligação Química muito compatível com o que se estuda em cursinhos preparatórios para o vestibular, onde os alunos aprendem “macetes” que os ajudarão a enfrentar a prova do vestibular.

“Cálcio = metal / Halogênio = ametal = Fazem ligação iônica” (01)

“Cálcio => metal Halogênio => ametal Ligação entre os íons” (04)

No geral, essa resposta não está incorreta, no próprio livro Química: a Ciência Central (Brown; Lemay; Bursten, 2005), há uma explicação muito parecida quando os autores tratam a formação de cátions, ânions e os compostos iônicos.

Para os autores: “Em geral, átomos metálicos tendem a perder elétrons para formar cátions, enquanto átomos não-metálicos tendem a ganhar elétrons para formar ânions” (p. 47).

Em três questionários, os estudantes classificaram as ligações formadas como ligações do tipo covalente.

“Por diferença de eletronegatividade entre os elementos forma-se ligações iônicas. Iônica ou covalente.” (22)

“É uma ligação covalente, pois o cloro é bastante eletronegativo, já o cálcio tem tendência de perder elétrons” (54)

“O cálcio tem sua camada de valência preenchida, o Cl- tem a falta de um elétron para tornar-se estável. Sendo assim a ligação é covalente, pois o cálcio compartilha seus elétrons.” (61)

Já para outro participante, a ligação formada trata-se apenas de uma atração entre cargas opostas.

É uma interação eletrostática (57)

As 39 respostas com explicações classificadas como pertencentes ao nível de adequação “parcialmente adequado” foram assim categorizadas porque as respostas dos participantes demonstravam uma noção básica sobre a teoria de Ligações Químicas, mas apresentavam pouca ou nenhuma conexão com as propriedades periódicas ou utilizavam conceitos distantes dos modelos científicos aceitos na atualidade. Estas respostas foram reanalisadas utilizando as unidades complementares de identificação ao conceito.

Para essa análise, buscamos identificar indícios nas respostas dos participantes em relação às unidades complementares elencadas junto às respostas dos docentes. O Quadro 21 apresenta as características que emergiram no decorrer da análise e como foram interpretadas.

Quadro 21. Características determinadas para a identificação das unidades complementares dos conceitos.

Pré-requisito	Unidades complementares de identificação ao conceito	Possíveis identificações
Ligação Química	Eletronegatividade	- Presença da palavra relativa à unidade complementar.
	Eletropositividade	- Presença da palavra relativa à unidade complementar.
	Transferência de elétrons	- Presença das palavras relativas à unidade complementar. - Presença de palavras que expressem uma movimentação de elétrons. Por exemplo: “doa/cede/perde elétrons”, “recebe elétrons”.
	Formação de cátions/ânions	- Presença das palavras relativas à unidade complementar. - Presença de características dos compostos serem eletronegativos e eletropositivos. - Explicações que remetam à movimentação de elétrons de modo mais específico. Por exemplo: “o cálcio deve perder dois elétrons” e “o halogênio ganha um elétron”. - Utilização de representações da formação do cátion, Ca^{2+} , e do ânion, X^- , durante a explicação.
	Caráter iônico/compostos iônicos	- Presença das palavras relativas à unidade complementar. - Referência à característica da ligação. Por exemplo: “tipo iônica” ou “eletrostática”.
	Retículo cristalino	- Presença das palavras relativas à unidade complementar.
Propriedades Periódicas	Eletronegatividade	- Presença da palavra relativa à unidade complementar.
	Eletropositividade	- Presença da palavra relativa à unidade complementar.

Fonte: a autora.

Assim sendo, analisamos todas as 39 respostas identificando as unidades complementares de identificação aos conceitos. Em seguida, mediante o número de unidades complementares identificadas na resposta, pode-se avaliar o índice de alusão às categorias e classificar o nível de compreensão da explicação do participante, reclassificando o nível de adequação da resposta.

Para a Questão 1, conforme já explicado anteriormente, por considerarmos seis unidades complementares no total para cada resposta, ou seja, uma resposta adequada com um nível de compreensão plenamente satisfatório apresentaria um índice de alusão de 100%, cada unidade de identificação foi valorada com um peso de 16,67, arredondado para 16,7. Assim, cada unidade complementar representaria uma parcela desse valor.

O Quadro 22 apresenta a análise de quatro respostas dos participantes para a questão 1, como exemplo sobre a metodologia apresentada.

Quadro 22. Exemplo de caracterização das unidades complementares de identificação dos conceitos e formulação do índice de alusão dessas unidades.

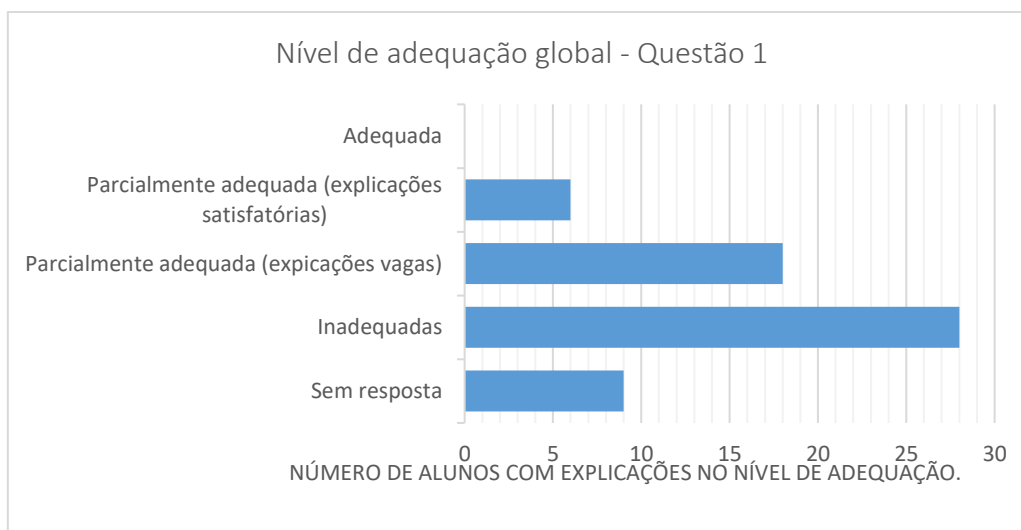
Identificação do questionário	Registro	Unidades complementares de identificação ao conceito classificadas	Trecho que remete à unidades complementares de identificação ao conceito	Índice de alusão as unidades complementares às categorias (%)
03	A ligação entre eles é uma ligação iônica, o cálcio por ser eletropositivo doa um elétron faltante para o flúor que é muito eletronegativo. Pela regra do octeto basta apenas um elétron para estabilizar o flúor, e cálcio tem que perder dois elétrons para se estabilizar.	Eletropositividade	“(…) o cálcio por ser eletropositivo (…)”	66,8
		Eletronegatividade	“(…) flúor que é muito eletronegativo (…)”	
		Transferência de elétrons	“(…) o cálcio por ser eletropositivo doa um elétron faltante para o flúor (…)”	
		Formação de cátions/ânions	“(…) cálcio tem que perder dois elétrons para se estabilizar (…)” “(…) um elétron para estabilizar o flúor(…)”	
59	Ca → grupo 2 Halogênio → grupo 17 CaCl ₂ Cl-Ca-Cl O cálcio é um metal e o cloro é um não-metal, a ligação entre eles é iônica, ou seja, eles são unidos por uma interação eletrostática em que o cálcio irá ceder os elétrons para que o halogênio que ele se ligue fique estável.	Transferência de elétrons	“(…) cálcio irá ceder os elétrons para que o halogênio que ele se ligue fique estável”.	50,1
		Formação de cátions/ânions	“(…) cálcio irá ceder os elétrons para que o halogênio que ele se ligue fique estável”.	
		Caráter iônico/compostos iônicos	“(…)a ligação entre eles é iônica, ou seja, eles são unidos por uma interação eletrostática (…)”	
25	A ligação entre Ca ²⁺ e halogênios se explica pela diferença de eletronegatividade entre os átomos, ligação do tipo iônica/eletrostática.	Eletronegatividade	“(…) se explica pela diferença de eletronegatividade entre os átomos (…)”	33,4
		Caráter iônico/compostos iônicos	“(…) ligação do tipo iônica/eletrostática (…)”	
21	São ligações fortes porque são elementos com grande diferença de eletronegatividade. Assim, as ligações químicas esperadas são as ligações mais fortes, sendo essas ligações iônicas.	Eletronegatividade	“(…) são elementos com grande diferença de eletronegatividade”	16,7

Fonte: a autora.

Conforme se observa no Quadro 13, cada resposta apresentou um índice de alusão às unidades complementares de identificação ao conceito. Assim, de acordo com o especificado no Quadro 12, respostas com índice entre 0 e 25% foram reclassificadas para o nível de adequação da explicação como inadequado; respostas com índice entre 26 e 75% mantiveram-se ao nível de adequação da explicação como parcialmente adequada; e resposta com índice entre 76 a 100% seriam reclassificada pertencentes ao nível de adequação como adequada.

No Apêndice E, apresentamos a análise das 39 respostas classificadas inicialmente como parcialmente adequadas. Como já mencionado, contabilizamos as unidades complementares aos conceitos e a presença dessas unidades para determinar o nível de adequação das respostas do estudante. Após a reanálise, algumas respostas classificadas como parcialmente adequadas foram reclassificadas como inadequadas. Assim, dos 61 questionários nove não apresentaram resposta para a questão, vinte e oito 28 foram classificados como inadequados e vinte e quatro como parcialmente adequadas. O Gráfico 6 apresenta os dados referentes aos níveis de adequação global das explicações dos participantes para a Questão 1 após reanálise.

Gráfico 6. Nível de adequação global das explicações dos participantes – Questão 1.



Fonte: a autora.

Ao identificarmos as unidades complementares de identificação dos conceitos nas respostas reanalisadas como parcialmente adequadas, com

explicações satisfatórias ou vagas, notamos que menos da metade dos participantes citam a eletronegatividade.

No artigo “O conceito de eletronegatividade na Educação Básica e no Ensino Superior”, publicado no periódico Química Nova em 2011, os autores apresentam uma breve revisão histórica da evolução do conceito de eletronegatividade. Esse conceito foi introduzido inicialmente por Berzelius em 1811, e definido como a capacidade que o átomo possui de atrair os elétrons para si. Esta concepção foi modificada posteriormente por Linus Pauling, quando aprofundou seus estudos, em 1931, determinando as diferenças de eletronegatividade entre os átomos participantes de uma ligação, atribuindo como referência a eletronegatividade do hidrogênio, foi possível a construção de uma escala de eletronegatividade (Santos; Silva e Wartha, 2011).

Os estudos sobre esse conceito não cessaram por aí. Em 1934, Mülliken, propôs uma nova escala para a eletronegatividade, na qual ela seria a média aritmética entre a energia de ionização e a afinidade eletrônica. Já Allred e Rochow, em 1958, definiram que a eletronegatividade estaria relacionada à força eletrostática em que um elétron da camada de valência causaria à carga nuclear efetiva desse átomo.

Praticamente no mesmo período, Sanderson, em 1951, relacionou a eletronegatividade com o tamanho do átomo (raio atômico), reconhecendo que átomos com valores de eletronegatividade elevados teriam tendência em adquirir cargas negativas, ocasionando uma diminuição da sua densidade eletrônica e, para os átomos com valores baixos seria natural a perda de elétrons, formando uma região com maior densidade eletrônica (Santos; Silva e Wartha, 2011).

Escala de eletronegatividade distintas foram sugeridas por Pearson em 1990, cada uma considerada correta quando utilizada a uma área específica de aplicação (Santos; Silva e Wartha, 2011).

Santos, Silva e Wartha (2011), pesquisaram a abordagem do conceito de eletronegatividade em 13 livros didáticos de Ensino Médio e de Ensino Superior. Os autores observaram que, partindo da construção histórica do conceito, sua caracterização só faz sentido quando há ligações entre elementos diferentes, referindo-se assim a um átomo em uma molécula ou retículo cristalino. No entanto, nos 6 livros didáticos de Ensino Médio analisados, o conceito é apresentado de forma histórica e sem contextualização, sem relacioná-lo a

outras propriedades periódicas ou destacar a importância da sua aprendizagem. Como resultado, os alunos acabam apenas memorizando regras, como os esquemas de setas na Tabela Periódica que indicam que a eletronegatividade aumenta da esquerda para a direita ao longo do período e diminui de cima para baixo, nos grupos. Nos 5 os livros didáticos de Ensino Superior, todos de Química Geral, os autores verificaram que “a maioria aborda o conceito de eletronegatividade de maneira que não há um avanço em relação ao conceito abordado nos livros didáticos de Ensino Médio” (2011, p. 1850), ou seja, não há aprofundamento no conceito.

Müller e Maldaner (2014), no desenvolvimento de uma situação de estudo envolvendo o tema, identificaram a dificuldade dos estudantes do 1º ano do Ensino Médio em compreender determinados conceitos e, em especial, a eletronegatividade. Buscando compreender como o conceito seria desenvolvido pelo professor de Química, as aulas foram gravadas e analisadas pelos pesquisadores. Os resultados indicam que onde o professor de Química discute como a eletronegatividade estaria distribuída na Tabela Periódica e essa atitude do professor não permite uma possibilidade de evolução conceitual dos estudantes.

Godoy e Mesquita (2012), ao analisarem a relação entre os processos de ensino e aprendizagem utilizando o livro didático no Ensino Médio com uma questão do vestibular da Universidade Federal de Goiás de 2011, observaram novamente a inserção da “regra” referente à eletronegatividade na Tabela Periódica, com o objetivo de auxiliar a memorização dos estudantes. Este fato foi corroborado pela análise das respostas dos estudantes, que frequentemente incluíram frases e até mesmo desenhos ilustrando a distribuição da eletronegatividade na Tabela Periódica.

Em nosso estudo, observamos que alguns participantes se concentram tanto nas regras que acabam esquecendo dos conceitos. Em uma das respostas verificamos:

“O Cálcio está localizado na família 2A da Tabela periódica é classificado como metal e tem a tendência de doar elétrons. Já o halogênio está localizado na família VIIA e recebe 1 elétron e é um ametal. Ambos se ligam e formam uma ligação iônica.” (11)

Seguindo a mesma característica de resposta, outros questionários apresentaram novamente a resposta vinculada à memorização da regra:

“Cálcio - metal => Doa elétrons Halogênio - ametal => Recebe elétrons

Forma ligação iônica” (02).

“Um é metal (cálcio) outro ametal (halogênio), um tem tendência de receber outro de perder elétrons, por isso a reação ocorre. O cálcio é o metal com tendência de perder elétrons e o halogênio tem tendência de receber. Desta forma ocorre uma ligação iônica entre as duas espécies” (08).

No entanto, algumas respostas, apesar de indícios da vinculação à regra, sugerem que o estudante possa ter uma compreensão, ainda que parcial, da necessidade de determinar a eletronegatividade com base na ligação entre dois átomos. No entanto, ainda é possível considerar uma segunda interpretação: Os elementos citados na resposta estão ligados e há uma diferença de eletronegatividade entre eles, ou o aluno está se referindo a alguma escala que aprendeu no decorrer dos anos na disciplina de Química?

Para um dos participantes:

“A ligações entre o cálcio e os átomos de halogênios acontecem devido à diferença de eletronegatividade entre esses elementos constituindo ligações prevalentemente iônicas” (17).

A eletronegatividade também foi citada na resposta ao questionário 31, no entanto, não fazia menção à regra, apenas a sua diferença entre os dois átomos. Novamente nos resta a dúvida quanto aos elementos citados estarem ligados ou não.

“A ligação que ocorre entre o Cálcio e o halogênio é de caráter iônico devido sua grande diferença na eletronegatividade entre esses dois elementos” (31).

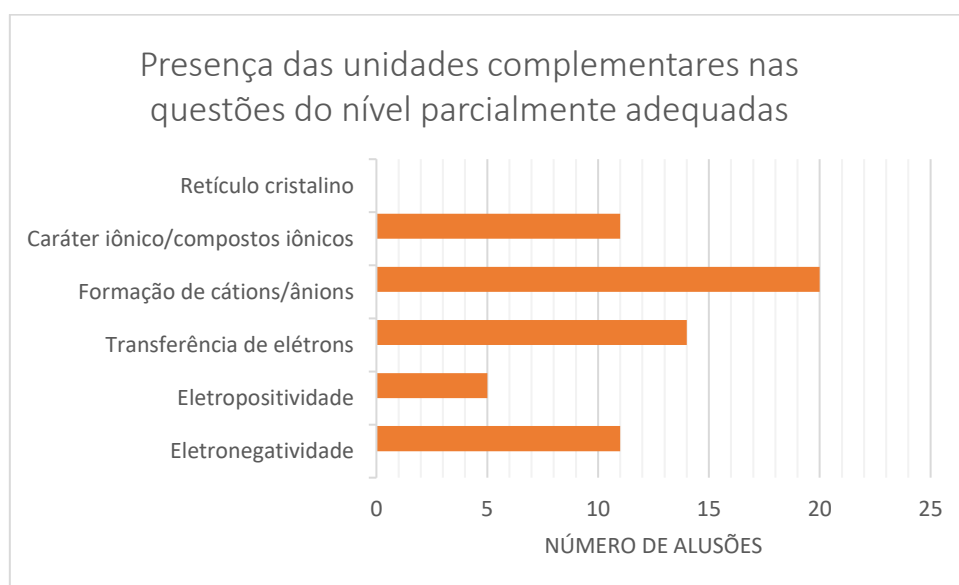
Pudemos também perceber em outros casos, que alguns participantes compreendem uma certa relação entre a eletronegatividade e outras

propriedades periódicas, como a eletropositividade. Nas palavras de um dos participantes:

“Cálcio é um metal alcalino terroso, e assim sendo é eletropositivo. Já o halogênio é um ametal (eletronegativo). Entre um metal e um ametal temos a formação de uma ligação majoritariamente iônica” (13).

O Gráfico 7 apresenta um levantamento do índice de citações das unidades complementares de identificação dos conceitos nas respostas com explicações classificadas ao nível parcialmente adequada.

Gráfico 7. Índice de caracterização das unidades complementares de identificação dos conceitos para a explicações parcialmente adequadas.



Fonte: a autora.

Mesmo que a eletropositividade seja uma propriedade periódica tão importante para os metais e para uma ligação química, já que mede a tendência que o átomo tem para ceder um elétron, ela é pouco valorizada nas respostas dos estudantes.

Quando pesquisamos sobre a eletropositividade na literatura, encontramos trabalhos científicos que falam dessa propriedade periódica durante experimentos eletroquímicos, a uma característica dos metais ou até mesmo ao inverso da eletronegatividade. No entanto, não há um aprofundamento ao tema de modo geral.

Oliveira, Melo e Souza (2021), ao analisarem o uso da experimentação nos processos de ensino e aprendizagem de conceitos químicos voltados a

corrosão junto a alunos de Ensino Médio, descrevem que os conceitos de eletronegatividade e eletropositividade foram construídos em diálogos às ideias de reatividade apresentadas pelos estudantes, com o objetivo de auxílio na compreensão sobre a transferência de elétrons. Para eles,

Num desses momentos, flagramos a estudante F apresentando definição equivocada de eletropositividade: “[...] a atração do próton.” Tal equívoco foi superado, após enfatizarmos a tendência de doar elétrons: *“na eletropositividade vai expulsar.”* (p. 16)

Talvez pela relação entre a eletronegatividade e a eletropositividade ser tão direta na própria literatura, leve a crer que o estudante que mencionar uma seria suficiente para explicar uma ligação química.

Outro fator interessante nas respostas analisadas, foi a presença de explicações que faziam uso da “Regra do Octeto” como justificativa da ligação.

“Devido a tendência do cálcio perder elétrons e dos halogênios em ganhar elétrons, ambos possuem essa tendência para obedecer a regra do octeto. E por possuírem uma grande diferença de eletronegatividade deve-se esperar que eles formem ligações iônicas” (32).

“Pela diferença de eletronegatividade e a configuração eletrônica há uma aproximação dos átomos com características iônicas pois o cálcio tem terminação $4s^2$, a forma mais fácil de entrar no octeto é perdendo dois elétrons ficando com oxidação $2+$ e o elemento da família do halogênio tem configuração p^5 que entra na regra do octeto recebendo um elétron ficando com estado de oxidação $1-$. Caracteriza-se então duas ligações iônicas, ou seja, dois halogênios ligados a um cálcio.” (36)

Ao todo, sete questionários faziam uso da Regra do Octeto em suas respostas, sendo que dois deles foram avaliados como pertencentes ao nível de adequação como inadequado.

Quando tratamos do ensino de Química, um dos temas principais para o desenvolvimento do conhecimento Químico é o tema Ligação Química, e esse é abordado pelos currículos para os alunos no 9º ano do Ensino Fundamental II

ou no 1º ano do Ensino Médio, variando entre escolas públicas e privadas. Percebe-se que a forma mais comum utilizada pelos estudantes e professores em cursos introdutórios à Química, nesses níveis escolares para explicar os motivos que os átomos fazem uma ligação química, é através da Regra do Octeto. Segundo Mortimer, Mol e Duarte (1994, p. 243) “os átomos tendem a ganhar ou perder elétrons para adquirirem configuração eletrônica estável”, assumindo assim, estabilidade através da Regra do Octeto.

Um livro muito citado entre os professores de Química do Ensino Médio é o de Tito e Canto (1998), nele encontramos o seguinte trecho sobre a regra do octeto:

“Ao contrário de todos os outros elementos, os gases nobres apresentam a última camada contendo 8 elétrons, com exceção do hélio, na qual a última camada só comporta 2. Tudo indica, portanto, que possuir uma eletrosfera igual à de um gás nobre faz com que o átomo fique estável.

Com raciocínio semelhante a esse, William Kossel e Gilbert Newton Lewis propuseram, independentemente, no ano de 1916, uma teoria para explicar a ligação entre os átomos, que ficou conhecida como *modelo do octeto de elétrons* (ou, simplesmente, *regra do octeto*). De acordo com esse modelo:

Um átomo estará estável quando sua última camada possuir 8 elétrons (ou 2, caso se trate da camada K). Os átomos não – estáveis se unem uns aos outros a fim de adquirir essa configuração de estabilidade” (p. 172).

A crítica ao uso da Regra do Octeto para justificar a estabilidade adquirida pelos átomos na ligação química não é recente. Mortimer, Mol e Duarte (1994) apontam que desde 1962 se criticava o uso desse conceito de forma descontextualizada. Segundo Ferreira,

“[...] o conceito de octeto de elétrons tem realmente muita importância histórica, mas afinal possui 45 anos de idade e já é tempo de destroná-lo da sua infalibilidade papal! (...)” (Ferreira, 1962, p. 78, *apud* Mortimer; Mol; Duarte, 1994).

No entanto, até os dias de hoje vemos que a maioria dos livros didáticos de Química, destinados ao Ensino Médio, explicam a ligação química indicando que o átomo busca perder ou ganhar elétrons para atingir/completar o octeto. Mortimer, Mol e Duarte (1994, p. 243) garantem que “uma abordagem relacionando a formação da ligação química ao abaixamento da energia potencial do sistema, o que, aí sim, poderia ser considerada uma explicação para a estabilidade” não é utilizada.

Em livros de Química que são utilizados no Ensino Superior encontramos uma abordagem semelhante ao explicar a ligação química. Para Atkins e Jones (2012):

Quando uma ligação iônica se forma, um átomo perde elétrons e outro os recebe até que ambos os átomos atinjam a configuração de um gás nobre. A mesma ideia pode ser estendida às ligações covalentes. Entretanto, quando uma ligação covalente se forma, os átomos *compartilham* elétrons até atingir a configuração de um gás nobre. Lewis chamou esse princípio de regra do octeto: Na formação de uma ligação covalente, os átomos tendem a completar seus octetos pelo compartilhamento de pares de elétrons (p. 63).

Atkins e Jones (2012), apesar do uso do princípio da Regra do Octeto, não a relaciona com a estabilidade da ligação formada. Portanto, ao explicar a ligação química desse modo, o estudante precisará, no futuro, de uma ruptura conceitual em relação a estabilidade dos compostos.

Russell (1994, p. 367), inicia o tratamento das ligações químicas afirmando que “A regra do octeto: apenas um guia”, nos fazendo crer que justificará a ligação química de um modo distinto à Regra do Octeto. No entanto, logo a seguir, completa:

Na medida do possível a estrutura de Lewis deveria mostrar que a regra do octeto é *obedecida*. Entretanto, há algumas moléculas e íons poliatômicos onde a regra é *desrespeitada*. Infelizmente, a palavra desrespeito nos leva a pensar que algo errado ocorreu, o que não é o caso. O *desrespeito à regra do octeto* refere-se apenas a uma situação na qual a regra é inadequada (p. 367).

Ao invés de discutir os modelos explicativos atualizados para a ligação química, o autor retoma a Regra.

O resultado obtido com essa análise permite afirmar os estudos de Nicoll (2001), em que evidencia que mesmo com alunos expostos a um maior conteúdo de Química ao longo dos anos, ainda há a continuidade de explicações equivocadas por eles, inclusive em um conceito tão usual na área de estudo quanto Ligações Químicas.

Explicar uma Ligação Química utilizando termos como Regra do Octeto evidenciam que esses estudantes apresentam um bloqueio epistemológico em relação a formação de uma molécula e, sendo assim, não conseguirão aprender significativamente termos essenciais ao estudo de Química Orgânica, tais como hibridização (Nakiboglu, 2003).

Para Taber (1998), explicações de alunos fazendo uso da Regra do Octeto é uma heurística para a identificação de espécies químicas estáveis, como uma base de princípio para a explicação de uma Ligação Química: as camadas completas.

Para o autor, o princípio explicativo parece ser um pilar de sustentação de uma estrutura conceitual alternativa para a compreensão da Química: a estrutura da Regra do Octeto, sendo essa uma estrutura incorreta e com percepções parciais, dotadas de conhecimentos limitados.

Para Taber (1998, p. 604),

A ideia de que os átomos procuram ter camadas completas é inerentemente antropomórfica, pois nenhuma força física é invocada para explicar por que os sistemas deveriam evoluir em direção a certas configurações eletrônicas. Pelo contrário, assumiu-se que era isso que os átomos "queriam" e, portanto, agiam de acordo: "em todos os casos, o que um átomo está tentando fazer é se tornar estável" (tradução nossa).

Para a questão 2 do Instrumento 2 (*Explique utilizando apenas propriedades periódicas as ligações que o enxofre faz nos seguintes compostos: SO_4^{2-} e SF_6 . Qual seria a geometria molecular e a polaridade de cada espécie?*), seguimos todos os passos descritos durante a metodologia e durante a análise da questão 1 para os 61 questionários.

Apesar de considerarmos a explicação adequada como sendo a existente no Quadro 10, nos deparamos com respostas diferente dos estudantes, nas quais muitos apresentaram respostas que faziam uso de desenhos de estruturas de Lewis ou de Kekulé, como representações das moléculas e de suas estruturas. Desse modo, buscávamos encontrar as categorias também nos desenhos, como discutimos a seguir.

É importante ressaltar que mantivemos a numeração atribuída para cada questionário conforme realizado para a Questão 1.

Para a questão 2 foram associados três pré-requisitos: Geometria molecular, Propriedades Periódicas (novamente com ênfase na Eletronegatividade) e Polaridade.

Mais uma vez, para avaliarmos o que os estudantes compreendiam sobre esses conceitos, utilizamos inicialmente a análise em relação a qual ou quais dessas categorias ele faria uso ao explicar a sua resposta. Portanto, inicialmente, classificamos cada uma das explicações dos estudantes quanto aos níveis de

adequação e, o Quadro 23 exemplifica a maneira que fizemos essa primeira análise.

Quadro 23. Exemplo de análise inicial para cinco respostas dos estudantes mediante a questão 2 do Instrumento 2.

Código do questionário	Resposta do sujeito de pesquisa	Pré-requisito encontrado inicialmente	Nível de explicação
27	(Ametais) Ligações covalentes. SF ₆ - Geometria Octaédrica e SO ₄ ²⁻ Geometria Tetraédrica	Geometria molecular sem explicação e sem o uso das propriedades periódicas.	Inadequada
40	Ligações covalentes. SO ₄ ²⁻ - Apolar; SF ₆ - polar	Polaridade sem explicação e sem o uso das propriedades periódicas.	Inadequada
49	O átomo de enxofre possui em sua configuração eletrônica a camada <i>d</i> semipreenchida o que possibilita assumir geometrias tetraédricas e octaédricas podendo formar várias ligações com compostos principalmente altamente eletronegativos como o caso do flúor, e também as nuvens eletrônicas dos halogênios ajustam-se ao enxofre devido ao baixo índice de interferência da nuvem eletrônica do mesmo.	Explicações de configurações eletrônicas que justificam a geometria molecular encontrada e o uso de explicações que remetem as propriedades periódicas dos elementos.	Parcialmente adequada
20	Que eu me lembre, o enxofre não segue a regra do octeto: pois ele sofre expansão. As ligações entre o S e o O e o S e o F são ligações covalentes e dativas. A geometria do SO ₄ ²⁻ é plana trigonal (<i>dúvida</i>) e do SF ₆ é bipirâmide trigonal (<i>dúvida</i>). Em relação à polaridade o SO ₄ ²⁻ é apolar e o SF ₆ também.		Parcialmente adequada

Fonte: a autora.

Novamente, na primeira análise, ou seja, mediante os níveis de adequação, dos 61 questionários respondidos oito deles não apresentavam respostas para a questão de número 2, onze respostas foram classificadas no nível inadequado, quarenta e uma respostas foram classificadas no nível parcialmente adequado.

Para essa questão, uma (01) resposta foi classificada como pertencente ao nível adequado, diferente da questão 1 que não apresentou nenhuma resposta pertencente a esse nível na primeira análise. Estes resultados são apresentados no Quadro 24.

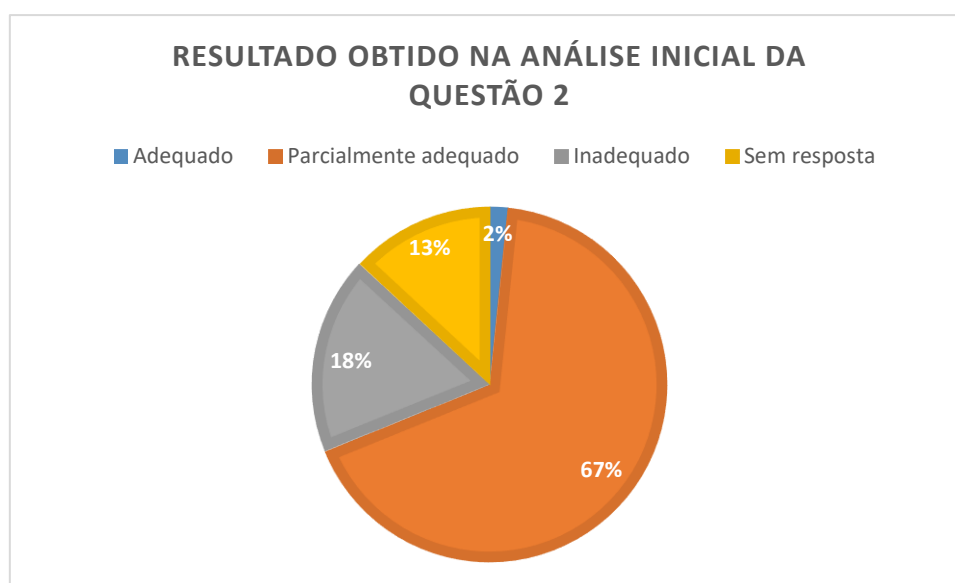
Quadro 24. Resultado obtido na análise inicial da Questão 2.

Primeira análise - Questão 2		
Níveis de adequação	Adequado	01
	Parcialmente adequado	41
	Inadequado	11
	Sem resposta	08

Fonte: a autora.

E, análogo ao que já demonstramos para a questão 1, representamos esses valores através da Gráfico 8. Optamos por representar a porcentagem das respostas recém analisadas mediante seus níveis de adequação iniciais.

Gráfico 8. Resultado obtido na análise inicial da Questão 2 mediante os níveis de adequação das explicações dos alunos.



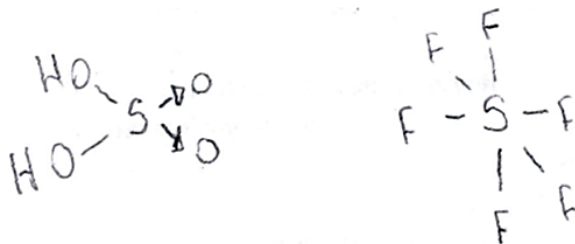
Fonte: a autora.

Em seguida, buscamos as unidades complementares à Questão 2 em cada uma das explicações categorizadas como parcialmente adequadas. Para isso, foram indicadas seis unidades complementares as três categorias iniciais (pré-requisitos), sendo eles: Diferença de eletronegatividade; Ligações simples/duplas; Domínio de elétrons; Expansão da Regra do Octeto; Caracterização da geometria e Caráter polar/apolar, conforme indicado no Quadro 11.

Como já mencionado, as respostas inicialmente classificadas como pertencentes ao nível de adequação inadequadas, foram respostas que apresentavam pouco ou nenhum entendimento dos pré-requisitos. Dentre esses questionários, quatro deles (01, 02, 06 e 46) apresentavam estruturas moleculares como respostas, nas quais nos três primeiros questionários

mentionado, no lugar de representar o ânion sulfato (SO_4^{2-}), representaram o ácido sulfúrico (H_2SO_4).

O questionário 1, por exemplo, apresentava a seguinte resposta:



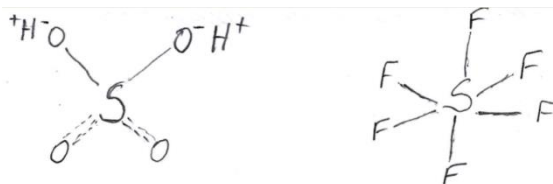
Percebe-se que o aluno, além de considerar o ácido sulfúrico como o ânion solicitado, ele apresenta uma visão relacionada ao Ensino Médio, uma vez que nesse nível de estudo não se aprende sobre a expansão do octeto do átomo de enxofre, mas sim, justifica-se a formação de outras ligações como “ligações covalentes dativas” ou, também chamadas de “ligações coordenadas”.

Conforme as palavras de McMurry (2005),

Ligações covalentes são formadas quando um par de elétrons é compartilhado por mais de um átomo. De acordo com a teoria de ligação de valência, o compartilhamento ocorre devido à sobreposição de dois orbitais atômicos. De acordo com a teoria de orbital molecular (OM), as ligações resultam da combinação matemática de orbitais atômicos para formar orbitais moleculares que pertencem à molécula como um todo. (p. 21)

Desse modo, sabemos que a ligação covalente dativa surgiu como uma justificativa de estabilidade para compostos que fugiam da Regra do Octeto. Fernandez e Marcondes (2006, p. 21) constataam que “os estudantes usam a Regra do Octeto como base para explicar as reações e as ligações químicas” e continuam confirmando que na visão desses estudantes as ligações químicas só ocorrem para satisfazer essa regra.

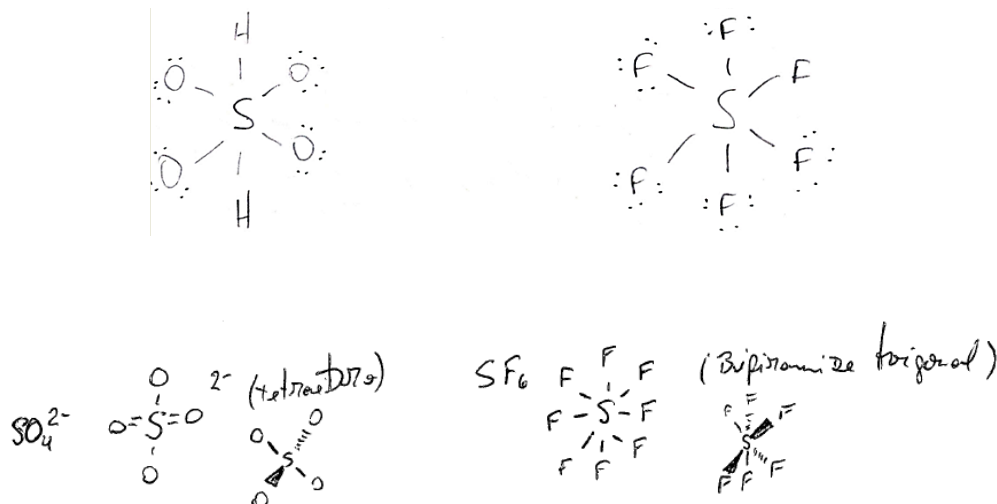
Já o questionário 3, apresenta o ácido sulfúrico com uma região da molécula que teria a possibilidade de sofrer ressonância, ou seja, duas ligações duplas entre o enxofre e o oxigênio pontilhadas, sendo a resposta:



É interessante ressaltar que apesar dos erros observados nesses dois casos, a estrutura do hexafluoreto de enxofre (SF_6) apresenta uma geometria

próxima à encontrada em livros didáticos, porém, sem as projeções de ligações que estejam saindo ou entrando no plano.

Para os questionários de número 06 e 46, temos as seguintes estruturas desenhadas, respectivamente:



Nas duas respostas encontramos erros relacionados a estrutura e as ligações entre os átomos. O questionário 06 (primeiro desenho apresentado), considera que existe na molécula de ácido sulfúrico ligações entre o enxofre e o hidrogênio (S-H). Enquanto isso, no questionário 46 (segundo desenho apresentado), na molécula de SF_6 temos oito átomos de flúor ligados ao enxofre (S-F).

Dentre as respostas inadequadas, também observamos aquelas que apresentavam frases, como por exemplo o questionário 27, 40, 51 e 52, respectivamente.

“(Ametais) Ligações covalentes. SF_6 Geometria Octaédrica e SO_4^{2-} Geometria Tetraédrica” (27)

“Ligações covalentes. SO_4^{2-} - Apolar; SF_6 – polar” (40)

“O enxofre possui camada de valência com subnível p e assim expande seus orbitais.” (51)

“O enxofre pode expandir a camada de valência.” (52)

Percebe-se que essas respostas não apresentam relação com a questão 2, na qual pedíamos que o estudante explicasse as ligações químicas do enxofre nesses dois compostos utilizando as propriedades periódicas e falasse também de sua polaridade.

Aparentemente o aluno até compreende a expansão da camada de valência do átomo de enxofre, como podemos notar nas respostas dos questionários 51 e 52, no entanto, os estudantes não conseguem completar um raciocínio coerente que responda à questão 2.

As 42 respostas com explicações classificadas como pertencentes ao nível de adequação “parcialmente adequado”, foram classificadas desse modo por apresentarem uma breve noção sobre a geometria molecular, mas suas explicações faziam pouco ou nenhum vínculo às propriedades periódicas ou faziam uso de conceitos distantes dos modelos científicos aceitos na atualidade. Essas respostas foram reanalisadas utilizando as unidades complementares de identificação ao conceito.

Para a reanálise, novamente buscamos encontrar indícios referentes às unidades complementares nas respostas dos participantes. O Quadro 25 apresenta como identificamos as unidades complementares dos conceitos no decorrer da análise das 42 respostas pré-selecionadas.

Quadro 25. Características determinadas para a identificação das unidades complementares dos conceitos.

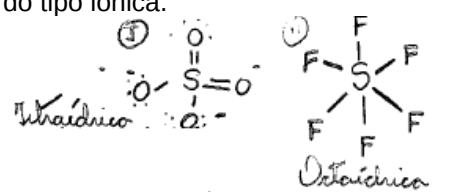
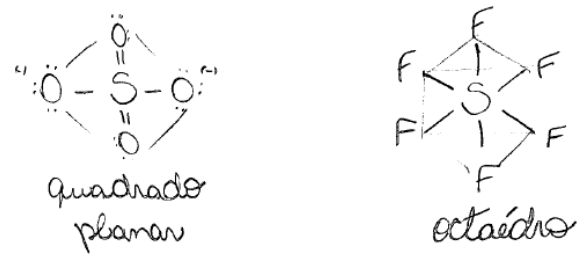
Pré-requisito	Unidades complementares de identificação ao conceito	Possíveis identificações
Geometria molecular	Diferença de Eletronegatividade	- Presença da palavra relativas à unidade complementar. - Presença de desenhos que relacionem a existência de cargas positivas ou negativas em torno dos átomos.
	Ligações simples/duplas	- Presença das palavras relativas à unidade complementar. - Presença de desenhos que relacionem as ligações simples e duplas, - e =, respectivamente.
	Domínio de elétrons	- Presença das palavras relativas à unidade complementar. - Presença de palavras que expressem uma quantidade de elétrons. Por exemplo: elétrons na “camada de valência”
	Expansão da regra do octeto.	- Presença das palavras relativas à unidade complementar. - Presença de representações que relacionem a distribuição energética e ou distribuição em orbitais do átomo de enxofre. - Presença de representações relacionadas a possíveis estruturas de ressonância.
	Caracterização da geometria	- Presença das palavras relativas à unidade complementar. - Presença de desenhos que relacionem a uma determinada geometria: sendo para o SO_4^{2-} geometria tetraédrica e SF_6 geometria octaédrica.
Propriedades Periódicas	Diferença de Eletronegatividade	- Presença da palavra relativas à unidade complementar. - Presença de desenhos que relacionem a existência de cargas positivas ou negativas em torno dos átomos.
	Caráter polar/apolar	- Presença da palavra relativas à unidade complementar.
Polaridade	Diferença de Eletronegatividade	- Presença da palavra relativas à unidade complementar. - Presença de desenhos que relacionem a existência de cargas positivas ou negativas em torno dos átomos.
	Caráter polar/apolar	- Presença da palavra relativas à unidade complementar.

Fonte: a autora.

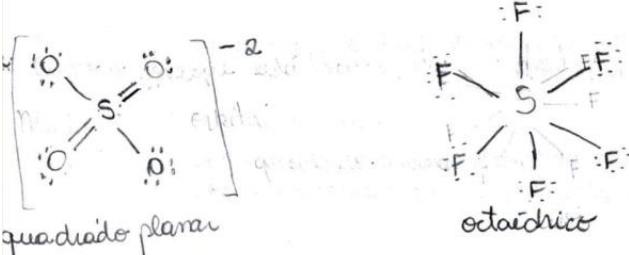
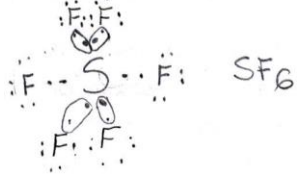
Do mesmo modo que fizemos para a questão 1, reanalisamos todas as respostas identificando as unidades complementares e considerando as seis unidades complementares de identificação dos conceitos elencadas para a questão 2 com o aporte da resposta dos docentes, elaboramos o índice de alusão as unidades complementares às categorias e classificamos o nível de compreensão das explicações dos participantes.

Novamente, cada unidade de identificação representou um valor de 16,7 ao arredondarmos e, no Quadro 26 pode-se observar a análise de cinco respostas dos participantes dessa pesquisa para a questão 2.

Quadro 26. Exemplo de caracterização das unidades complementares de identificação dos conceitos e formulação do índice de alusão dessas unidades.

Identificação do questionário	Registro	Unidades complementares de identificação ao conceito classificadas	Trecho que remete à unidades complementares de identificação ao conceito	Índice de alusão às unidades complementares às categorias (%)
29	SO_4^{2-} - Ligação do tipo covalente, ligação polar. SF_6 - Ligação do tipo iônica. 	Ligações simples/duplas	Representação das ligações no desenho.	66,8
		Diferença de Eletronegatividade	Cargas negativas nos átomos de Oxigênio.	
		Caracterização da geometria	No desenho: SO_4^{2-} como tetraédrica e SF_6 como octaédrica.	
		Caráter polar/apolar	"(...) ligação polar"	
35		Ligações simples/duplas	Representação das ligações no desenho.	50,1
		Diferença de Eletronegatividade	Cargas negativas nos átomos de Oxigênio com uma única ligação.	
		Caracterização da geometria	No desenho: SO_4^{2-} como quadrado planar e SF_6 como octaédrica.	

Quadro 26. Continuação.

30		Ligações simples/duplas	Representação das ligações no desenho.	33,4
		Caracterização da geometria	No desenho: SO_4^{2-} como quadrado planar e SF_6 como octaédrico.	
11	O enxofre tem 6e⁻ na camada de valência, localizando na família VIA, faz duas ligações para se estabilizar. 	Domínio de elétrons	“O enxofre tem 6e ⁻ na camada de valência”	16,7

Fonte: a autora.

Ao observarmos o Quadro 26 e compreendendo que cada resposta apresentou um índice de alusão às unidades complementares de identificação do conceito, conforme especificado no Quadro 11, reanalizamos as respostas referente ao índice de adequação, ou seja, respostas com índice entre 0 e 25% foram reclassificadas com nível de adequação da explicação inadequado, respostas com índice entre 26 a 75% mantiveram-se ao nível de adequação da explicação parcialmente adequada e o índice entre 76 a 100%, a resposta seria reclassificada como adequada. A análise das 42 respostas em relação a identificação das unidades complementares está apresentada no Apêndice D.

No Apêndice E apresentamos a análise de todas as respostas classificadas em um primeiro momento como parcialmente adequadas para a contabilizamos as unidades complementares aos conceitos e a presença dessas para cálculo do índice de alusão ao nível de adequação real da resposta. O Gráfico 9 apresenta os dados obtidos aos níveis de adequação global das explicações após a reanálise para a Questão 2.

Gráfico 9. Nível de adequação global das explicações dos participantes – Questão 2.



Fonte: a autora.

Vale ressaltar que, após a reanálise, embora o número de respostas classificadas como inadequadas tenha aumentado – passando de onze para dezesseis –, também observamos uma redução no número de respostas classificadas como adequadas. Anteriormente, havia uma resposta classificada

como adequada que, após a reanálise, foi reclassificada como parcialmente adequada.

Ao reanalisar as respostas em busca das unidades complementares de identificação dos conceitos, não pode ser identificado um parâmetro nas respostas inadequadas já que das cinco respostas (questionários 07, 11, 12, 14 e 26), dois faziam uso apenas da unidade complementar de categoria referente à propriedade periódica (diferença de eletronegatividade), enquanto as outras três faziam uso de outras três unidades complementares à categoria distintas.

No entanto, as respostas reanalisadas e classificadas aos níveis de adequação como explicações parcialmente adequadas “satisfatórias”, “vagas” e as explicações adequadas, percebemos que a unidade complementar que mais se destacou durante as respostas dos estudantes para a questão 2 foi a “caracterização da geometria”.

É importante ressaltar que, ao analisarmos essa unidade complementar, não nos limitamos a verificar se as respostas estavam certas ou erradas. Nosso interesse também foi o de compreender se o estudante possuía a noção dos tipos de geometria envolvidos.

Sabemos que o ânion sulfato (SO_4^{2-}) apresenta geometria tetraédrica, tanto que essa caracterização de geometria é apresentada pelos docentes que nos auxiliaram na definição dos níveis de respostas dos participantes em cada um dos quatro níveis de adequação (Quadro 10). Deste modo, em apenas treze questionários temos respostas corretas quanto a geometria desse ânion.

Já o hexafluoreto de enxofre (SF_6) apresenta uma geometria octaédrica, também definida anteriormente, e para essa substância temos vinte e quatro questionários que apresentam essa informação correta.

Quando pensamos nas propostas de Johnstone (1993) sobre a existências de três níveis distintos que representam o conhecimento químico (submicroscópico, macroscópico e simbólico), necessitamos pensar em um ensino diferenciado, uma vez que o nível simbólico é especialmente relevância no ensino formal.

Ao observarmos o quadro em anexo ao Apêndice G, que apresenta as disciplinas que abordam nossos pré-requisitos conceituais, notamos que o pré-requisito Geometria Molecular é tratado em Química Inorgânica e em Química Computacional, no curso que tomamos como referência. Portanto, podemos

concluir que a parte simbólica – ou seja, o uso de imagens que pode, favorecer os processos de ensino e aprendizagem, resultam em uma aprendizagem significativa dos níveis submicroscópicos (que geram inúmeras dificuldades de aprendizagem, conforme já mencionamos) – deveria ser oferecida aos estudantes, já que todos estão em um nível mais avançado dos estudos.

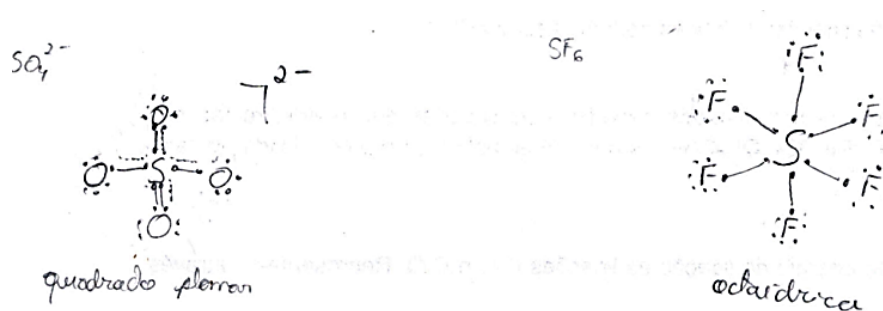
Para os autores Gibin e Ferreira (2010),

O nível de representação macroscópico engloba todos os fenômenos que são observáveis como, por exemplo, experimentos e fotografias de sistemas químicos. No nível submicroscópicos o fenômeno químico é representado por meio do arranjo espacial e pelo movimento/interação de moléculas, átomos, íons, elétrons ou outras espécies químicas. É importante salientar que este nível explica em termos atômicos/moleculares as representações macroscópicas. Além disso, cabe apontar que geralmente essas representações são apresentadas por meio de imagens, entretanto, o uso de imagens no ensino em todos os níveis é muito pequeno. O nível simbólico refere-se à linguagem empregada pelos químicos como, por exemplo, as representações simbólicas de átomos, moléculas, fórmulas, equações e estruturas. Dessa forma, é fundamental conhecer estes níveis de representação da Química, para obter uma boa compreensão conceitual. Além disso, é de suma importância aprender a transitar entre estes níveis de representação, pois assim se elaboram os modelos mentais sobre conceitos ou fenômenos químicos (p. 1811).

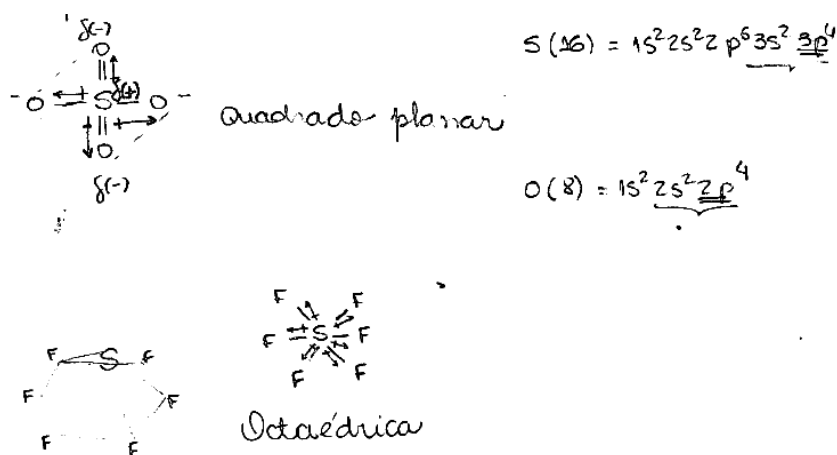
No entanto, devido ao elevado número de erros na classificação da geometria dos dois compostos solicitados, percebemos que os alunos não conseguem superar essas dificuldades mesmo no ensino superior.

Erros relacionado a identificação do modelo explicativo da geometria molecular desses compostos indicam que os estudantes possuem dificuldades na compreensão dos níveis de representação em Química, principalmente no que diz respeito as representações submicroscópicas, sendo elas tão abstratas. Percebemos que os estudantes possuem elevada dificuldade em elaborar representações do conhecimento químico, fato esse fundamental para uma aprendizagem significativa necessária a Química.

A resposta do questionário 24 nos exemplifica bem essa informação.)



Para a resposta do questionário 25, temos:



Para superar tais dificuldades de aprendizagem acreditamos que os processos de ensino e aprendizagem precisam ser pautados inicialmente com base nas concepções alternativas desses estudantes e em seguida utilizando artifícios que permitam que esses estudantes elaborem seus modelos mentais sobre os conceitos e fenômenos químicos estudados.

Silva, Souza e Carvalho Filho (2017) propõem em seu estudo o uso de materiais alternativos para a construção de modelos moleculares, com o objetivo de auxiliar os estudantes na visualização tridimensional dessas moléculas ao nível de conhecimento simbólico. Para isso, os autores utilizaram materiais rotineiros, com hastes flexíveis, bolas de desodorante e canudos, e elaboraram modelos de diferentes moléculas, como o SF_6 . Eles trabalharam o tema geometria molecular e estereoquímica com o uso desses modelos em aulas de Química para a primeira série do Ensino Médio e no ensino superior, em aulas de Química Orgânica. Em seguida, aplicaram questionários para verificar a influência do uso dos modelos nos processos de ensino e aprendizagem. Como resultado, os autores observaram que o índice de acerto dos alunos do Ensino

Médio na identificação das diferentes geometrias moleculares foi superior ao dos alunos do Ensino Superior.

Para os autores, a dificuldade de assimilação em relação à geometria molecular dos alunos do Ensino Superior pode estar atrelada ao tempo que eles estudaram esse conceito. De acordo com os dados, 53% dos alunos haviam visto o conceito há mais de um ano, e 34% comentam não estudado nada sobre o tema. É interessante ressaltar que esses índices apresentados pelos autores permitem concluir dois pontos que já foram mencionados ao longo desta pesquisa:

1. O ensino memorístico dentro e fora do Ensino Superior.
2. A relevância do conhecimento dos pré-requisitos pelos docentes ao iniciar o estudo em determinadas disciplinas.

Desse modo, podemos entender o motivo da dificuldade de aprendizagem na disciplina de Química Orgânica. Conforme apontado por Lima e Lima Neto (1999), a percepção de que a Química é uma ciência abstrata, tanto para estudantes do Ensino Médio quanto do Ensino Superior, se deve frequentemente à falta de uma compreensão tridimensional e isso pode levar à predominância de uma abordagem memorística da disciplina.

Além disso, ainda no que diz respeito ao pré-requisito de Geometria molecular e à unidade complementar que busca sua caracterização, o livro de J. D. Lee, intitulado de “Química Inorgânica não tão concisa” (1996), apresenta uma figura (Figura 2) com as formas geométricas moleculares previstas para as moléculas, com base no número de pares de elétrons no nível mais externo.

Figura 2. Demonstração dos tipos de Geometria Molecular proposto em um livro de Química Inorgânica.

Número de pares eletrônicos no nível externo	Forma da molécula	Ângulos da ligação
2	Linear 	180°
3	Trigonal plana 	120°
4	Tetraédrica 	109° 28'
5	Bipirâmide trigonal 	120° e 90°
6	Octaédrica 	90°
7	Bipirâmide pentagonal 	72° e 90°

Fonte: Lee, J.D. Química Inorgânica não tão concisa (1996).

Esse livro que apesar de antigo, ainda continua sendo muito utilizado durante o estudo de Química Inorgânica no Ensino Superior. Das seis opções de geometria apresentadas pelo autor, a geometria “quadrado planar” não está entre elas. No entanto, nossa análise revelou que dez questionários que apresentavam esse tipo de geometria para o ânion sulfato. Por exemplo:

“SO₄²⁻ tem quatro ligantes e dois pares de elétrons livres então a geometria é quadrado plana. Já o SF₆ apresenta geometria octaédrica sendo o SO₄²⁻ mais polar por causa do composto apresentar carga - 2” (16)

“SO₄²⁻ possui a geometria quadrado planar. O SF₆ possui geometria octaédrica. O enxofre possui orbitais d e pode fazer 6 ligações, ou possui 3 pares de elétrons, sejam ligantes ou anti-ligantes. SO₄²⁻ possui maior polaridade que SF₆ devido aos elétrons não ligantes.” (17)

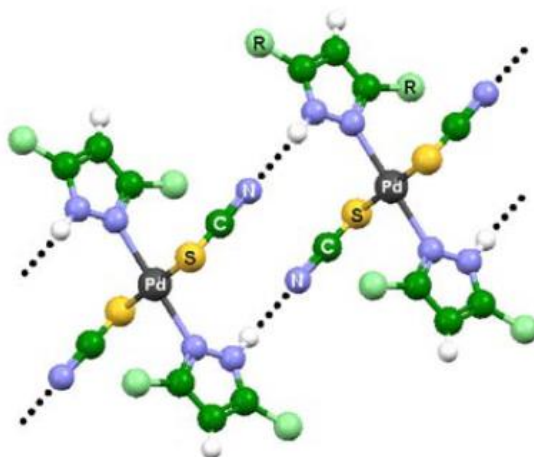
“SO₄²⁻ quadrado- polar SF₆ octaédrico-apolar” (19)

“O enxofre, como está no terceiro período, pode hibridizar com os orbitais do oxigênio formando a geometria quadrado planar no composto SO_4^{2-} devido à esta expansão dos orbitais ‘d’”. (25)

“Orbitais d no enxofre, poderia hidridizar e formar ligações covalentes além das permitidas no orbital p. Geometria octaedra para SF_6 e quadrado planar para o SO_4^{2-} . O SF_6 seria apolar e o SO_4^{2-} polar.” (28)

Ao observar o conteúdo de estudo para a disciplina de Química Inorgânica (vide na Apêndice G), vemos que ao estudar Cinética e Mecanismos das Reações, o estudante irá se deparar com o tema “*Reações de substituição em complexos octaédricos; Reações de substituição em complexos quadrados planares*”. Ao buscar pela literatura, a geometria quadrado-planar associa-se a compostos de complexos ativados, como é o caso do $[Pd(SCN)_2(HdmPz)_2]$. A Figura 3, extraída do artigo de Godoy Neto, Frem e Mauro (2008) podem demonstrar essa geometria.

Figura 3. Representação para o complexo quadrado-planar $[Pd(SCN)_2(HdmPz)_2]$



Fonte: Godoy Neto, Frem e Mauro (2008), p. 1214.

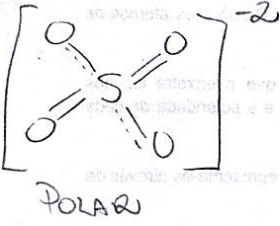
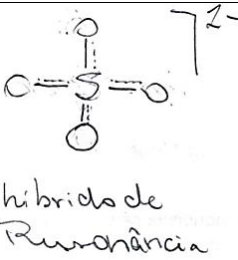
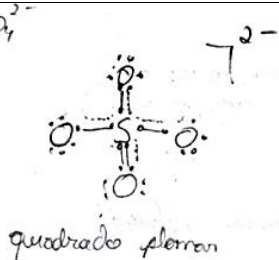
Esse pode ser um dos motivos dos estudantes apresentarem erros para o uso dessa geometria, uma vez que faz pouco tempo que eles estudaram esses conceitos.

Para o uso da geometria octaédrica para o hexafluoreto de enxofre (SF_6) o índice de acertos é muito maior. Acreditamos que isso se deve ao fato de que

esse tipo de geometria já é estudado desde o Ensino Médio frequentemente é abordado como exemplo característico em livros didáticos. Esse detalhe pode sugerir também que há uma memorização pelos estudantes e não necessariamente uma aprendizagem significativa.

A segunda unidade complementar mais identificada na análise da questão 2 foi sobre “ligações simples/duplas”, sendo que a maior parte dessa identificação ocorreu através de desenhos. Conforme já mencionado, é importante ressaltar que o conceito de Ligação Química gera muitas dificuldades de aprendizagem. Durante nossa análise, observamos que três questionários (15, 23 e 24) apresentaram as ligações do ânion sulfato com a presença da ressonância, conforme demonstrado no Quadro 27.

Quadro 27. Possíveis exemplos de híbridos de ressonância propostos durante a explicação da Questão 2.

Questionário	15	23	24
Registro	 POLAR	 híbrido de Ressonância	 quadrado plano

Fonte: a autora.

Ao observar a característica do pontilhado existente entre as ligações propostas pelos estudantes, percebemos que uma pequena parte deles demonstram possuir uma concepção sobre a existência dessas reações. E, conforme já mencionamos, ressonância é um conceito que exige que os estudantes tenham um bom conhecimento sobre vários conceitos anteriores para conseguir relacionar o movimento de elétrons nas estruturas geradas.

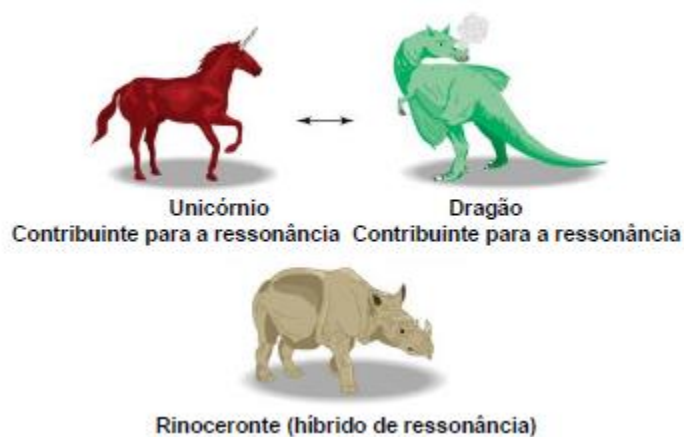
O livro didático de Química Orgânica de McMurry (2005), apresenta três tópicos de estudo sobre o conceito de Ressonância, sendo eles: Ressonância, Regras para as Formas de Ressonância e Representação gráfica das formas de Ressonância. Diferente do que vemos nos livros de Ensino Médio, o livro começa a explicar o conceito utilizando a molécula de nitrometano e não do benzeno, dando atenção ao fato que experimentalmente, as ligações do grupo nitro da molécula apresentam o mesmo comprimento de ligação (122 pm), sendo um

valor intermediário entre uma ligação simples e a ligação dupla para os átomos de nitrogênio e oxigênio.

O autor deixa bem claro que uma estrutura ‘verdadeira’ dessa molécula seria um híbrido de ressonância de duas formas individuais possíveis. E, discorre que “qualquer grupo de três átomos com uma ligação múltipla possui duas formas de ressonância” (p. 38), desse modo, a representação dessas moléculas devem ser feitas considerando uma molécula híbrida e não apenas uma representação.

Gonçalves e Julião (2016) fizeram um estudo comparativo entre as analogias encontradas em livros de Físico-Química e de Química Orgânica destinados ao Ensino Superior. Ao analisarem seis livros, sendo três deles de Química Orgânica, encontraram 277 analogias e 2,6% dessas relacionavam a aromaticidade e ressonância para o benzeno. O livro denominado por A pelos autores, um livro de Química Orgânica de Paula Y. Bruice (2006), apresenta uma analogia em relação ao híbrido de ressonância como uma relação entre um unicórnio e um dragão, pois ambos os contribuintes para a formação de um rinoceronte, que seria esse um híbrido de ressonância. Observe a Figura 4, ela representa essa analogia.

Figura 4. Contribuintes para a formação de um híbrido de ressonância.



Fonte: Bruice, 2006, v. 1, p. 265.

Essa ilustração é utilizada no livro didático como uma maneira de chamar atenção do estudante para o fato da diferença existente entre um híbrido de ressonância e seus contribuintes. No entanto, é desnecessária quando tratamos de um conceito químico que, usando estruturas reais, poderia ser mais claro e objetivo ao estudante.

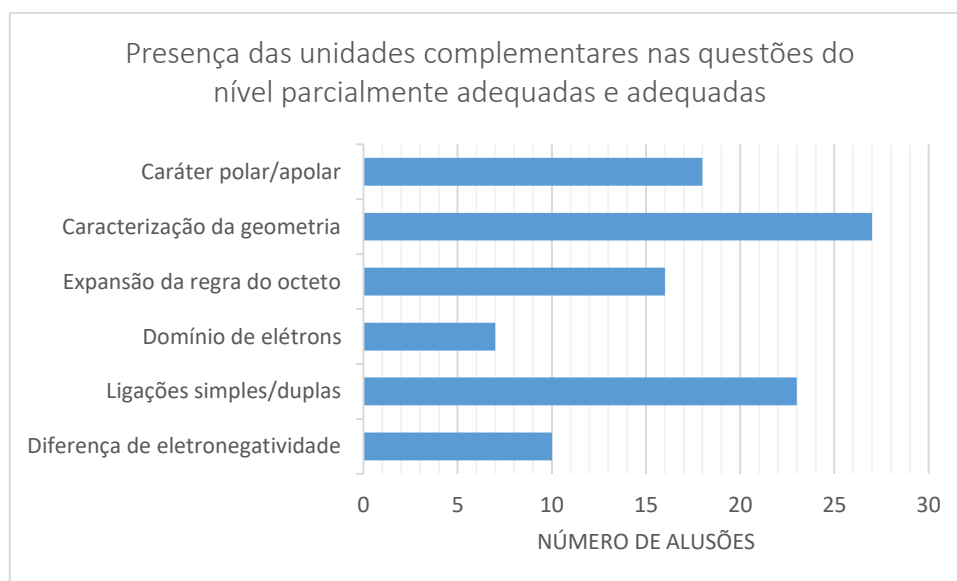
Uma analogia parecida é encontrada por Gonçalves e Julião (2016) no livro de Raymond Chang “Físico-Química para as Ciências Químicas e Biológicas” (2010). Os autores citam um trecho do livro em que o autor descreve a mesma ilustração de Bruice (2006), mas propondo a visão de um viajante medieval que vai da Europa para a África e se depara com um rinoceronte, desse modo, começa a imaginar que o animal seria origem de qual cruzamento.

Talvez o uso de analogias e, principalmente, a falta de visão química e tridimensional desses alunos, acarretem nesse uso do conceito para explicar moléculas reais. Somente três dos 61 questionários apresentaram a terminologia ou a presença de ligações híbridas para o ânion sulfato.

A terceira unidade complementar mais utilizada nas explicações parcialmente adequadas e adequadas foi relacionada aos conceitos de Propriedades Periódicas e de Polaridade, sendo “caráter polar/apolar” mencionada por 18 participantes. Já a unidade “Diferença de Eletronegatividade” foi utilizada 14 vezes. Isso chama a atenção, uma vez que as duas unidades deveriam caminhar juntas para uma explicação coerente vinda dos estudantes.

O Gráfico 10 apresenta o índice de caracterização das unidades complementares mediante sua identificação nas respostas dos estudantes para as explicações adequadas e parcialmente adequadas.

Gráfico 10. Índice de caracterização das unidades complementares de identificação dos conceitos para as explicações parcialmente adequadas.



Fonte: a autora.

Conforme mencionamos, Wang e Barrow (2012) avaliaram o que os alunos de cursos de Ensino Superior compreendiam por diferentes conceitos químicos, sendo: modelos atômicos, variações periódicas, ligações químicas, formas estruturais e polaridade. Para os autores, esses conceitos são de fundamental importância pois são pré-requisitos para a aprendizagem de diversos conceitos mais avançados de Química, que vão de forças intermoleculares, propriedades de soluções, ácidos e bases à Química Orgânica.

Wang e Barrow (2012) apontam que a polaridade molecular engloba vários conceitos subjacentes, que incluem propriedades periódicas, ligação química, eletronegatividade e a própria geometria molecular. E, por ser um conceito tão superior em um nível de hierarquia necessitando uma visão espacial proveniente do estudante, apresenta uma natureza abstrata, sendo de difícil entendimento. Utilizando três instrumentos de diagnóstico adaptados da literatura (entrevistas semiestruturadas), os autores buscavam identificar o que os estudantes compreendiam por eletronegatividade, por ligação química e por geometria molecular e polaridade. Sendo que os propósitos dos autores era de elencar informações de base sobre o entendimento dos estudantes e seus equívocos em relação ao nível de compreensão desses sobre os pré-requisitos conceituais apontados para o conceito de polaridade molecular.

Um total de 159 alunos participaram da pesquisa de Wang e Barrow (2012), sendo que 48 deles participaram também de entrevistas propostas pelos autores. Com os resultados obtidos, os autores perceberam a existência de dois grupos de estudantes, ou seja, alunos que possuíam estruturas conceituais coerentes e alunos que apresentavam um quadro conceitual cheio de lacunas. Os alunos que apresentavam dificuldades, tendiam a seguir regras gerais de modo que não justificavam suas abordagens ou proposições para a resposta, apenas com o uso senso comum e, para eles, suas respostas estavam coerentes e eles apresentavam-se satisfeitos, ou seja, não conseguiam reconhecer que seu entendimento era incompleto.

Para os autores, três conceitos seriam fundamentais para o estudo de geometria molecular e polaridade, sendo eles: modelos atômicos, fundamentos de força eletrostática e um conhecimento de descrição mecânica quântica e, ao analisar a fala dos dois grupos de estudantes, puderam notar que a falta do

conhecimento aos pré-requisitos resultavam em uma capacidade reduzida de compreender o conteúdo em questão.

Essa capacidade reduzida pode ser ocasionada pelo modo como tratamos dos pré-requisitos conceituais em níveis de escolaridade menores. Essa falta de conhecimento dos estudantes pode ser resultado do processo de ensino, uma vez que os professores universitários podem assumir que os alunos já aprenderam certas informações e fazem uso de informações descritivas, sem se referir ao princípio básico (Wang; Barrow, 2012).

Neste estudo, os autores observaram que alunos que apresentassem uma compreensão insuficiente sobre conceitos como a carga nuclear e princípios de força eletrostática. Além disso, não conseguiam conceituar a eletronegatividade e a formação de uma ligação química, o que gerou explicações que faziam uso de justificativas como a regra do octeto. Em relação a geometria em si e a polaridade, as análises dos autores revelaram que as explicações dos alunos barravam no fato de que não conseguiam desenvolver uma compreensão sobre os modelos da Teoria de Repulsão dos Elétrons da Camada de Valência sem alguns conceitos de mecânica quântica. Assim sendo, os autores concluem que para um aluno ter um nível de compreensão adequado sobre polaridade, ele necessita compreender adequadamente a estrutura atômica e que faça uso de princípios de força eletrostática de modo a explicar as interações núcleo-elétron e da diferença de eletronegatividade. Somente assim os estudantes podem ter subsídio que os auxiliem no entendimento das variações periódicas, percebendo os reais motivos de uma ligação química.

Em continuidade, os estudantes necessitam ter uma visão tridimensional das moléculas, de modo que consiga determinar a posição espacial dos pares de elétrons usando a Teoria de Repulsão dos Elétrons da Camada de Valência, visualizando os elétrons livres, as ligações químicas e as áreas de probabilidade de incorporação de forças eletrostáticas. Desse modo, os estudantes podem compreender o motivo dos ângulos de ligação existente nas moléculas, a geometria molecular por ela formada e, finalmente, terão subsídio para compreender o momento dipolar na qual a quantidade de vetores representará a magnitude de uma molécula em si, e não vetores traçados como se fossem apenas forças de atração (Wang; Barrow, 2012).

Furió e Calatayud (1996) também relacionam os erros dos alunos na resolução de problemas de polaridade e geometria molecular à redução funcional da complexidade do problema, acarretando o uso de explicações de senso comum sem considerar o conhecimento científico.

Partindo desses estudos, podemos entender o motivo de que de 61 questionários analisados, apenas 16 deles apresentaram explicações que trouxeram a unidade complementar sobre a “Expansão da regra do Octeto” e apenas 07 apresentaram a unidade “Domínio de elétrons”.

Como já mencionamos, ao final da reanálise, nenhum questionário foi classificado como pertencentes ao nível de explicação adequadas. No entanto, obtivemos cinco respostas classificadas ao nível de adequação como parcialmente adequadas com explicações satisfatórias – 21, 25, 31, 34 e 36 – as quais mais se aproximaram das respostas apontadas nesse estudo como adequadas.

As respostas apresentadas pelos estudantes foram:

“O Enxofre possui 5 elétrons na camada de valência. Com isso apenas duas ligações satisfazem a regra do octeto. Porém, nesses dois compostos citados o enxofre tem o chamado “octeto expandido”, isso é devido a hibridização de seus orbitais. O SO_4^{2-} possui geometria quadrado planar, pois possui dois pares de elétrons não ligantes, um em cada extremo da parte axial da estrutura octaédrica. No entanto o SF_6 possui geometria octaédrica. O SO_4^{2-} é mais polar pois possui pares de elétrons livres.” (21)

Vale ressaltar que a resposta do questionário 21 inicialmente foi classificada como pertencente ao nível adequado, pois consideramos sua proximidade a resposta dos docentes. No entanto, após a reanálise, ela passou para o nível parcialmente adequada, porém, com explicação satisfatória. Percebe-se que o estudante apresentar quatro erros conceituais (1. Enxofre com 5 elétrons na camada de valência; 2. O SO_4^{2-} com geometria quadrado planar; 3. SO_4^{2-} como uma molécula polar e, 4. Parte axial da estrutura octaédrica para o SO_4^{2-}), mas a resposta do aluno apresenta uma linha de raciocínio. Apesar dos erros, infelizmente a resposta não fez uso das propriedades periódicas para explicar as geometrias observadas.

Nos resta agora compreender qual a melhor maneira de superar essas defasagens para um processo de ensino que permita uma aprendizagem significativa desses conceitos.

Torna-se fundamental o conhecimento dessas dificuldades pelo docente no momento de elaborar sua sequência didática de modo a propor mecanismos que busquem superar essas defasagens e proporcionar uma aprendizagem significativa coerente com os conceitos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Identificar os pré-requisitos conceituais necessários ao processo de ensino e aprendizagem da disciplina Química Orgânica é de fundamental importância para orientar o planejamento dos docentes. Isso possibilita a elaboração de sequências didáticas capazes de promover uma aprendizagem significativa dos alunos para o conceito em estudo.

No entanto, a partir das cinco entrevistas realizadas para identificar os pré-requisitos conceituais com os docentes da área dessa pesquisa, Química Orgânica, observamos que os entrevistados não tinham uma ideia bem estabelecida sobre o que seriam esses pré-requisitos e sobre a importância deles na elaboração de suas sequências didáticas.

Outro ponto que nos chamou muita atenção foi a falta de consenso entre os docentes sobre as dificuldades de aprendizagem enfrentadas pelos estudantes. Algumas respostas sugeriram que as dificuldades não estavam relacionadas diretamente à Química, mas sim à natureza descritiva da disciplina e até mesmo a questões relacionadas à língua, como leitura, interpretação e elaboração de textos.

Após uma exaustiva análise do Instrumento 1 e em comparação dos conceitos presentes nas questões 1, 2 e 4, pudemos elencar conceitos que nesse trabalho foram tratados como pré-requisitos conceituais para o processo de aprendizagem de Química Orgânica, sendo eles:

- Ligação Química
- Hibridização
- Estabilidade dos compostos
- Polaridade das ligações / Polaridade da molécula
- Teoria dos Orbitais Atômico
- Propriedades periódicas com ênfase em Eletronegatividade
- Geometria Molecular
- Atomística
- Uso de Modelos

Os pré-requisitos conceituais são de grande interesse para a compreensão. A necessidade de construção de propostas diferenciadas de

ensino, de modo que essas dificuldades de aprendizagem sejam de conhecimento dos professores para possível superação, é imprescindível para os processos de ensino e aprendizagem de novo conceito.

Ao abordar os conteúdos aqui expostos, devemos ressaltar que embora alguns conteúdos tenham sido menos citados, isso não o torna conteúdos desnecessários ou menos importantes, da mesma forma que os citados sejam realmente os mais relevantes. Esses conteúdos se enlaçam em diversas disciplinas, em fases e níveis de aprofundamento ou até mesmo como pré-requisito para a integração entre outros conceitos.

Ao analisar a resposta dos 61 questionários respondidos, identificamos o que os participantes dessa pesquisa compreendem sobre o conceito de Ligação Química e o uso que eles fazem das Propriedades Periódicas de modo a justificar a ligação entre dois átomos, conforme a Questão 1 do Instrumento 2 solicitava. Pudemos categorizar as respostas dos estudantes mediante seu nível de explicação, então, dos 52 questionários que apresentavam respostas, obtivemos 28 respostas classificadas ao nível de adequação em explicações inadequadas e 24 classificados como parcialmente adequadas, sendo apenas 6 delas classificadas como explicações satisfatórias.

Três pontos chamaram nossa atenção nas respostas dos estudantes. Pontos esses relacionados as dificuldades de aprendizagem elencadas nesse estudo mediante a análise da questão 1:

1. o uso da eletronegatividade como uma propriedade pertencente a um único átomo e não entre dois átomos;
2. a insistência na justificativa da estabilidade através da regra do octeto;
3. a incapacidade de diferenciar a ligação formada entre os átomos propostos, fornecendo respostas como “ligação covalente”.

Dentre as unidades complementares de identificação dos conceitos, para as respostas classificadas como parcialmente adequadas, a formação de cátions e ânions é citada em 20 questionários e apenas 14 citam a transferência de elétrons, ou seja, nos faz crer que uma parcela dos participantes dessa pesquisa conseguem visualizar a formação de cargas em algum momento na ligação proposta, no entanto, o movimento relativo ao elétron não é totalmente compreendido/demonstrado.

Vale ressaltar que nenhum participante citou a formação de um retículo cristalino para o composto iônico solicitado, no caso o cálcio (metal) e um halogênio qualquer. O interessante é que quando observamos livros didáticos distintos de Ensino Médio, ao estudar a formação do retículo cristalino, o estudante se depara com o exemplo do sódio (metal) e o cloro, ou seja, um halogênio qualquer. Desse modo, podemos concluir que: o aluno não compreende a formação do retículo cristalino e a estabilidade a ele atribuída ou o aluno não vê importância da sua concepção no momento da formação de um composto iônico.

Essa análise indica que muitos estudantes do curso superior de Química apresentam sérias dificuldades em relação ao conceito de Ligação Química e ao conceito de Eletronegatividade. Ambos os conceitos fundamentais não só para o estudo da disciplina de Química Orgânica, mas para toda a Química.

Podemos observar também que muitas “regrinhas” utilizadas durante o Ensino Médio como métodos de memorização e/ou justificativas insuficientes para uma ligação, como é o caso da regra do octeto, perduram por muito tempo na vida desse estudante e nos trazem uma nova dúvida: será que esses estudantes ao saírem da universidade continuam com essa visão de estabilidade?

Em continuidade a análise, para a questão 2, buscávamos, mais uma vez, compreender como os participantes dessa pesquisa compreendiam as relações entre a Eletronegatividade, a Geometria Molecular e a Polaridade dos compostos.

Dentre os 53 questionários que apresentaram explicações para essa questão, observamos dezesseis respostas pertencentes ao nível de inadequação e trinta e sete parcialmente adequadas, sendo apenas cinco dessas consideradas como explicações satisfatórias.

Novamente alguns pontos chamaram a nossa atenção nas respostas dos estudantes e, mais uma vez, eles se relacionam com as dificuldades de aprendizagem observadas durante análise:

1. o uso de estruturas, por parte dos estudantes, que não levavam em consideração uma visão tridimensional da molécula;
2. novamente a presença de justificativas da formação de ligações por regra do octeto;

3. baixo número de respostas que usavam o termo eletronegatividade para associar a polaridade da molécula;
4. incapacidade de diferenciar a geometria do ânion sulfato.
5. incapacidade de diferenciar a polaridade do ânion sulfato.
6. a representação de cargas negativas em uma parte dos átomos de oxigênio que compreendem o ânion sulfato.

Dentre as unidades complementares de identificação dos conceitos, a que mais foi utilizada, considerando as respostas pertencentes ao nível de adequação como parcialmente adequadas, foi a representação das ligações simples e duplas. No entanto, seu uso em estruturas nos permitiu observar que a maior parte das respostas apresentavam ligações simples e ligações duplas para o ânion sulfato, ou seja, sem considerar que essas ligações seriam iguais, uma vez que a estrutura do ânion em questão seria melhor representada por um híbrido de ressonância. Assim sendo, pudemos observar que mais uma vez os estudantes apresentaram deficiências conceituais em relação ao conceito de Ligação Química, mesmo esse não sendo o pré-requisito foco dessa questão.

Apenas dez questionários apresentaram respostas que faziam uso da terminologia “Eletronegatividade”, mesmo ela sendo parte fundamental para a explicação da polaridade. Novamente podemos perceber que os estudantes apresentam dificuldade em aplicar esse conceito e, acreditamos que seja por essa razão, que poucos estudantes conseguiram responder da maneira mais adequada a geometria molecular e a polaridade dos compostos solicitados.

Novamente podemos considerar que uma grande parcela de estudantes participantes dessa pesquisa, a grande maioria Licenciatura em Química, apresentam defasagens conceituais graves nessa altura dos estudos e isso pode ser a explicação dos altos índices de reprovações nessa disciplina de Química Orgânica.

Desta forma, queremos destacar a importância de se conhecer os pré-requisitos conceituais da disciplina e levá-los em consideração no momento da elaboração de suas sequências didáticas, uma vez que podemos notar claramente as defasagens conceituais que esses estudantes apresentam.

Vale ressaltar também que esse estudo possibilita um norte para as disciplinas que antecedem a Química Orgânica e trazem em seus currículos o estudo dos conteúdos aqui elencados. Aqui deixamos evidenciados que é

perceptível a falta de uma aprendizagem significativa por parte dos estudantes, assim, torna-se viável a busca por novas metodologias de ensino e/ou mudanças em sequências didáticas dessas disciplinas, a fim de considerar uma maior eficácia nos processos de ensino e aprendizagem.

REFERÊNCIAS

- ABIMBOLA, I. O. The problem of terminology in the study of student conceptions in science. **Science Education**, v. 72, p. 175-184, 1988.
- ALMEIDA, C.S.de. **Dificuldades de aprendizagem em Matemática e a percepção dos professores em relação a fatores associados ao insucesso nesta área**. Monografia de Conclusão de Curso, Universidade Católica de Brasília, 2006.
- AMARAL, C.L.C.; XAVIER, E. S.; MACIEL, M. D. Abordagem das relações Ciência/Tecnologia/Sociedade nos conteúdos de funções orgânicas em livros didáticos de Química do Ensino Médio. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 14, n. 1, p. 101-114, 2009.
- ATKINS, P.W.; JONES, L. **Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- AUSUBEL, D.P. **Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma perspectiva Cognitiva**, 1ª edição, Lisboa-PT, Plátano Edições Técnicas, 2003.
- AZCONA, R; et al. ¿Es posible aprender los câmbios químicos sin comprender qué es una sustancia? Importancia de los prerrequisitos. **Didáctica de las Ciencias Experimentales**, n. 40, p. 7-17, 2004.
- BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 1977.
- BETANCOURT-PÉREZ, R; OLIVEIRA, L.J; RODRIGUES, J.E. Assessment of Organic Chemistry Students' knowledge of Resonance-Related Structures. **Jornal of Chemical Education**, v. 87, n. 5, p. 547 – 551, 2010.
- BODNER, G. M. I have found you an argument. **Journal of Chemical Education**, v. 68, n. 5, p. 385 – 388, 1991.
- BRASIL, Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Média e Tecnológica (Semtec). **Parâmetros Curriculares Nacionais para o ensino médio**. Brasília: MEC/Semtec, 1998.
- BRITO, F.R.M.; OLIVEIRA, L.N. As dificuldades da interpretação de textos matemáticos: algumas reflexões. In: **CONGRESSO DE LEITURA DO BRASIL**. p. 1-9, 2008.
- BROWN, T.; LEMAY, H. E.; BURSTEN, B. E. **Química: a ciência central**. 9 ed. Prentice-Hall, 2005.
- BRUICE, P.Y. **Química orgânica**. Pearson Educación, 2008.
- BUNGE, M. **La investigacion científica**. Barcelona: Ariel, 1976.

BUTTS, B; SMITH, R. HSC chemistry students' understanding of the structure and properties of molecular and ionic compounds. **Research in Science Education**, v. 17, n. 6, p 192 – 201, 1987.

CACHAPUZ, A.; PRAIA, J.; JORGE, M. **Ciência, educação em ciência e ensino das ciências**. Lisboa-PT, Ministério da Educação, 2002.

CAMARA, R. H. Análise de conteúdo: da teoria à prática em pesquisas sociais às organizações. **Gerais: Revista Interinstitucional de Psicologia**, v. 6, n. 2, p. 179-191, 2013.

CARMO, M. P. **O Desenvolvimento Conceitual de Estudantes sobre a Estrutura da Matéria e sua Utilização na Explicação de Fenômenos: Um Estudo Longitudinal**. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo. Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências, 2015.

CAVALCANTE, R. B.; CALIXTO, P.; PINHEIRO, M. M. K. Análise de Conteúdo: considerações gerais, relações com a pergunta de pesquisa, possibilidades e limitações do método. **Inf. & Soc**, v. 24, n. 1, p. 13-18, 2014.

CHAMIZO, J. A. El curriculum oculto en la enseñanza de la química. **Educación Química**, v. 12, n. 04, p. 194 – 198, 2001.

CHASSOT, A. **Alfabetização científica: questões e desafios para a educação**. Unijuí, 2001.

CONTRERAS, J. **Palestra “A voz pública do professorado”**. Programa de pós-graduação em educação. Pelotas: UFPel, 1999.

DRIVER, R. Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencias. **Investigacion y Experiencias Didacticas**, v.6, n.2, p.109-120, 1988.

DRIVER, R.; GUESNE, E.; TIBERGHEN, A. **Ideas científicas en la infancia y la adolescencia**. Ediciones Morata, 1999.

DUIS, J. M. Organic Chemistry Educators' Perspectives on Fundamental Concepts and Misconceptions: An Exploratory Study. **Research: Science and Education**, v.88, n. 3, p. 346-350, 2011.

FERNANDEZ, C.; MARCONDES, M. E. R. Concepção dos Estudantes sobre Ligação Química. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 24, p. 20-24, 2006.

FIGUEIRA, A. C. M. **Investigando as concepções dos estudantes do ensino fundamental ao superior sobre ácidos e bases**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Programa de Pós-graduação em Educação em Ciências, Santa Maria, 2010.

FURIÓ, C. Las concepciones alternativas del alumnado en ciencias: dos décadas de investigación. **Resultados y tendencias**, v. 7, p. 7-17, 1996.

FURIÓ, C.; CALATAYUD, M. L. Difficulties with the Geometry and Polarity of Molecules: Beyond Misconceptions. Department de Didactica de les Ciències Experimentals i Socials, Universitat de València. **J. Chem. Educ.**, v.73, n.1, p. 36, 1996.

FURIÓ, C.; AZCONA, R.; GUIASOLA, J. Dificultades conceptuales y epistemológicas del profesorado en la enseñanza de los conceptos de cantidad de sustancia y de mol. **Enseñanza de las ciencias**, v. 17, n. 3, p. 359-376, 1999.

FURIÓ, C.; GUIASOLA, J. Concepciones alternativas y dificultades de aprendizaje en electrostática. Selección de cuestiones elaboradas para su detección y tratamiento. **Enseñanza de las ciencias**, v.17, n.3, p. 441-452, 1999.

FURIÓ, C et al. La enseñanza y el aprendizaje del conocimiento químico. In: **Didáctica de las Ciencias Experimentales: Teoría y Práctica de la Enseñanza de las Ciencias**. Editorial Marfil, p. 421-448, 2000.

FURIÓ, C.; FURIÓ, C. Dificultades conceptuales y epistemológicas en el aprendizaje de los procesos químicos. **Educación Química**, v. 11, n.3, p. 300-308, 2000.

FURIÓ, C.; MARTÍNEZ, K.P. La evolución histórica de los conceptos científicos como prerrequisito para comprender su significado actual: el caso de la "cantidad de sustancia" y el "mol". **Didáctica de las ciencias experimentales y sociales**, n. 17, p. 55-74, 2003.

FURIÓ-MÁS, C.; CALATAYUD, M. L.; BÁRCENAS, S. L. ¿Comprenden los estudiantes de 2º de bachillerato el comportamiento ácido-base de las sustancias? Análisis de las dificultades de aprendizaje. **Tecné, Episteme y Didaxis**, n 22, p. 49 – 66, 2007.

GARCIA, I.T.S; KRUGER, V. Implantação das Diretrizes Curriculares Nacionais para formação de professores de Química em uma Instituição Federal de Ensino Superior: Desafios e Perspectivas. **Química Nova**, v. 32, n. 8, p. 2218-2224, 2009.

GIBIN, G.B.; FERREIRA, L.H. A Formação Inicial em Química baseada em conceitos representados por meio de Modelos Mentais. **Química Nova**, v. 33, n. 8, p. 1809-1810, 2010.

GILBERT, J.K.; SWIFT, D.J. Towards a Lakatosian analysis of the Piagetian and alternative conceptions research programs. **Science Education**, v. 69, n. 5, p. 681-696, 1985.

GILBERT, J. K.; JUSTI, R.; QUEIROZ, A.S. The use of a model of modelling to develop visualization during the learning of ionic bonding. **Contemporary science education research: international perspectives**, p. 43-51, 2010.

GODOY, A.S. Pesquisa qualitativa: tipos Fundamentais. **Revista de Administração de Empresas**, v. 35, p. 20-29, 1995.

GODOY, C.; MESQUITA, N. A. S. **Identificando relações de ensino aprendizagem do livro didático ao vestibular: as Propriedades Periódicas como foco investigativo**. XVI Encontro Nacional de Ensino de Química (XVI ENEQ) e X Encontro de Educação Química da Bahia (X EDUQUI), Salvador, 2012.

GODOY NETTO, A.V.de; FREM, R.C.G.; MAURO, A.E. A química supramolecular de complexos pirazólicos. **Química Nova**, v.31, n. 5, p. 1208-1217, 2008.

GONÇALVES, J.M.; JULIÃO, M.S.J, Analogies in textbooks intended for higher education: Organic Chemistry versus Physical Chemistry. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 21, n. 3, p. 92, 2016.

GUSSARSKY, E.; GORODETSKY, M. On the concept 'chemical equilibrium': the associative framework. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 27, p. 197 – 204, 1990.

HEWSON, P.W; THORLEY, N.R. The conditions of conceptual change. **International Journal Science Education**, v. 11, p. 541 – 553, 1989.

HILL, M. M., HILL, A. **A construção de um questionário**. 1998

ILLERIS, K. Uma compreensão abrangente sobre a aprendizagem humana. ILLERIS, K et al. Teorias Contemporâneas da aprendizagem. **Porto Alegre: Pensa**, p. 15-30, 2013.

JOHNSTONE, A.H. The Development of Chemistry Teaching. **The Forum**, v. 70, n. 9, p. 701-705, 1993.

KEBER, R. C. If Is's Resonance, What Is Resonance? **Journal of Chemical Education**, v. 83, n. 2, 2006.

KUHN, T. S; **A estrutura das revoluções científicas**, 9ª ed., Perspectiva: São Paulo, 2007.

LAWSON, A. E. et al. The role of hypothetico-deductive reasoning and physical analogues of molecular interactions in conceptual change. **Journal of Research in Science Education**, v. 30, n. 9, p. 1073 – 1085, 1993.

LEAL, S.C. **A Química Orgânica no Ensino Secundário: percepções e propostas**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, Departamento de Química, 2006.

LEAL, M. C. **Didática da Química – Fundamentos e práticas para o Ensino Médio**. 1. ed. Belo Horizonte: Dimensão, 2009.

LEAO, D.M.M. Paradigmas Contemporâneos de Educação: Escola Tradicional e Escola Construtivista. **Caderno de Pesquisa**, v. 107, p. 187-206, 1999.

LEE, J. D. **Química Inorgânica não tão concisa**. Tradução da Quinta Edição Inglesa, Editora Edgard Blücher Ltda. 1996.

LEÓN, P. C. **El origen de la investigación escolar: una alternativa de síntesis frente a la enseñanza tradicional**. In: GONZÁLEZ, G.T.; ESTRADA, F.J.P. Investigar en el aula: aportaciones para una didáctica innovadora. Huelva: Universidade de Huelva. p. 15-60, 1998.

LIMA, M. B.; LIMA-NETO, P. Construção de modelos para ilustração de estruturas moleculares em aulas de química. **Química Nova**, v. 22, n. 06, p. 903-906, 1999.

LOPES, A. R. C. Potencial de Redução e Eletronegatividade, obstáculo verbal. **Química Nova na Escola**, n. 04, novembro, 1996.

LUDKE, M. e ANDRÉ, E.D.A. **Pesquisa em Educação**: abordagens qualitativas. São Paulo: EPU, 1986.

LÜDKE, M., MOREIRA A.F. e CUNHA, M.I. Repercussões de tendências internacionais sobre a formação de professores. **Educação & Sociedade**, n. 68, p. 278-298, 1999.

MARIANO, M.L. **Diagnóstico das dificuldades de aprendizagem dos alunos do 1º ano no ensino do conteúdo de tabela periódica: Um estudo de caso**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química), Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014.

MAROJA, C. **O Currículo de Química nas Escolas Públicas de Ensino Médio da Cidade de São Paulo**. Dissertação de Mestrado, São Paulo: Universidade Cruzeiro do Sul, 2007.

MATOS, A.C.S; et al. Nomenclatura de Compostos Orgânicos no Ensino Médio: Influência das Modificações na Legislação a partir de 1970 sobre a Apresentação no Livro Didático e as Concepções de Cidadãos. **Química Nova na Escola**, v. 31, n. 1, p. 40-45 2009.

MCMURRY, John. **Química orgânica: combo**. Cengage Learning, 2012.

MELO, M.R. **Estrutura atômica e ligações química – uma abordagem para o ensino médio**. 2002. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

MELO, M.R.; NETO, E.G.de L. Dificuldades de ensino e aprendizagem dos modelos atômicos em química. **Química Nova na Escola**, v. 35, n. 2, p. 112-122, 2013.

MINAYO, M. C. S. Análise qualitativa: teoria, passos e fidedignidade. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 17, n. 3, p. 621-626, 2012.

MIZUKAMI, M. G. N. **Ensino: as abordagens do processo**. São Paulo: EPU, 1986.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. **Aprendizagem Significativa A teoria de David Ausubel**. São Paulo: Editora Moraes LTDA, 1982

MORTIMER, E.F.; MOL, G.; DUANTE, L.P. Regra do Octeto e teoria da Ligação Química no Ensino Médio: Dógmata ou Ciência? *Química Nova*, v. 17, n. 2, 1994.

MORTIMER, E.F. Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos? **Investigações em Ensino de Ciências**, v.1, n. 1, p 20 – 39, 1996.

MÜLLER, L. C.; MALDANER, O. A. **Situação de Estudo em aulas de Química: Soluções químicas e significação do conceito da eletronegatividade**. Relatório técnico-científico, Salão do Conhecimento, UNIJUÍ, 2014.

NAKHLEH, M.B. Why some students don't learn chemistry: Chemical misconceptions. **Journal of Chemical Education**, v. 69, n. 3, p. 191 – 196, 1992.

NAKIBOGLU, C. Instructional misconceptions of turkish prospective chemistry teachers about atomic orbitals and hybridization. **Chemistry education: Research and practice**, v. 4, n. 2, p. 171 – 188, 2003.

NAKIBOGLU, C; TEKIN, B.B. Identifying students' misconceptions about Nuclear Chemistry. **Research: Science and Education**, v. 83, n. 11, p. 171 – 1718, 2006.

NARDI, R.; GATTI, S. R. T. Uma revisão sobre as investigações construtivistas nas últimas décadas: concepções espontâneas, mudança conceitual e ensino de ciências. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 6, n. 2, p. 129 – 150. 2008

NICOLL, G. A Report of Undergraduates' Bonding Alternative Conceptions. **International Journal of Science Education**, v. 23, n. 7, p. 707 – 730, 2001.

OKI, M. da C.M.; MORADILLO, E.F. de. O Ensino de História da Química: Contribuindo para a compreensão da natureza da Ciência. **Ciência & Educação**, v. 14, n. 1, p. 67-88, 2008.

OLIVEIRA, D.C. Análise de Conteúdo Temático Categorical: Uma proposta de sistematização. **Rev. Enferm.**, v. 16, n. 4, p. 569-576, 2008.

- OLIVEIRA, R. C. B.; MELHO, C.C.; SOUZA, A.N. Implicações da experimentação como aporte em atividades por problematização para compreensão do fenômeno corrosão. **Ensino em Revista**, v. 28, 2021
- OSBORNE, R.J.; COSGROVE, M.M. Children's conceptions of the changes of state of water. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 20, p. 825-838, 1983.
- OZMEN, H. Some Student Misconceptions in Chemistry: A Literature Review of Chemical Bonding, **Journal of Science Education and Technology**, v. 13, n. 2, p. 147-159, 2004.
- PAIXÃO, F.; CACHAPUZ, A. Mudanças na Prática de Ensino da Química pela Formação dos Professores em História e Filosofia das Ciências. **Química Nova na Escola**, n. 18, p. 31-36, 2003.
- PARK, B. S. Chemical translators: Pauling, Wheland and their strategies for teaching the theory of resonance. **The British Journal for the History of Science**, v. 32, n. 1, p. 21-46, 1999.
- PAULING, L. **Uniones Químicas y la Estructura de Moléculas y Cristales – Una introducción a la Química Estructural Moderna**. Buenos Aires: Editora Kapelusz, 1965.
- PAULING, L. The nature of the Chemical Bond. **Journal of Chemical Education**, v. 69, n. 6, p. 519 – 521, 1992.
- PORLÁN ARIZA, R. Pasado, presente y futuro de la didáctica de las ciencias. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 16, n. 1, p. 175-185, 1998.
- POSADA, J.M. Concepciones de los alumnos sobre el Enlace Químico antes, durante y después de la enseñanza formal. Problemas de Aprendizaje. **Investigación Didáctica**, v. 17, n. 2, p. 227-245, 1999.
- POZO, J. I.; CRESPO, M. A. G., **A Aprendizagem e o Ensino de Ciências do Conhecimento cotidiano ao Conhecimento científico**. 5ª Edição, Tradução Naila Freitas, Editora Artmed. 2009.
- PRAIA, J.F. Aprendizagem significativa em D. Ausubel: Contributos para uma adequada visão da sua teoria e incidências no ensino. Capítulo do Livro: **Teoria da Aprendizagem Significativa Contributos do III Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa**, Peniche, p. 121-134, 2000.
- RODRIGUES, S.B.V.; SILVA, D.C.; QUADROS, A.L. O ensino superior de química: reflexões a partir de conceitos básicos para a química orgânica. **Química Nova**, v. 34, n. 10, p. 1840-1845, 2011.
- ROQUE, N.F.; SILVA, J.L.P.B. A Linguagem Química e o Ensino da Química Orgânica. **Química Nova**, v. 31, n. 4, p. 921-923, 2008.

RUSSEL, J. B. **Química Geral**. 2º Ed., Vol. 1, Editora Pearson, 1994.

SANCHES, J.N.G. **Dificuldades de aprendizagem e intervenção psicopedagógica**. Ed. Artmed, Porto Alegre, 2004.

SANTOS, C.M.A; SILVA, R.A.G; WARTHA, E.J. O conceito de Eletronegatividade na Educação Básica e no Ensino Superior. **Química Nova**, v. 34, n. 10, p. 1846-1851, 2011

SANTOS, J.A.; FRANÇA, K.V.; SANTOS, L.S.B dos. **Dificuldades na aprendizagem de Matemática**. Centro Universitário Adventista de São Paulo. Curso de Licenciatura em Matemática. São Paulo, 2007.

SAVIANI, D. **Escola e democracia**. 24. ed. São Paulo: Cortez, 1991.

SCHMIDT, H. **Stoichiometric problem solving in high school chemistry**. Paper presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching, 1992.

SCHMIDT, H. Students' misconceptions – Looking for a pattern. **Science Education**, v. 81, n. 2, p. 123-135, 1997.

SILVA, R.C.; GOBBI, B.C.; SIMÃO, A.A. O uso da Análise de Conteúdo como uma ferramenta para a pesquisa qualitativa: descrição e aplicação do método. **Organ. Rurais Aground.**, v. 7, n.1, p.70-81, 2005.

SILVA, T.S.; SOUZA, J.J.N.; CARVALHO FILHO, J.R. Construção de Modelos Moleculares com material alternativo e sua aplicação em aulas de Química. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 12, n. 2, 2017.

SILVEIRA, M.R.A. **“Matemática é difícil”: Um sentido pré-constituído evidenciado na fala dos alunos**, 2002.

SIRHAN, G. Learning Difficulties in Chemistry: An Overview. **Journal of Turkish Science Education**, v. 4, n. 2, p.2-20, 2007.

SOLBES, J.; VILCHES, A. Análisis de la introducción de la teoría de enlaces y bandas. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 9, p. 53-58, 1991.

SOUZA, F. N. de, **Perguntas na aprendizagem de Química no Ensino Superior**, Tese de Doutorado, Universidade de Aveiro, 2006.

STEFANI, C; TSAPARLIS, G. Students' Levels of Explanations, Models, and Misconceptions in Basic Quantum Chemistry: A Phenomenographic Study. **Journal of Research in Science teaching**, v. 46, n. 5, p. 520-536, 2009.

TABER, K.S. An alternative conceptual framework from chemistry education, **International Journal of Science Educatin**. V. 20, n. 5, p. 597-608, 1998.

TAVARES, R. Aprendizagem Significativa. **Revista Conceitos**, v. 55, n. 10, 2004.

TAVARES, R. Aprendizagem significativa e o ensino de ciências. **Ciências & Cognição**, v. 13, n. 1, p. 94-100, 2008.

TITO, M. P.; CANTO, E. L. **Química na Abordagem do Cotidiano**. Volume Único. São Paulo: Editora Saraiva, 1998.

TREAGUST, D. Evaluating students' misconceptions by means of diagnostic multiple choice items. **Research in Science Education**, v. 16, n. 1, p. 199, 1986.

TSAPARLIS, G. Atomic Orbitals, Molecular Orbitals and Related Concepts: Conceptual Difficulties Among Chemistry Students. **Research in Science Education**, v. 27, n. 2, p. 271-287, 1997.

ÜNAL, S.; AYAS. B.C.A. Secondary School Students' Misconceptions of Covalent Bonding. **Journal of Turkish Science Education**, v. 7, n. 2, p. 3-29, 2010.

WANG, C.Y.; BARROW, L.H. Exploring conceptual frameworks of models of atomic structures and periodic variations, chemical bonding, and molecular shape and polarity: a comparison of undergraduate general chemistry students with high and low levels of content knowledge. **Chem. Educ. Res. Pract**, v. 14, p. 130-146, 2013.

WEBER, R.G. **Estudo das dificuldades de leitura e interpretação de textos matemáticos em enunciados de problemas por alunos do ensino médio**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2012.

ZOLLER, U. Students' misunderstandings and misconceptions i college freshman chemistry (General and Organic). **Journal of Research in Science Teaching**, v. 27, n. 10, p. 1053-1065, 1990.

ZUCCO, C; PESSINE, F.B.T; ANDRADE, J.B., Diretrizes curriculares para os cursos de química. **Química Nova**, v. 22, n. 3, p. 454-461, 1999

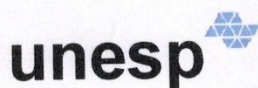
APÊNDICE A – AUTORIZAÇÃO E TERMO DO COMITÊ DE ÉTICA

PROJETO DE PESQUISA DE MESTRADO

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO DE EXTENSÃO	
Projeto de Pesquisa: Aprendizagem em Química Orgânica: levantamento das dificuldades do conceito de Ressonância e condicionantes para a produção de atividades baseadas em modelos didáticos investigativos.	
Pesquisador: Msd. Kátia Andreza Locatelli sob a orientação da Profª Drª Silvia Regina Quijadas Aro Zuliani	Instituição / Departamento: Pesquisador: UNESP - Faculdade de Ciências – Programa de Pós graduação em Educação para a Ciência. Orientadora: Faculdade de Ciências – Programa de Pós-graduação em Educação para a Ciência UNESP/Bauru – Departamento de Educação
Telefone: Pesquisador: (14) 99123-6986	Endereço Eletrônico: Pesquisador: kalocatelli@fc.unesp.br
Justificativa: Atualmente, devido à maneira como estão distribuídos os temas estudados no Ensino Médio, muitos alunos não possuem tempo hábil para o estudo de conceitos gerais de Química Orgânica, se limitando na maioria das vezes apenas ao estudo da nomenclatura de compostos orgânicos. Devido a essa realidade, acreditamos que muitas dificuldades que os professores de Química no processo de formação inicial encontram, estão relacionadas a esta falta de “estrutura primária” de diversos conceitos mal ou nunca abordados. O Grupo de Pesquisa em Ensino de Química, Investigação Orientada, Linguagens e Formação Docente vêm desenvolvendo diversos projetos de pesquisa vinculados à formação de professores inicial e continuada. Este projeto de pesquisa pretende realizar um levantamento das dificuldades encontradas pelos estudantes de Licenciatura em Química na disciplina de Química Orgânica quanto a diversos conceitos necessários para o entendimento de um conceito principal escolhido, a “Ressonância”. Pretendemos, ao final deste projeto, ter elencado algumas destas dificuldades de aprendizagem deste conceito para, posteriormente, elaborarmos sequências didáticas alternativas baseada no ensino por investigação, que venham superar essas dificuldades, auxiliando assim a construção do conceito de Ressonância de uma maneira melhor estruturada.	
Objetivo: Através deste trabalho de pesquisa, usando metodologia de investigação fenomenológica, pretendemos verificar as principais dificuldades encontradas na aprendizagem do conceito de “Ressonância” em grupos de licenciados em Química.	
Metodologia: - Primeira Fase: Acompanhamento das aulas da disciplina e formulação de um questionário baseado na resolução de problemas que vise a utilização de conceitos diversos, anteriormente estudados pelos licenciandos, para a construção do conceito de Ressonância. - Segunda Fase: Aplicação do questionário aos licenciados em Química, do Campus de Bauru, para avaliação das dificuldades encontradas após a aprendizagem do conceito de Ressonância. - Terceira Fase: Entrevista com alguns estudantes do curso de licenciatura em Química quanto as dificuldades visualizadas pelos mesmos no processo de aprendizagem e a visão de aplicabilidade do conceito recém-estudado. - Quarta Fase: Avaliação da eficácia do questionário e da forma de condução das entrevistas. Se necessário, realização das alterações para as próximas aplicações. - Quinta Fase: Aplicação do questionário já avaliado, para alunos do curso de Licenciatura em Química de outras faculdades após a aprendizagem do conceito de Ressonância. - Sexta Fase: Realização de entrevistas, de acordo com a metodologia utilizada na terceira fase, para alunos do curso de Licenciatura em Química de outras faculdades. - Sétima Fase: Análise dos dados coletados, escrita dos resultados e conclusão da pesquisa. - Oitava Fase: Devolutiva aos sujeitos de pesquisa em relação aos resultados alcançados.	
Outras informações:	

IDENTIFICAÇÃO DO VOLUNTÁRIO	
Nome:	
Data Nascimento:	RG: Matrícula:
Declaro ter sido informado(a) de maneira clara e detalhada sobre as justificativas, os objetivos e a metodologia do projeto de pesquisa: <i>Aprendizagem em Química Orgânica: levantamento das dificuldades do conceito de Ressonância e condicionantes para a produção de atividades baseadas em modelos didáticos investigativos</i>, bem como as atividades envolvidas. Estou ciente de que minha privacidade será respeitada, ou seja, meu nome ou qualquer outro dado ou elemento que possa, de qualquer forma, me identificar serão mantidos em sigilo. Estou ciente de que posso recusar-me a participar, retirar meu consentimento ou interromper a minha participação a qualquer momento, sem precisar justificar. Estou ciente de que a minha participação é voluntária e a recusa em participar não irá acarretar qualquer penalidade. Também estou ciente de que a autorização para publicação de dados ou informações minhas ou oriundas do projeto é voluntária e que dela poderei desistir, a qualquer momento, antes da publicação, sem explicar os motivos e sem quaisquer perdas. Estou ciente de que não serei identificado(a) em nenhuma publicação, palestra, curso, etc., que possam resultar deste projeto de pesquisa. Declaro que concordo em participar, como voluntário(a), do projeto de pesquisa acima descrito. Recebi uma cópia deste Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e me foi dada a oportunidade de ler e esclarecer as minhas dúvidas. _____, ____ de _____ de _____ _____ Assinatura do Participante	



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Bauru



O Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Ciências da Universidade Estadual Paulista – UNESP, em sua 62ª Reunião Ordinária realizada no dia 17 de maio de 2011, no Prédio do STI da Faculdade de Ciências - UNESP, Campus de Bauru, às 09h00, após análise do parecer emitido pelo relator **APROVA** o projeto "Ensino e aprendizagem de conceitos científicos: uma proposta de articulação de atividades investigativas e interdisciplinaridade na construção de aprendizagens significativas", Processo nº 3303/46/01/11, sob responsabilidade da Professora Doutora Silvia Regina Quijadas Aro Zuliani.

Bauru (SP), 17 de maio de 2011

PROF. DR. ARI FERNANDO MAIA
Coordenador do Comitê de Ética em Pesquisa

COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA

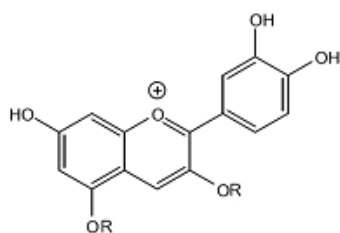
Av. Engº Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01 - Vargem Limpa - Bauru-SP - CEP: 17.033-360
Fone: (14) 3103-6187 - email: celiaarf@fc.unesp.br

APÊNDICE B – INSTRUMENTO 2

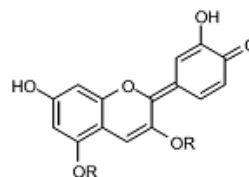
1. Como você explica as ligações que se formam entre um átomo de Cálcio e os átomos de halogênios? Quais tipos de ligações químicas podemos esperar?
2. Explique utilizando apenas propriedades periódicas as ligações que o enxofre faz nos seguintes compostos: SO_4^{2-} e SF_6 . Qual seria a geometria molecular e a polaridade de cada espécie?
3. Explique em termos de energia de ligação as ligações C-C e C-O. Represente-as através de um desenho.
4. Represente através de um desenho a estrutura das três moléculas a seguir considerando suas geometrias moleculares 3D e as zonas de maior densidade eletrônica de cada uma delas. Acrescente os comentários que você julgar necessários.

Ácido acético – Tricloro acético – 2-buteno

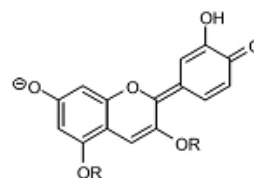
5. Observa-se que o céσιο reage com água de maneira mais violenta que o sódio. Justifique.
6. Sabe-se que as antocianinas dão indicadores de pH. O repolho roxo e a flor hortências são utilizados cotidianamente como indicadores por muitos professores de química para identificar ácidos e bases. As formas destas antocianinas em diferentes pHs são apresentadas abaixo com suas respectivas cores. Justifique em termos de estrutura a diferença destas cores.



Antocianina do repolho roxo
(forma ácida, carregada positivamente)



Forma neutra



Forma básica
(carregada negativamente)

APÊNDICE C – CATEGORIZAÇÃO INICIAL DAS EXPLICAÇÕES DOS PARTICIPANTES NOS NÍVEIS DE ADEQUAÇÃO

Código do Questionário	<u>Questão 1</u>	
	Nível de explicação	Registro
1	Inadequada	Cálcio = metal / Halogênio = ametal = Fazem ligação iônica
2	Parcialmente adequada	Cálcio - metal => Doa elétrons Halogênio - ametal => Recebe elétrons Forma ligação iônica
3	Parcialmente adequada	A ligação entre eles é uma ligação iônica, o cálcio por ser eletropositivo doa um elétron faltante para o flúor que é muito eletronegativo. Pela regra do octeto basta apenas um elétron para estabilizar o flúor, e cálcio tem que perder dois elétrons para se estabilizar.
4	Inadequada	Cálcio => metal Halogênio => ametal Ligação entre os íons
5	Sem resposta	Sem resposta.
6	Sem resposta	Sem resposta.
7	Parcialmente adequada	As ligações entre átomos alcalinos e átomos alcalinos terrosos com halogênios se realiza à partir de uma interação iônica; dado o Cálcio da Família 2A com, por exemplo o Iodo, temos um sal chamado Iodeto de Cálcio. I - Ca - I
8	Parcialmente adequada	Um é metal (cálcio) outro ametal (halogênio), um tem tendência de receber outro de perder elétrons, por isso a reação ocorre. O cálcio é o metal com tendência de perder elétrons e o halogênio tem tendência de receber. Desta forma ocorre uma ligação iônica entre as duas espécies.
9	Parcialmente adequada	O cálcio é um metal e o halogênio um ametal. O halogênio tem tendência de receber elétrons. Ocorre ligação iônica.

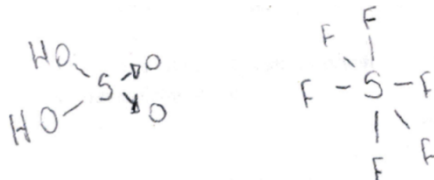
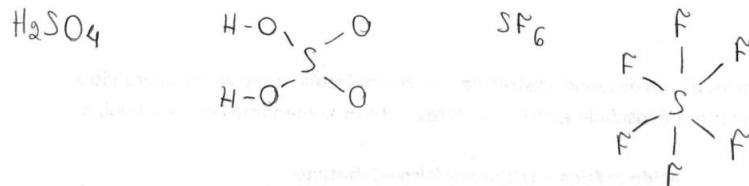
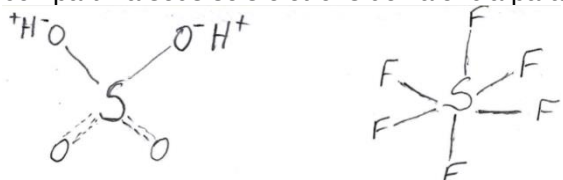
Questão 1		
Código do Questionário	Nível de explicação	Registro
10	Parcialmente adequada	O cálcio é um metal e o halogênio é considerado um ametal. Esse tipo de ligação é considerado a Ligação iônica, que se dá através da doação de elétrons entre os participantes.
11	Parcialmente adequada	O Cálcio está localizado na família 2A da Tabela periódica é classificado como metal e tem a tendência de doar elétrons. Já o halogênio está localizado na família VIIA e recebe 1 elétron e é um ametal. Ambos se ligam e formam uma ligação iônica.
12	Parcialmente adequada	O cálcio é deficiente eletronicamente (2+) Qualquer halogênio é carregado eletronicamente (1-) Para cada um deles se estabilizar, ocorre a reação entre eles. A estabilidade é conseguida pela regra do octeto. Considerando X para qualquer halogênio: $X \Rightarrow Ca \Leftarrow X$
13	Parcialmente adequada	Cálcio é um metal alcalino terroso, e assim sendo é eletropositivo. Já o halogênio é um ametal (eletronegativo). Entre um metal e um ametal temos a formação de uma ligação majoritariamente iônica.
14	Inadequada	Pode-se explicar pela Teoria da Ligação iônica.
15	Parcialmente adequada	Ligação iônica, pela diferença de eletronegatividade.
16	Parcialmente adequada	As ligações que se formam entre o cálcio e os halogênios são ligações do tipo iônica, pois os halogênios são eletronegativos e o cálcio é eletropositivo.
17	Parcialmente adequada	As ligações entre o cálcio e os átomos de halogênios acontecem devido à diferença de eletronegatividade entre esses elementos constituindo ligações prevalentemente iônicas.
18	Parcialmente adequada	São formadas ligações fortes devido a grande diferença de eletronegatividade. Ligação iônica.

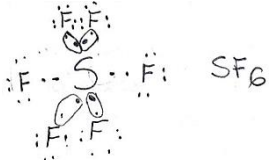
<u>Questão 1</u>		
Código do Questionário	Nível de explicação	Registro
19	Inadequada	Iônica.
20	Parcialmente adequada	O cálcio é um metal da família 2A, também conhecida também como metais alcalinos terrosos. Já os halogênios são ametais. Quanto temos a ligação de um metal mais um ametal temos uma ligação iônica. A ligação iônica é caracterizada com uma doação de elétrons do metal para o ametal.
21	Parcialmente adequada	São ligações fortes porque são elementos com grande diferença de eletronegatividade. Assim, as ligações químicas esperadas são as ligações mais fortes, sendo essas ligações iônicas.
22	Inadequada	Por diferença de eletronegatividade entre os elementos forma-se ligações iônicas. Iônica ou covalente.
23	Parcialmente adequada	Os halogênios possuem sua camada de valência com sete elétrons e o cálcio apenas 2. Os dois para tornar-se estáveis necessitam completar 8 elétrons na camada de valência (regra do octeto) por ela "regra do octeto" o cálcio deveria perder dois elétrons para tornar-se estável e o halogênio ganhar um, então o cálcio "doa" seus elétrons por meio de um ligação que em sua maior parte iônica para dois átomos de bromo formando CaBr_2 . Podemos esperar ligações iônicas e covalentes, no caso a ligação é 95% iônica e 5% covalente.
24	Parcialmente adequada	$\text{Ca}^{2+} / \text{X}^- \Rightarrow \text{CaX}_2$ Ligação iônica Os halogênios apresentam 7 elétrons na camada de valência, já o cálcio apenas dois, portanto para completar o octeto o cálcio doa seus dois elétrons.
25	Parcialmente adequada	A ligação entre Ca^{2+} e halogênios se explica pela diferença de eletronegatividade entre os átomos, ligação do tipo iônica/eletrostática.
26	Parcialmente adequada	Ligação iônica cálcio - halogênio, pela diferença de eletronegatividade.
27	Parcialmente adequada	Diferença de eletronegatividade. O Cálcio é um elemento eletropositivo e é cloro eletronegativo. A ligação é do tipo eletrostática, ligação iônica.
28	Parcialmente adequada	Diferença de valores de eletronegatividade. Ligação iônica.

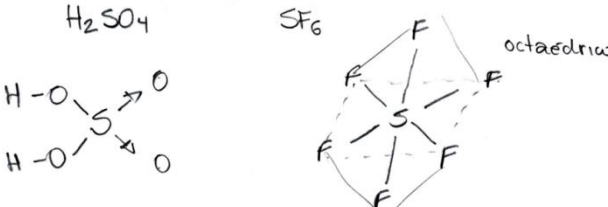
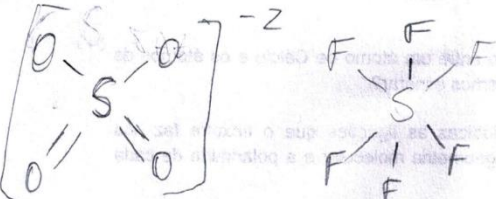
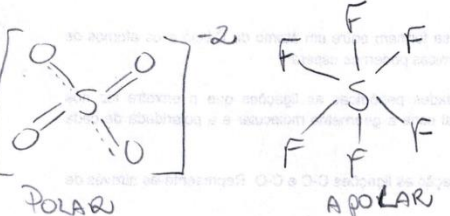
Questão 1		
Código do Questionário	Nível de explicação	Registro
29	Parcialmente adequada	As ligações que ocorrem entre um átomo de Ca^{2+} e X^{-1} é uma ligação do tipo iônica.
30	Parcialmente adequada	As ligações químicas que ocorrem entre um átomo de cálcio e um átomo de halogênio é denominada de ligação iônica e ocorre devido a diferença de eletronegatividade entre o átomos de cálcio e o átomo de halogênio.
31	Parcialmente adequada	A ligação que ocorre entre o Cálcio e o halogênio é de caráter iônico devido sua grande diferença na eletronegatividade entre esses dois elementos.
32	Parcialmente adequada	Devido a tendência do cálcio perder elétrons e dos halogênios em ganhar elétrons, ambos possuem essa tendência para obedecer a regra do octeto. E por possuírem uma grande diferença de eletronegatividade deve-se esperar que eles formem ligações iônicas.
33	Parcialmente adequada	Através das diferenças de eletronegatividade, o Cálcio é um metal alcalino terroso e são os menos eletronegativos já os Halogênios são os mais eletronegativos, fazendo com que desta forma a única ligação possível dentre eles é a ligação iônica.
34	Parcialmente adequada	A ligação entre o Cálcio e os halogênios é a diferença de eletronegatividade entre ambos. A ligação esperada é a iônica.
35	Parcialmente adequada	A ligação que se forma entre um átomo de cálcio e entre os halogênios é explicada pela diferença de eletronegatividade. Logo podemos esperar uma ligação iônica.
36	Parcialmente adequada	Pela diferença de eletronegatividade e a configuração eletrônica há uma aproximação dos átomos com características iônicas pois o cálcio tem terminação $4s^2$, a forma mais fácil de entrar no octeto é perdendo dois elétrons ficando com oxidação $2+$ e o elemento da família do halogênio tem configuração p^5 que entra na regra do octeto recebendo um elétron ficando com estado de oxidação $1-$. Caracteriza-se então duas ligações iônicas, ou seja, dois halogênios ligados a um cálcio.
37	Parcialmente adequada	As diferenças de eletronegatividade explicam as ligações. Podemos esperar ligações iônicas.
38	Parcialmente adequada	Através da eletronegatividade. O cálcio é eletropositivo e o halogênio eletronegativo, assim eles tendem a fazer ligações afim de neutralizar as cargas formando uma ligação de caráter iônico.

	<u>Questão 1</u>	
Código do Questionário	Nível de explicação	Registro
39	Sem resposta	Sem resposta.
40	Inadequada	Ligações iônicas.
41	Inadequada	Ligações iônicas.
42	Inadequada	Ligações iônicas, pois Ca família IIA, doa elétrons.
43	Inadequada	Ligação iônica.
44	Inadequada	Ligação iônica.
45	Parcialmente adequada	São ligações iônicas formada por um metal (Ca^{2+}) com um não metal monovalente (X^-) que dá a forma CaX_2 . Os elétrons de valência do cálcio preenchem os orbitais livres dos halogênios.
46	Parcialmente adequada	É uma ligação iônica, onde os átomos de halogênios "retira" um par de elétrons do Cálcio.
47	Parcialmente adequada	Os átomos de halogênios retiram elétrons do Ca, formando ligações iônicas.
48	Parcialmente adequada	CaX_2 Ligações iônicas formadas por um metal Ca^{2+} e um não metal monovalente X^- . Os elétrons do não metal monovalente (halogênio) atraem o átomo do metal do Ca^{2+} que reagem até formarem uma ligação estável.
49	Parcialmente adequada	A nuvem eletrônica do halogênio, é em relação ao tamanho do átomo, bem maior que a do cátion e isto faz com que haja também uma aproximação, devido as diferenças de cargas que tem grande influência da eletronegatividade.
50	Sem resposta	Sem resposta.
51	Sem resposta	Sem resposta.
52	Parcialmente adequada	Devido a diferença de eletronegatividade, ligação iônica. (DESENHO)
53	Sem resposta	Sem resposta.
54	Inadequada	Geometria linear, ângulo de 180° , é uma ligação covalente, pois o cloro é bastante eletronegativo, já o cálcio tem tendência de perder elétrons.

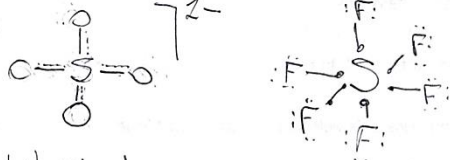
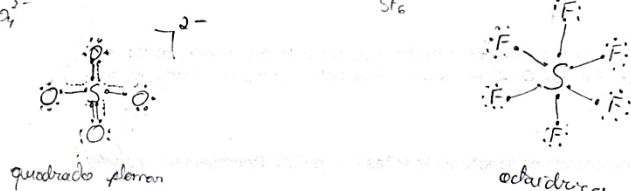
	<u>Questão 1</u>	
Código do Questionário	Nível de explicação	Registro
55	Sem resposta	Sem resposta.
56	Sem resposta	Sem resposta.
57	Inadequada	É uma interação eletrostática
58	Parcialmente adequada	Ca (20 elétrons): $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2$ A ligação ocorre devido à regra do octeto, o cálcio precisa perder 2 elétrons para se estabilizar enquanto o cloro precisa ganhar 1 elétron.
59	Parcialmente adequada	Ca => grupo 2 Halogênio => grupo 17 $CaCl_2$ Cl - Ca - Cl O cálcio é um metal e o cloro é um não-metal, a ligação entre eles é iônica, ou seja, eles são unidos por uma interação eletrostática em que o cálcio irá ceder os elétrons para que o halogênio que ele se ligue fique estável.
60	Sem resposta	Sem resposta.
61	Inadequada	O cálcio tem sua camada de valência preenchida, o Cl- tem a falta de um elétron para tornar-se estável. Sendo assim a ligação é covalente, pois o cálcio compartilha seus elétrons. A geometria é linear, pois o cálcio não é eletronegativo, não tencionando o cloro.

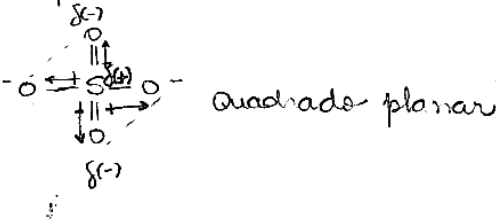
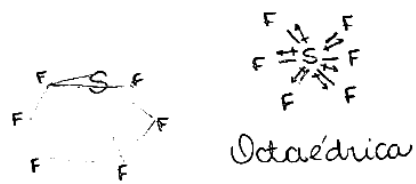
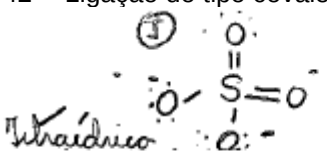
Questão 2		
Código do Questionário	Nível de explicação	Registro
1	Inadequada	
2	Inadequada	
3	Parcialmente adequada	O Enxofre tem seis elétrons em sua camada de valência necessitando de apenas mais dois elétrons para se estabilizar, porém nestes casos eles fazem compartilhamento de elétrons (ligações covalentes), deste modo ele compartilha seus seis elétrons de valência para outros átomos eletronegativos. 
4	Sem resposta	Sem resposta
5	Sem resposta	Sem resposta

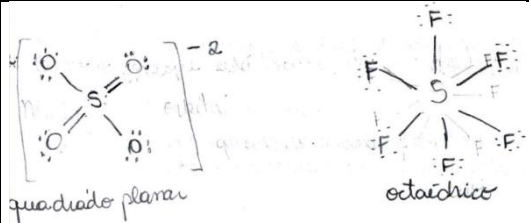
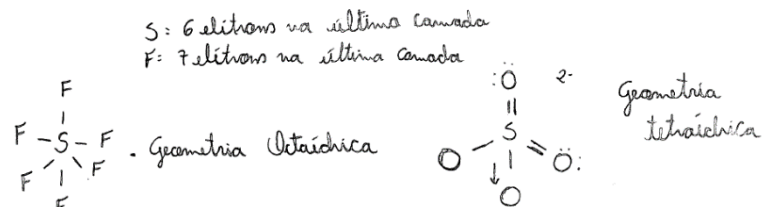
Questão 2		
Código do Questionário	Nível de explicação	Registro
6	Inadequada	
7	Parcialmente adequada	Em ambos os casos, o fator periódico mais determinante é a relação de eletronegatividade. Ela determina qual o comportamento da molécula. No caso de H₂SO₄, podemos observar que o oxigênio é mais eletronegativo que o enxofre o que faz com que o número de oxidação do enxofre seja +6, o que pode ser também observado na ligação com o F. As ligações entre S-F são mais fortes que as ligações S-O, por causa da eletronegatividade.
8	Sem resposta	Sem resposta
9	Sem resposta	Sem resposta
10	Sem resposta	Sem resposta
11	Parcialmente adequada	O enxofre tem 6e⁻ na camada de valência, localizando na família VIA, faz duas ligações para se estabilizar. 
12	Parcialmente adequada	SF₆ O Fluor é um Halogênio carregado eletronegativamente (-1) O enxofre é um calcogênio carregado (-2)

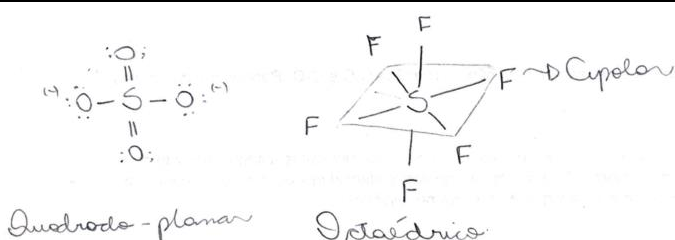
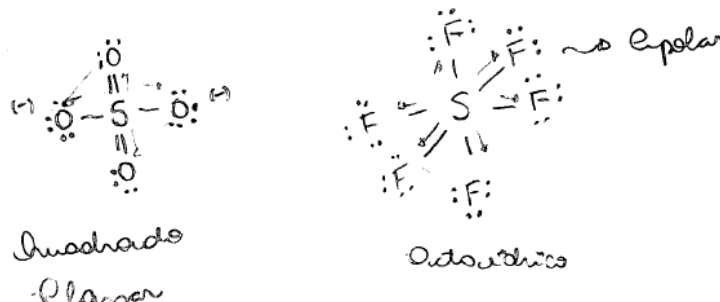
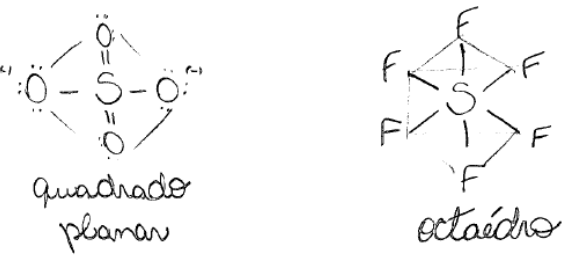
Questão 2		
Código do Questionário	Nível de explicação	Registro
13	Parcialmente adequada	
14	Parcialmente adequada	
15	Parcialmente adequada	 Como o S está no grupo 16 e período 3 ele faz 6 ligações
16	Parcialmente adequada	SO₄²⁻ tem quatro ligantes e dois pares de elétrons livres então a geometria é quadrado plana. Já o SF₆ apresenta geometria octaédrica sendo o SO₄²⁻ mais polar por causa do composto apresentar carga 2-

<u>Questão 2</u>		
Código do Questionário	Nível de explicação	Registro
17	Parcialmente adequada	SO ₄ ²⁻ possui a geometria quadrado planar. O SF ₆ possui geometria octaédrica. O enxofre possui orbitais d e pode fazer 6 ligações, ou possui 3 pares de elétrons, sejam ligantes ou anti-ligantes. SO ₄ ²⁻ possui maior polaridade que SF ₆ devido aos elétrons não ligantes.
18	Parcialmente adequada	SO ₄ ²⁻ quadrado- polar SF ₆ octaédrico-apolar
19	Parcialmente adequada	SO ₄ ²⁻ quadrado- polar SF ₆ octaédrico-apolar
20	Parcialmente adequada	Que eu me lembre, o enxofre não segue a regra do octeto: pois ele sofre expansão. As ligações entre o S e o O e o S e o F são ligações covalentes e dativas. A geometria do SO ₄ ²⁻ é plana trigonal (dúvida) e do SF ₆ é bipirâmide trigonal (dúvida). Em relação à polaridade o SO ₄ ²⁻ é apolar e o SF ₆ também.
21	Adequada	O Enxofre possui 5 eletrons na camada de valência. com isso apenas duas ligações satisfazem a regra do octeto. Porém, nesses dois compostos citados o enxofre tem o chamado “octeto expandido”, isso é devido a hibridização de seus orbitais. O SO ₄ ²⁻ possui geometria quadrado planar, pois possui dois pares de eletrons não ligantes, um em cada extremo da parte axial da estrutura octédrica. No entanto o SF ₆ possui geometria octaédrica. O SO ₄ ²⁻ é mais polar pois possui pares de eletrons livres.

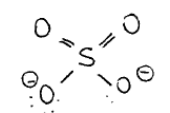
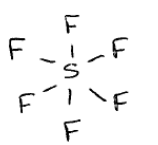
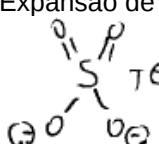
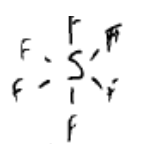
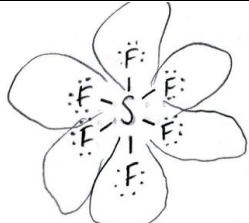
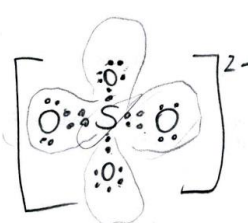
Questão 2		
Código do Questionário	Nível de explicação	Registro
22	Parcialmente adequada	SO ₄ ²⁻ tetraédrico, ligação covalente, possui tamanho e eletronegatividade semelhante; polar. SF ₆ , octaédrico, ligação iônica, diferença de tamanho e o F é muito eletronegativo; polar.
23	Parcialmente adequada	 híbridos de Resonância SO₄²⁻ - Quadrado planar. SF₆ - Bipirâmide quadrada ou octaédrico
24	Parcialmente adequada	 quadrado planar octaédrica

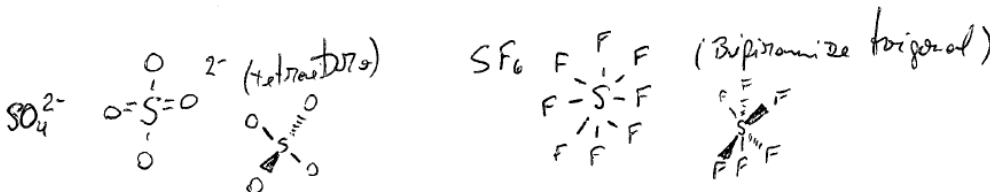
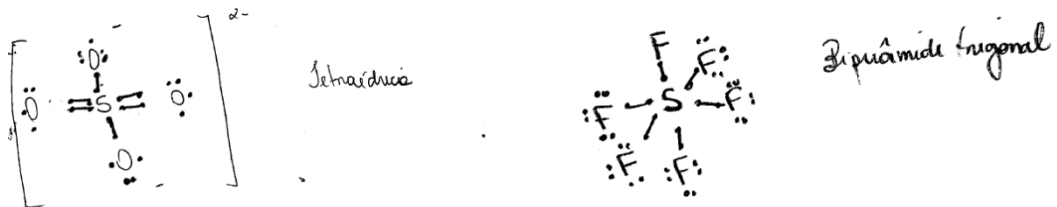
Questão 2		
Código do Questionário	Nível de explicação	Registro
25	Parcialmente adequada	O enxofre, como está no terceiro período, pode hibridizar com os orbitais do oxigênio formando a geometria quadrado planar no composto SO_4^{2-} devido à esta expansão dos orbitais "d". $\text{S}(16) = 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$ $\text{O}(8) = 1s^2 2s^2 2p^4$ Quadrado planar  
26	Parcialmente adequada	SF_6 - Octaédrico e SO_4^{2-} - Tetraédrico
27	Inadequada	(Ametais) Ligações covalentes. SF_6 Geometria Octaédrica e SO_4^{2-} Geometria Tetraédrica
28	Parcialmente adequada	Orbitais d no enxofre, poderia hibridizar e formar ligações covalentes além das permitidas no orbital p. Geometria octaédrica para SF_6 e quadrado planar para o SO_4^{2-} . O SF_6 seria apolar e o SO_4^{2-} polar.
29	Parcialmente adequada	SO_4^{2-} - Ligação do tipo covalente, ligação polar. SF_6 - Ligação do tipo iônica.  

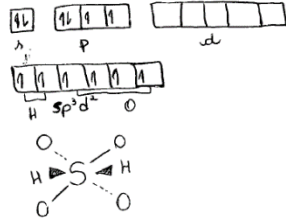
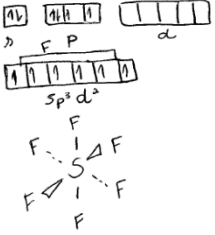
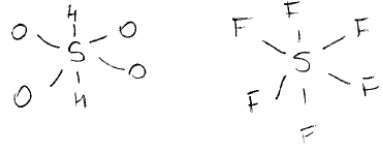
Questão 2		
Código do Questionário	Nível de explicação	Registro
30	Parcialmente adequada	
31	Parcialmente adequada	S: 6 elétrons na última camada F: 7 elétrons na última camada  O oxigênio e o flúor são mais eletronegativos, por isso a densidade eletrônica está se direcionando em sua direção seguindo os vetores indicando assim uma diferença de polaridade, tornando a molécula polar.
32	Parcialmente adequada	Na molécula de SO_4^{2-}: O enxofre possui 6e- em sua camada de valência. Os e- dos orbitais 3p ganham energia, se excitam, entrando em um estado de hibridização e necessitam de mais 4 e- para ter os orbitais totalmente preenchidos. Que é compartilhado com os oxigênios. 1 e- de cada oxigênio. Na molécula SF_6: Já na molécula de SF_6, há uma maior excitação dos e-, e os orbitais 3s e 3p entram em hibridização junto com 3d, necessitando de 6e- para preencher totalmente seus orbitais. Esses e- provêm do flúor. Um e- de cada 6 flúor.

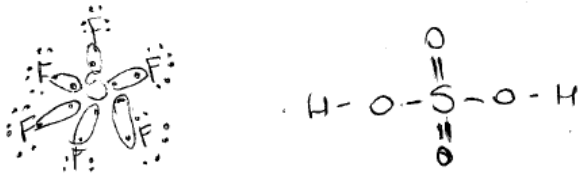
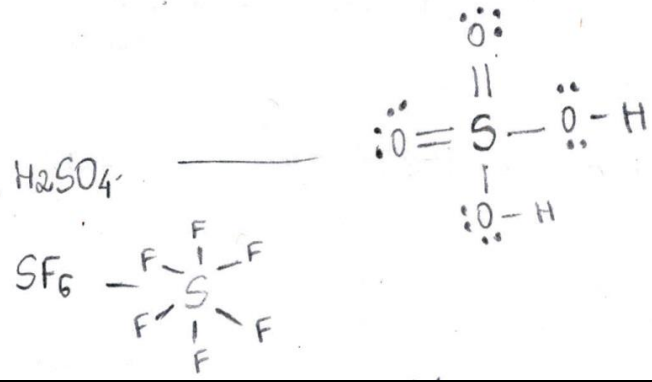
Questão 2		
Código do Questionário	Nível de explicação	Registro
33	Parcialmente adequada	 Quadrado-planar Octaédrico Cipolar
34	Parcialmente adequada	 Quadrado-planar Octaédrico não polar
35	Parcialmente adequada	 quadrado planar octaédrico

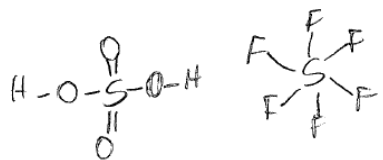
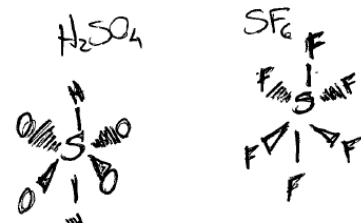
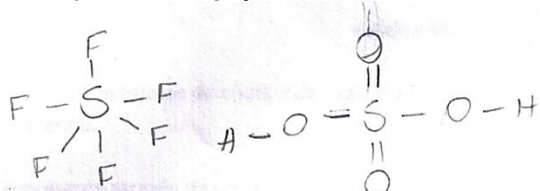
Questão 2		
Código do Questionário	Nível de explicação	Registro
36	Parcialmente adequada	
37	Parcialmente adequada	Há hibridização dos orbitais d nos compostos. SO42- - geometria apolar. SF6 - geometria octaédrica e é polar.
38	Parcialmente adequada	SF6 - geometria tetraédrica e possui caráter apolar. SO42- - geometria quadrática planar e caráter apolar.
39	Sem resposta	Sem resposta
40	Inadequada	Ligações covalentes. SO42- - Apolar; SF6 - polar

Questão 2		
Código do Questionário	Nível de explicação	Registro
41	Parcialmente adequada	SF6 - octaédrico apolar e SO4 ²⁻ - Polar Tetraédrico
42	Parcialmente adequada	Ligação covalente dativa. SO4 tetraédrica polar; SF6 octaédrica apolar
43	Parcialmente adequada	No caso do enxofre, ele sofre expansão em sua camada de valência (orbitais d)  geo: tetraédrica  geo: octaédrica
44	Parcialmente adequada	Expansão de orbitais d.  Tetraédrica  Octaédrica
45	Parcialmente adequada	 Bipirâmide trigonal  Tetraédrico

Questão 2		
Código do Questionário	Nível de explicação	Registro
46	Inadequada	
47	Parcialmente adequada	SO42- - Tetraédrico - polar; SF6 - Bipirâmide trigonal - apolar.
48	Parcialmente adequada	
49	Parcialmente adequada	O átomo de enxofre possui em sua configuração eletrônica a camada d semi-preenchida o que possibilita assumir geometrias tetraédricas e octaédricas podendo formar várias ligações com compostos principalmente altamente eletronegativos como o caso do flúor, e também as nuvens eletrônicas dos halogênios ajustam-se ao enxofre devido ao baixo índice de interferência da nuvem eletrônica do mesmo

Questão 2		
Código do Questionário	Nível de explicação	Registro
50	Parcialmente adequada	H_2SO_4 $16. 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4 3d^0$  SF_6 $16. 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4 3d^0$ 
51	Inadequada	O enxofre possui camada de valência com subnível p e assim expande seus orbitais.
52	Inadequada	O enxofre pode expandir a camada de valência.
53	Inadequada	Em ambos os casos ocorre ligações covalente. 

Questão 2		
Código do Questionário	Nível de explicação	Registro
54	Parcialmente adequada	Em ambos os casos ocorre ligações covalente. Observa-se que o S consegue expandir sua camada de valência, conseguindo fazer mais ligações. 
55	Inadequada	O enxofre é da Família 6A, portanto faz 6 ligações para ficar estável, podendo expandir a camada de valência.
56	Sem resposta	Sem resposta
57	Parcialmente adequada	O que explica a possibilidade dessas estruturas existirem nessa forma é a Teoria do Orbital Molecular (TOM). 
58	Sem resposta	Sem resposta

Questão 2		
Código do Questionário	Nível de explicação	Registro
59	Parcialmente adequada	O enxofre sofre hibridização para poder realizar essas ligações ele possui o orbital p incompleto, o que faz com que ele hibridize do s para o p. 
60	Inadequada	A energia de ionização do S é menor que a energia do F e do S. O F por ser da família 7A é ainda mais eletronegativo que o O. O mesmo ocorre com a afinidade desses elementos. 
61	Parcialmente adequada	O enxofre se encontra no grupo 16, tendo 6 e- na camada de valência. No orbital s e p, tendo dois orbitais incompletos. As ligações acima são estruturas de Lewis. O enxofre é um elemento bem eletronegativo. 

APÊNDICE D – CATEGORIZAÇÃO DOS NÍVEIS DE ADEQUAÇÃO PÓS ANÁLISE DAS UNIDADES COMPLEMENTARES DE IDENTIFICAÇÃO DOS CONCEITOS.

<u>Questão 1</u>				
Código do Questionário	Nível de explicação	Registro	Categorias utilizadas	Unidades complementares às categorias
1	Inadequada	Cálcio = metal / Halogênio = ametal = Fazem ligação iônica		
2	Parcialmente adequada	Cálcio - metal => Doa elétrons Halogênio - ametal => Recebe elétrons Forma ligação iônica	Ligação Química	- Transferência de elétrons - Formação de cátions/ânions
3	Parcialmente adequada	A ligação entre eles é uma ligação iônica, o cálcio por ser eletropositivo doa um elétron faltante para o flúor que é muito eletronegativo. Pela regra do octeto basta apenas um elétron para estabilizar o flúor, e cálcio tem que perder dois elétrons para se estabilizar.	Ligação Química e Propriedades Periódicas	- Eletropositividade - Eletronegatividade - Transferência de elétrons - Formação de cátions/ânions
4	Inadequada	Cálcio => metal Halogênio => ametal Ligação entre os íons		
5	Sem resposta	Questionário em branco.		
6	Sem resposta	Sem resposta.		
7	Inadequada	As ligações entre átomos alcalinos e átomos alcalinos terrosos com halogênios se realiza à partir de uma interação iônica; dado o Cálcio da Família 2A com, por exemplo o Iodo, temos um sal chamado Iodeto de Cálcio. I - Ca - I	Ligação Química	- Caráter iônico/compostos iônicos

Questão 1				
Código do Questionário	Nível de explicação	Registro	Categorias utilizadas	Unidades complementares às categorias
8	Parcialmente adequada	Um é metal (cálcio) outro ametal (halogênio), um tem tendência de receber outro de perder elétrons, por isso a reação ocorre. O cálcio é o metal com tendência de perder elétrons e o halogênio tem tendência de receber. Desta forma ocorre uma ligação iônica entre as duas espécies.	Ligação Química	- Transferência de elétrons - Formação de cátions/ânions
9	Parcialmente adequada	O cálcio é um metal e o halogênio um ametal. O halogênio tem tendência de receber elétrons. Ocorre ligação iônica.	Ligação Química	- Transferência de elétrons - Formação de cátions/ânions
10	Parcialmente adequada	O cálcio é um metal e o halogênio é considerado um ametal. Esse tipo de ligação é considerado a Ligação Iônica, que se dá através da doação de elétrons entre os participantes.	Ligação Química	- Transferência de elétrons - Caráter iônico/compostos iônicos
11	Parcialmente adequada	O Cálcio está localizado na família 2A da Tabela periódica é classificado como metal e tem a tendência de doar elétrons. Já o halogênio está localizado na família VIIA e recebe 1 elétron e é um ametal. Ambos se ligam e formam uma ligação iônica.	Ligação Química	- Transferência de elétrons - Formação de cátions/ânions
12	Inadequada	O cálcio é deficiente eletronicamente (2+) Qualquer halogênio é carregado eletronicamente (1-) Para cada um deles se estabilizar, ocorre a reação entre eles. A estabilidade é conseguida pela regra do octeto. Considerando X para qualquer halogênio: $X \Rightarrow Ca \Leftarrow X$	Ligação Química	- Formação de cátions/ânions
13	Parcialmente adequada	Cálcio é um metal alcalino terroso, e assim sendo é eletropositivo. Já o halogênio é um ametal (eletronegativo). Entre um metal e um ametal temos a formação de uma ligação majoritariamente iônica.	Ligação Química e Propriedades Periódicas	- Eletronegatividade - Eletropositividade - Formação de cátions/ânions - Caráter iônico/compostos iônicos

Questão 1				
Código do Questionário	Nível de explicação	Registro	Categorias utilizadas	Unidades complementares às categorias
14	Inadequada	Pode-se explicar pela Teoria da Ligação Iônica.		
15	Inadequada	Ligação iônica, pela diferença de eletronegatividade.	Ligação Química e Propriedades Periódicas	- Eletronegatividade
16	Parcialmente adequada	As ligações que se formam entre o cálcio e os halogênios são ligações do tipo iônica, pois os halogênios são eletronegativos e o cálcio é eletropositivo.	Ligação Química e Propriedades Periódicas	- Eletronegatividade - Eletropositividade - Formação de cátions/ânions - Caráter iônico/compostos iônicos
17	Parcialmente adequada	As ligações entre o cálcio e os átomos de halogênios acontecem devido à diferença de eletronegatividade entre esses elementos constituindo ligações prevalentemente iônicas.	Ligação Química e Propriedades Periódicas	- Eletronegatividade - Caráter iônico/compostos iônicos
18	Inadequada	São formadas ligações fortes devido a grande diferença de eletronegatividade. Ligação iônica.	Ligação Química e Propriedades Periódicas	- Eletronegatividade
19	Inadequada	iônica.		
20	Inadequada	O cálcio é um metal da família 2A, também conhecida também como metais alcalinos terrosos. Já os halogênios são ametais. Quanto temos a ligação de um metal mais um ametal temos uma ligação iônica. A ligação iônica é caracterizada com uma doação de elétrons do metal para o ametal.	Ligação Química	- Transferência de elétrons
21	Inadequada	São ligações fortes porque são elementos com grande diferença de eletronegatividade. Assim, as ligações químicas esperadas são as ligações mais fortes, sendo essas ligações iônicas.	Ligação Química e Propriedades Periódicas	- Eletronegatividade

<u>Questão 1</u>				
Código do Questionário	Nível de explicação	Registro	Categorias utilizadas	Unidades complementares às categorias
22	Inadequada	Por diferença de eletronegatividade entre os elementos forma-se ligações iônicas. Iônica ou covalente.		
23	Parcialmente adequada	Os halogênios possuem sua camada de valência com sete elétrons e o cálcio apenas 2. Os dois para tornar-se estáveis necessitam completar 8 elétrons na camada de valência (regra do octeto) por ela "regra do octeto" o cálcio deveria perder dois elétrons para tornar-se estável e o halogênio ganhar um, então o cálcio "doa" seus elétrons por meio de um ligação que em sua maior parte iônica para dois átomos de bromo formando CaBr_2 . Podemos esperar ligações iônicas e covalentes, no caso a ligação é 95% iônica e 5% covalente.	Ligação Química	- Transferência de elétrons - Formação de cátions/ânions
24	Parcialmente adequada	$\text{Ca}^{2+} / \text{X}^- \Rightarrow \text{CaX}_2$ Ligação iônica Os halogênios apresentam 7 elétrons na camada de valência, já o cálcio apenas dois, portanto para completar o octeto o cálcio doa seus dois elétrons.	Ligação Química	- Transferência de elétrons - Formação de cátions/ânions
25	Parcialmente adequada	A ligação entre Ca^{2+} e halogênios se explica pela diferença de eletronegatividade entre os átomos, ligação do tipo iônica/eletrostática.	Ligação Química e Propriedades Periódicas	- Eletronegatividade - Caráter iônico/compostos iônicos
26	Inadequada	Ligação iônica cálcio - halogênio, pela diferença de eletronegatividade.	Ligação Química e Propriedades Periódicas	- Eletronegatividade

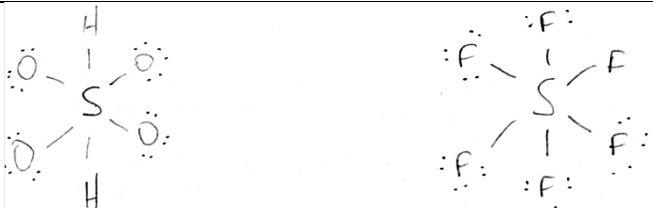
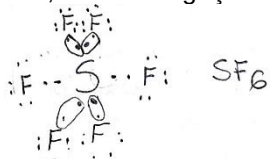
Questão 1				
Código do Questionário	Nível de explicação	Registro	Categorias utilizadas	Unidades complementares às categorias
27	Parcialmente adequada	Diferença de eletronegatividade. O Cálcio é um elemento eletropositivo e é cloro eletronegativo. A ligação é do tipo eletrostática, ligação iônica.	Ligação Química e Propriedades Periódicas	- Eletronegatividade - Eletropositividade - Formação de cátions/ânions - Caráter iônico/compostos iônicos
28	Inadequada	Diferença de valores de eletronegatividade. Ligação iônica.	Ligação Química e Propriedades Periódicas	- Eletronegatividade
29	Parcialmente adequada	As ligações que ocorrem entre um átomo de Ca^{2+} e X^{-1} é uma ligação do tipo iônica.	Ligação Química	- Formação de cátions/ânions - Caráter iônico/compostos iônicos
30	Inadequada	As ligações químicas que ocorrem entre um átomo de cálcio e um átomo de halogênio é denominada de ligação iônica e ocorre devido a diferença de eletronegatividade entre o átomos de cálcio e o átomo de halogênio.	Ligação Química e Propriedades Periódicas	- Eletronegatividade
31	Parcialmente adequada	A ligação que ocorre entre o Cálcio e o halogênio é de caráter iônico devido sua grande diferença na eletronegatividade entre esses dois elementos.	Ligação Química e Propriedades Periódicas	- Eletronegatividade - Caráter iônico/compostos iônicos
32	Parcialmente adequada	Devido a tendência do cálcio perder elétrons e dos halogênios em ganhar elétrons, ambos possuem essa tendência para obedecer a regra do octeto. E por possuírem uma grande diferença de eletronegatividade deve-se esperar que eles formem ligações iônicas.	Ligação Química e Propriedades Periódicas	- Eletronegatividade - Formação de cátions/ânions

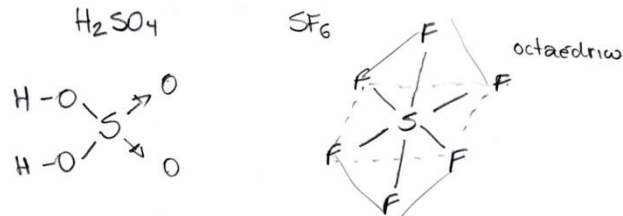
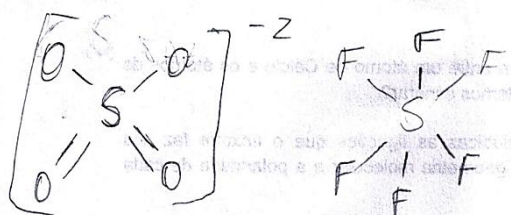
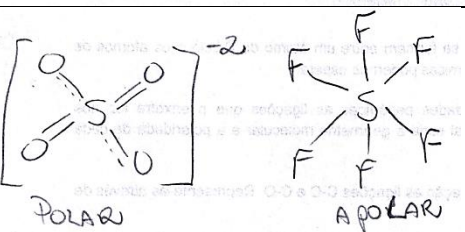
Questão 1				
Código do Questionário	Nível de explicação	Registro	Categorias utilizadas	Unidades complementares às categorias
33	Inadequada	Através das diferenças de eletronegatividade, o Cálcio é um metal alcalino terroso e são os menos eletronegativos já os Halogênios são os mais eletronegativos, fazendo com que desta forma a única ligação possível dentre eles é a ligação iônica.	Ligação Química e Propriedades Periódicas	- Eletronegatividade
34	Inadequada	A ligação entre o Cálcio e os halogênios é a diferença de eletronegatividade entre ambos. A ligação esperada é a iônica.	Ligação Química e Propriedades Periódicas	- Eletronegatividade
35	Inadequada	A ligação que se forma entre um átomo de cálcio e entre os halogênios é explicada pela diferença de eletronegatividade. Logo podemos esperar uma ligação iônica.	Ligação Química e Propriedades Periódicas	- Eletronegatividade
36	Parcialmente adequada	Pela diferença de eletronegatividade e a configuração eletrônica há uma aproximação dos átomos com características iônicas pois o cálcio tem terminação $4s^2$, a forma mais fácil de entrar no octeto é perdendo dois elétrons ficando com oxidação $2+$ e o elemento da família do halogênio tem configuração p^5 que entra na regra do octeto recebendo um elétron ficando com estado de oxidação $1-$. Caracteriza-se então duas ligações iônicas, ou seja, dois halogênios ligados a um cálcio.	Ligação Química e Propriedades Periódicas	- Eletronegatividade - Transferência de elétrons - Formação de cátions/ânions - Caráter iônico/compostos iônicos
37	Inadequada	As diferenças de eletronegatividade explicam as ligações. Podemos esperar ligações iônicas.	Ligação Química e Propriedades Periódicas	- Eletronegatividade

Questão 1				
Código do Questionário	Nível de explicação	Registro	Categorias utilizadas	Unidades complementares às categorias
38	Parcialmente adequada	Através da eletronegatividade. O cálcio é eletropositivo e o halogênio eletronegativo, assim eles tendem a fazer ligações afim de neutralizar as cargas formando uma ligação de caráter iônico.	Ligação Química e Propriedades Periódicas	- Eletronegatividade - Eletropositividade - Formação de cátions/ânions - Caráter iônico/compostos iônicos
39	Sem resposta	Sem resposta.		
40	Inadequada	Ligações Iônicas.		
41	Inadequada	Ligações Iônicas.		
42	Inadequada	Ligações Iônicas, pois Ca família IIA, doa elétrons.		
43	Inadequada	Ligação Iônica.		
44	Inadequada	Ligação Iônica.		
45	Parcialmente adequada	São ligações iônicas formada por um metal (Ca^{2+}) com um não metal monovalente (X^-) que dá a forma CaX_2 . Os elétrons de valência do cálcio preenchem os orbitais livres dos halogênios.	Ligação Química	- Transferência de elétrons - Formação de cátions/ânions
46	Parcialmente adequada	É uma ligação iônica, onde os átomos de halogênios "retira" um par de elétrons do Cálcio.	Ligação Química	- Transferência de elétrons - Formação de cátions/ânions
47	Parcialmente adequada	Os átomos de halogênios retiram elétrons do Ca, formando ligações iônicas.	Ligação Química	- Transferência de elétrons - Formação de cátions/ânions
48	Parcialmente adequada	CaX_2 Ligações iônicas formadas por um metal Ca^{2+} e um não metal monovalente X^- . Os elétrons do não metal monovalente (halogênio) atraem o átomo do metal do Ca^{2+} que reagem até formarem uma ligação estável.	Ligação Química	- Transferência de elétrons - Formação de cátions/ânions

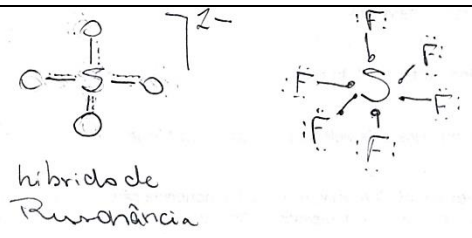
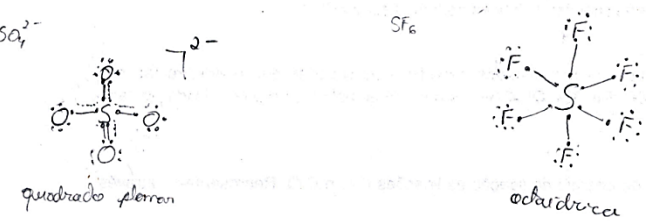
Questão 1				
Código do Questionário	Nível de explicação	Registro	Categorias utilizadas	Unidades complementares às categorias
49	Parcialmente adequada	A nuvem eletrônica do halogênio, é em relação ao tamanho do átomo, bem maior que a do cátion e isto faz com que haja também uma aproximação, devido as diferenças de cargas que tem grande influência da eletronegatividade.	Ligação Química e Propriedades Periódicas	- Eletronegatividade - Formação de cátions/ânions
50	Sem resposta	Sem resposta.		
51	Sem resposta	Sem resposta.		
52	Inadequada	Devido a diferença de eletronegatividade, ligação iônica.	Ligação Química e Propriedades Periódicas	- Eletronegatividade
53	Sem resposta	Sem resposta.		
54	Inadequada	Geometria linear, ângulo de 180°, é uma ligação covalente, pois o cloro é bastante eletronegativo, já o cálcio tem tendência de perder elétrons.		
55	Sem resposta	Sem resposta.		
56	Sem resposta	Sem resposta.		
57	Inadequada	É uma interação eletrostática.		
58	Inadequada	Ca (20 elétrons): $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2$ A ligação ocorre devido à regra do octeto, o cálcio precisa perder 2 elétrons para se estabilizar enquanto o cloro precisa ganhar 1 elétron.	Ligação Química	- Formação de cátions/ânions

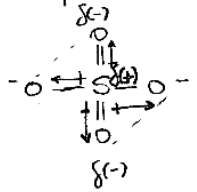
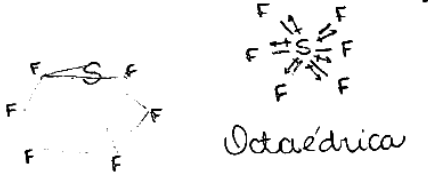
<u>Questão 1</u>				
Código do Questionário	Nível de explicação	Registro	Categorias utilizadas	Unidades complementares às categorias
59	Parcialmente adequada	Ca => grupo 2 Halogênio => grupo 17 CaCl ₂ Cl - Ca - Cl O cálcio é um metal e o cloro é um não-metal, a ligação entre eles é iônica, ou seja, eles são unidos por uma interação eletrostática em que o cálcio irá ceder os elétrons para que o halogênio que ele se ligue fique estável.	Ligação Química	- Transferência de elétrons - Formação de cátions/ânions - Caráter iônico/compostos iônicos
60	Sem resposta	Sem resposta.		
61	Inadequada	O cálcio tem sua camada de valência preenchida, o Cl ⁻ tem a falta de um elétron para tornar-se estável. Sendo assim a ligação é covalente, pois o cálcio compartilha seus elétrons. A geometria é linear, pois o cálcio não é eletronegativo, não tencionando o cloro.		

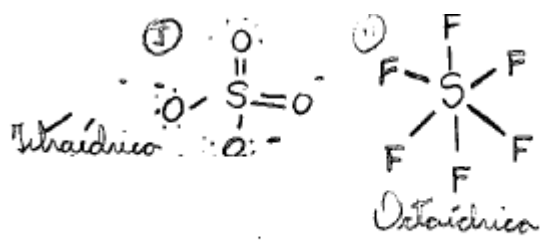
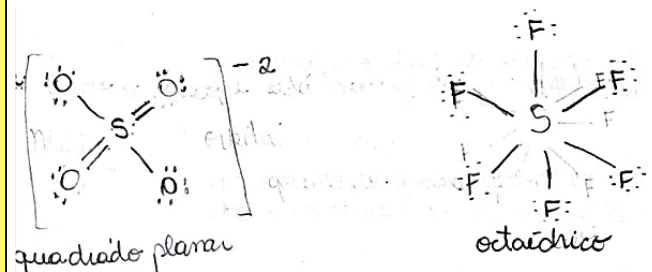
Questão 2				
Código do Questionário	Nível de explicação	Registro	Categorias utilizadas	Unidades complementares às categorias
6	Inadequada			
7	Inadequada	Em ambos os casos, o fator periódico mais determinante é a relação de eletronegatividade. Ela determina qual o comportamento da molécula. No caso de H₂SO₄, podemos observar que o oxigênio é mais eletronegativo que o enxofre o que faz com que o número de oxidação do enxofre seja +6, o que pode ser também observado na ligação com o F. As ligações entre S-F são mais fortes que as ligações S-O, por causa da eletronegatividade.	Propriedades periódicas Polaridade	- Diferença de eletronegatividade
8	Sem resposta	Sem resposta		
9	Sem resposta	Sem resposta		
10	Sem resposta	Sem resposta		
11	Inadequada	O enxofre tem 6e⁻ na camada de valência, localizando na família VIA, faz duas ligações para se estabilizar. 	Geometria molecular	- Domínio de elétrons

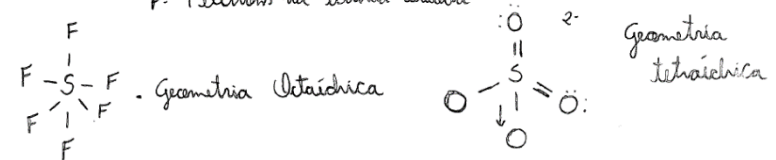
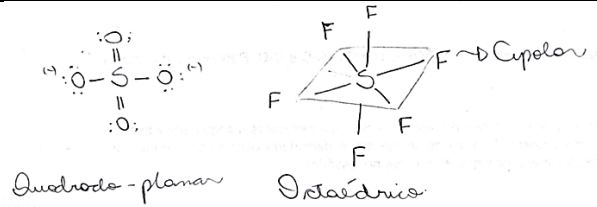
Questão 2				
Código do Questionário	Nível de explicação	Registro	Categorias utilizadas	Unidades complementares às categorias
12	Inadequada	SF ₆ O Fluor é um Halogênio carregado eletronegativamente (-1) O enxofre é um calcogênio carregado (-2)	Propriedades periódicas Polaridade	- Diferença de Eletronegatividade
13	Parcialmente adequada		Geometria molecular	- Ligações simples/duplas - Caracterização da geometria
14	Inadequada		Geometria molecular	- Ligações simples/duplas
15	Parcialmente adequada	 Como o S está no grupo 16 e período 3 ele faz 6 ligações	Geometria molecular Propriedades Periódicas Polaridade	- Ligações simples/duplas - Expansão da regra do octeto. - Caráter polar/apolar

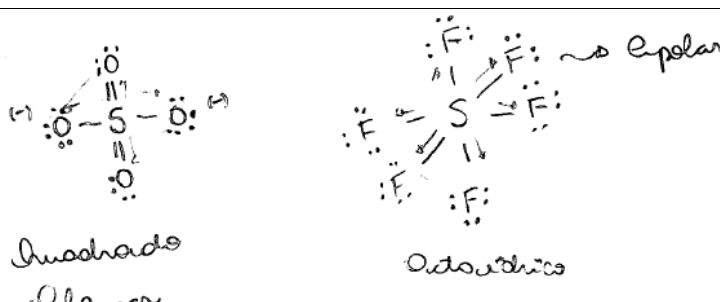
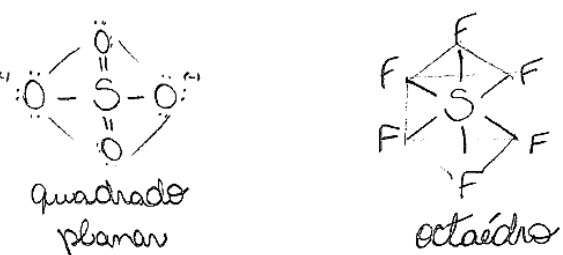
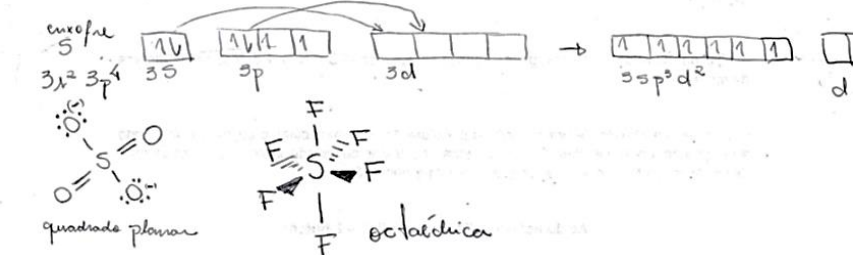
Questão 2				
Código do Questionário	Nível de explicação	Registro	Categorias utilizadas	Unidades complementares às categorias
16	Parcialmente adequada	SO42- tem quatro ligantes e dois pares de elétrons livres então a geometria é quadrado plana. Já o SF6 apresenta geometria octaédrica sendo o SO42- mais polar por causa do composto apresentar carga 2-	Geometria molecular Propriedades Periódicas Polaridade	- Domínio de elétrons - Caracterização da geometria - Caráter polar/apolar.
17	Parcialmente adequada	SO42- possui a geometria quadrado planar. O SF6 possui geometria octaédrica. O enxofre possui orbitais d e pode fazer 6 ligações, ou possui 3 pares de elétrons, sejam ligantes ou anti-ligantes. SO42- possui maior polaridade que SF6 devido aos elétrons não ligantes.	Geometria molecular Propriedades Periódicas Polaridade	- Domínio de elétrons - Caracterização da geometria - Caráter polar/apolar
18	Parcialmente adequada	SO42- quadrado- polar SF6 octaédrico-apolar	Geometria molecular Polaridade	- Caracterização da geometria - Caráter polar/apolar
19	Parcialmente adequada	SO42- quadrado- polar SF6 octaédrico-apolar	Geometria molecular Polaridade	- Caracterização da geometria - Caráter polar/apolar
20	Parcialmente adequada	Que eu me lembre, o enxofre não segue a regra do octeto: pois ele sofre expansão. As ligações entre o S e o O e o S e o F são ligações covalentes e dativas. A geometria do SO42- é plana trigonal (dúvida) e do SF6 é bipirâmide trigonal (dúvida). Em relação à polaridade o SO42- é apolar e o Sf6 também.	Geometria molecular Polaridade	- Expansão da regra do octeto. - Caracterização da geometria - Caráter polar/apolar

Questão 2				
Código do Questionário	Nível de explicação	Registro	Categorias utilizadas	Unidades complementares às categorias
21	Parcialmente adequada	O Enxofre possui 5 elétrons na camada de valência. com isso apenas duas ligações satisfazem a regra do octeto. Porém, nesses dois compostos citados o enxofre tem o chamado “octeto expandido”, isso é devido a hibridização de seus orbitais. O SO ₄ ²⁻ possui geometria quadrado planar, pois possui dois pares de elétrons não ligantes, um em cada extremo da parte axial da estrutura octédrica. No entanto o SF ₆ possui geometria octaédrica. O SO ₄ ²⁻ é mais polar pois possui pares de elétrons livres.	Geometria molecular Polaridade	- Domínio de elétrons - Expansão da regra do octeto. - Caracterização da geometria - Caráter polar/apolar
22	Parcialmente adequada	SO ₄ ²⁻ tetraédrico, ligação covalente, possui tamanho e eletronegatividade semelhante; polar. SF ₆ , octaédrico, ligação iônica, diferença de tamanho e o F é muito eletronegativo; polar.	Geometria molecular Propriedades Periódicas Polaridade	- Diferença de Eletronegatividade - Caracterização da geometria - Caráter polar/apolar
23	Parcialmente adequada	 SO₄²⁻ - Quadrado planar. SF₆ - Bipirâmide quadrada ou octaédrico	Geometria molecular	- Ligações simples/duplas - Expansão da regra do octeto
24	Parcialmente adequada		Geometria molecular	- Ligações simples/duplas - Expansão da regra do octeto - Caracterização da geometria

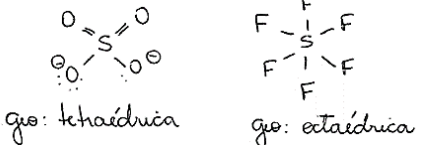
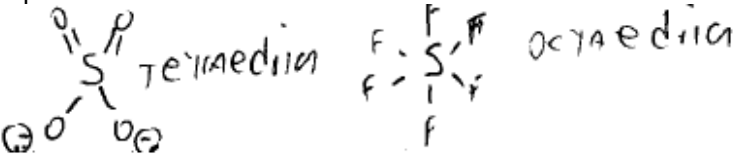
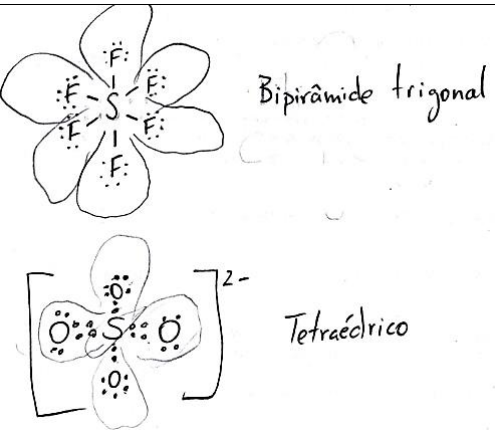
Questão 2				
Código do Questionário	Nível de explicação	Registro	Categorias utilizadas	Unidades complementares às categorias
25	Parcialmente adequada	O enxofre, como está no terceiro período, pode hibridizar com os orbitais do oxigênio formando a geometria quadrado planar no composto SO₄²⁻ devido à esta expansão dos orbitais "d".  $S(16) = 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$ $O(8) = 1s^2 2s^2 2p^4$  Octaédrica	Geometria molecular Propriedades Periódicas Polaridade	- Ligações simples/duplas - Diferença de Eletronegatividade - Expansão da regra do octeto. - Caracterização da geometria
26	Inadequada	SF ₆ - Octaédrico e SO ₄ ²⁻ - Tetraédrico	Geometria molecular	- Caracterização da geometria.
27	Inadequada	(Ametais) Ligações covalentes. SF ₆ Geometria Octaédrica e SO ₄ ²⁻ Geometria Tetraédrica		
28	Parcialmente adequada	Orbitais d no enxofre, poderia hibridizar e formar ligações covalentes além das permitidas no orbital p. Geometria octaédrica para SF ₆ e quadrado planar para o SO ₄ ²⁻ . O SF ₆ seria apolar e o SO ₄ ²⁻ polar.	Geometria molecular Polaridade	- Expansão da regra do octeto. - Caracterização da geometria - Caráter polar/apolar

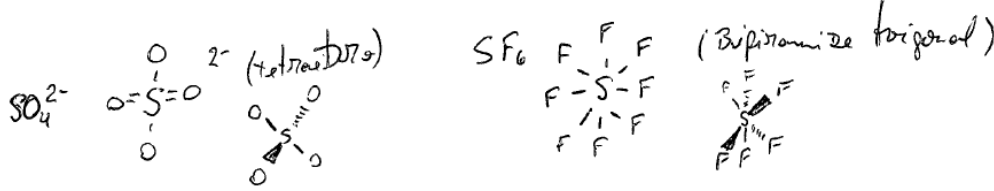
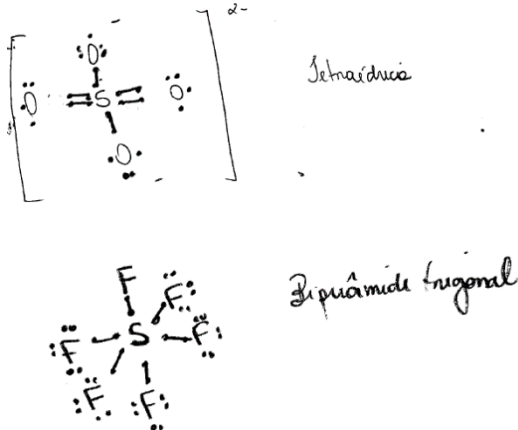
Questão 2				
Código do Questionário	Nível de explicação	Registro	Categorias utilizadas	Unidades complementares às categorias
29	Parcialmente adequada	SO₄²⁻ - Ligação do tipo covalente, ligação polar. SF₆ - Ligação do tipo iônica. 	Geometria molecular Propriedades Periódicas Polaridade	- Ligações simples/duplas - Caracterização da geometria - Caráter polar/apolar
30	Parcialmente adequada		Geometria molecular	- Ligações simples/duplas - Caracterização da geometria

Questão 2				
Código do Questionário	Nível de explicação	Registro	Categorias utilizadas	Unidades complementares às categorias
31	Parcialmente adequada	S: 6 elétrons na última camada F: 7 elétrons na última camada  O oxigênio e o flúor são mais eletronegativos, por isso a densidade eletrônica está se direcionando em sua direção seguindo os vetores indicando assim uma diferença de polaridade, tornando a molécula polar.	Geometria molecular Propriedades Periódicas Polaridade	- Ligações simples/duplas - Diferença de Eletronegatividade - Caracterização da geometria - Caráter polar/apolar
32	Parcialmente adequada	Na molécula de SO₄²⁻: O enxofre possui 6e- em sua camada de valência. Os e- dos orbitais 3p ganham energia, se excitam, entrando em um estado de hibridização e necessitam de mais 4 e- para ter os orbitais totalmente preenchidos. Que é compartilhado com os oxigênios. 1 e- de cada oxigênio. Na molécula SF₆: Já na molécula de SF₆, há uma maior excitação dos e-, e os orbitais 3s e 3p entram em hibridização junto com 3d, necessitando de 6e- para preencher totalmente seus orbitais. Esses e- provêm do flúor. Um e- de cada 6 flúor.	Geometria molecular	- Domínio de elétrons - Expansão da regra do octeto.
33	Parcialmente adequada	 Quadrado-plano Octaédrico	Geometria molecular Propriedades Periódicas Polaridade	- Ligações simples/duplas - Caracterização da geometria - Caráter polar/apolar

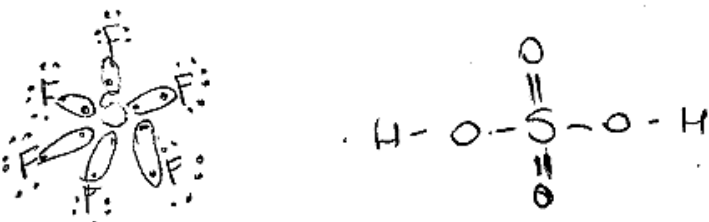
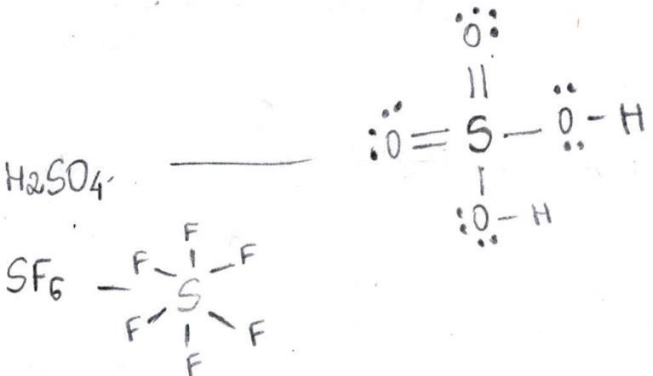
Questão 2				
Código do Questionário	Nível de explicação	Registro	Categorias utilizadas	Unidades complementares às categorias
34	Parcialmente adequada	 Quadrado Planar Octaédrico	Geometria molecular Propriedades Periódicas Polaridade	- Ligações simples/duplas - Diferença de Eletronegatividade - Caracterização da geometria - Caráter polar/apolar
35	Parcialmente adequada	 Quadrado planar octaédrico	Geometria molecular Propriedades Periódicas	- Ligações simples/duplas - Diferença de Eletronegatividade - Caracterização da geometria
36	Parcialmente adequada	 Quadrado planar octaédrico	Geometria molecular Propriedades Periódicas Polaridade	- Ligações simples/duplas - Diferença de Eletronegatividade - Expansão da regra do octeto - Caracterização da geometria

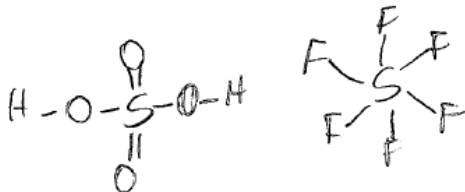
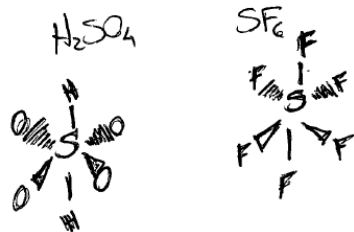
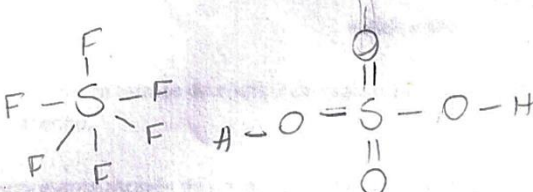
Questão 2				
Código do Questionário	Nível de explicação	Registro	Categorias utilizadas	Unidades complementares às categorias
37	Parcialmente adequada	Há hibridização dos orbitais d nos compostos. SO ₄ ²⁻ - geometria apolar. SF ₆ - geometria octaédrica e é polar.	Geometria molecular Polaridade	- Expansão da regra do octeto. - Caracterização da geometria. - Caráter polar/apolar
38	Parcialmente adequada	SF ₆ - geometria tetraédrica e possui caráter apolar. SO ₄ ²⁻ - geometria quadrática planar e caráter apolar. 	Geometria molecular Polaridade	- Ligações simples/duplas - Caráter polar/apolar
39	Sem resposta	Sem resposta		
40	Inadequada	Ligações covalentes. SO ₄ ²⁻ - Apolar; SF ₆ - polar		
41	Parcialmente adequada	SF ₆ - octaédrico apolar e SO ₄ ²⁻ - Polar Tetraédrico	Geometria molecular Polaridade	- Caracterização da geometria. - Caráter polar/apolar
42	Parcialmente adequada	Ligação covalente dativa. SO ₄ tetraédrica polar; SF ₆ octaédrica apolar	Geometria molecular Polaridade	- Caracterização da geometria. - Caráter polar/apolar

Questão 2				
Código do Questionário	Nível de explicação	Registro	Categorias utilizadas	Unidades complementares às categorias
43	Parcialmente adequada	No caso do enxofre, ele sofre expansão em sua camada de valência (orbitais d)  ge: tetraédrica ge: octaédrica	Geometria molecular Propriedades Periódicas	- Ligações simples/duplas - Expansão da regra do octeto. - Caracterização da geometria
44	Parcialmente adequada	Expansão de orbitais d. 	Geometria molecular Propriedades Periódicas Polaridade	- Ligações simples/duplas - Expansão da regra do octeto. - Caracterização da geometria
45	Parcialmente adequada	 Bipirâmide trigonal Tetraédrico	Geometria molecular	- Ligações simples/duplas - Caracterização da geometria

Questão 2				
Código do Questionário	Nível de explicação	Registro	Categorias utilizadas	Unidades complementares às categorias
46	Inadequada			
47	Parcialmente adequada	SO4 ²⁻ - Tetraédrico - polar; SF6 - Bipirâmide trigonal - apolar.	Geometria molecular	- Caracterização da geometria - Caráter polar/apolar
48	Parcialmente adequada		Geometria molecular Propriedades Periódicas Polaridade	- Ligações simples/duplas - Diferença de Eletronegatividade - Caracterização da geometria

Questão 2				
Código do Questionário	Nível de explicação	Registro	Categorias utilizadas	Unidades complementares às categorias
49	Parcialmente adequada	O átomo de enxofre possui em sua configuração eletrônica a camada d semi-preenchida o que possibilita assumir geometrias tetraédricas e octaédricas podendo formar várias ligações com compostos principalmente altamente eletronegativos como o caso do flúor, e também as nuvens eletrônicas dos halogênios ajustam-se ao enxofre devido ao baixo índice de interferência da nuvem eletrônica do mesmo	Geometria molecular Propriedades Periódicas Polaridade	- Diferença de Eletronegatividade - Domínio de elétrons - Caracterização da geometria
50	Parcialmente adequada	H_2SO_4 16. $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4 3d^0$ SF_6 16. $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4 3d^0$	Geometria molecular	- Ligações simples/duplas - Expansão da regra do octeto.
51	Inadequada	O enxofre possui camada de valência com subnível p e assim expande seus orbitais.		
52	Inadequada	O enxofre pode expandir a camada de valência.		
53	Inadequada	Em ambos os casos ocorre ligações covalente.		

Questão 2				
Código do Questionário	Nível de explicação	Registro	Categorias utilizadas	Unidades complementares às categorias
54	Parcialmente adequada	 Em ambos os casos ocorre ligações covalente. Observa-se que o S consegue expandir sua camada de valência, conseguindo fazer mais ligações.	Geometria molecular	- Ligações simples/duplas - Expansão da regra do octeto.
55	Inadequada	O enxofre é da Família 6A, portanto faz 6 ligações para ficar estável, podendo expandir a camada de valência.		
56	Sem resposta	Sem resposta		
57	Parcialmente adequada	 O que explica a possibilidade dessas estruturas existirem nessa forma é a Teoria do Orbital Molecular (TOM).	Geometria molecular	- Ligações simples/duplas - Expansão da regra do octeto.
58	Sem resposta	Sem resposta		

Questão 2				
Código do Questionário	Nível de explicação	Registro	Categorias utilizadas	Unidades complementares às categorias
59	Parcialmente adequada	 O enxofre sofre hibridização para poder realizar essas ligações ele possui o orbital p incompleto, o que faz com que ele hibridize do s para o p	Geometria molecular	- Ligações simples/duplas - Expansão da regra do octeto.
60	Inadequada	 A energia de ionização do S é menor que a energia do F e do S. O F por ser da família 7A é ainda mais eletronegativo que o O. O mesmo ocorre com a afinidade desses elementos.		
61	Parcialmente adequada	 O enxofre se encontra no grupo 16, tendo 6 e- na camada de valência. No orbital s e p, tendo dois orbitais incompletos. As ligações acima são estruturas de Lewis. O enxofre é um elemento bem eletronegativo.	Geometria molecular Propriedades Periódicas Polaridade	- Diferença de Eletronegatividade - Ligações simples/duplas - Domínio de elétrons

APÊNDICE E – TABELA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE ALUSÃO AS UNIDADES COMPLEMENTARES DE IDENTIFICAÇÃO DOS CONCEITOS (RESPOSTAS PARCIALMENTE ADEQUADAS NA PRIMEIRA ANÁLISE.

Questão 1						
Identificação do questionário	<i>Categorias: Ligação Química e Propriedades Periódicas</i>					
	Unidades complementares às categorias:					
	<i>Eletronegatividade</i>	<i>Eletropositividade</i>	<i>Transferência de elétrons</i>	<i>Formação de cátions/ânions</i>	<i>Caráter iônico/compostos iônicos</i>	<i>Retículo Cristalino</i>
2			X	X		33,4
3	X	X	X	X		66,8
7					X	16,7
8			X	X		33,4
9			X	X		33,4
10			X		X	33,4
11			X	X		33,4
12				X		16,7
13	X	X		X	X	66,8
15	X					16,7
16	X	X		X	X	66,8
17	X				X	33,4
18	X					16,7
20			X			16,7
21	X					16,7
23			X	X		33,4
24			X	X		33,4
25	X				X	33,4
26	X					16,7
27	X	X		X	X	66,8
28	X					16,7
29				X	X	33,4
30	X					16,7
31	X				X	33,4
32	X			X		33,4
33	X					16,7

Questão 1							
Identificação do questionário	Categorias: Ligação Química e Propriedades Periódicas						Índice de alusão as unidades complementares de identificação ao conceito:
	Unidades complementares às categorias:						
	Eletronegatividade	Eletropositividade	Transferência de elétrons	Formação de cátions/ânions	Caráter iônico/compostos iônicos	Retículo Cristalino	
34	X						16,7
35	X						16,7
36	X		X	X	X		66,8
37	X						16,7
38	X	X		X	X		66,8
45			X	X			33,4
46			X	X			33,4
47			X	X			33,4
48			X	X			33,4
49	X			X			33,4
52	X						16,7
58				X			16,7
59			X	X	X		50,1

Questão 2							
Identificação do questionário	Categorias: Geometria molecular, Propriedades Periódicas e Polaridade						Índice de alusão as unidades complementares de identificação ao conceito:
	Unidades complementares às categorias:						
	Diferença de eletronegatividade	Ligações simples/duplas	Domínio de elétrons	Expansão da regra do octeto	Caracterização da geometria	Caráter polar/apolar	
3	X	X	X				50,1
7	X						16,7
11			X				16,7
12	X						16,7
13		X			X		33,4
14		X					16,7
15		X		X		X	50,1
16			X		X	X	50,1
17			X		X	X	50,1
18					X	X	33,4
19					X	X	33,4
20				X	X	X	50,1
21			X	X	X	X	66,8
22	X				X	X	50,1
23		X		X			33,4
24		X		X	X		50,1
25	X	X		X	X		66,8
26					X		16,7
28				X	X	X	50,1
29		X			X	X	50,1
30		X			X		33,4
31	X	X			X	X	66,8
32			X	X			33,4
33		X			X	X	50,1
34	X	X			X	X	66,8
35	X	X			X		50,1
36	X	X		X	X		66,8
37				X	X	X	50,1
38		X				X	33,4

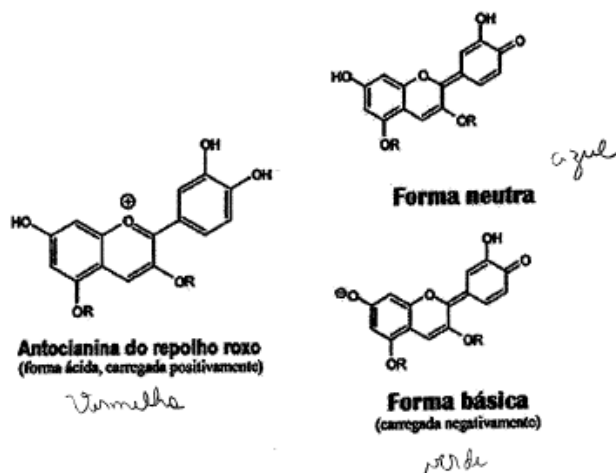
Questão 2							
Identificação do questionário	Categorias: Geometria molecular, Propriedades Periódicas e Polaridade Unidades complementares às categorias:						Índice de alusão as unidades complementares de identificação ao conceito:
	Diferença de eletronegatividade	Ligações simples/duplas	Domínio de elétrons	Expansão da regra do octeto	Caracterização da geometria	Caráter polar/apolar	
41					X	X	33,4
42					X	X	33,4
43		X		X	X		50,1
44		X		X	X		50,1
45		X			X		33,4
47					X	X	33,4
48	X	X			X		50,1
49	X		X		X		50,1
50		X		X			33,4
54		X		X			33,4
57		X		X			33,4
59		X		X			33,4
61	X	X	X				50,1

APÊNDICE F – EXEMPLOS DE QUESTIONÁRIOS RESPONDIDOS PELOS PARTICIPANTES

1. Como você explica as ligações que se formam entre um átomo de Cálcio e os átomos de halogênios? Quais tipos de ligações químicas podemos esperar?
2. Explique utilizando apenas propriedades periódicas as ligações que o enxofre faz nos seguintes compostos: SO_4^{2-} e SF_6 . Qual seria a geometria molecular e a polaridade de cada espécie?
3. Explique em termos de energia de ligação as ligações C-C e C-O. Represente-as através de um desenho.
4. Represente através de um desenho a estrutura das três moléculas a seguir considerando suas geometrias moleculares 3D e as zonas de maior densidade eletrônica de cada uma delas. Acrescente os comentários que você julgar necessários.

Ácido acético – Tricloro acético – 2-butenol

5. Observa-se que o cério reage com água de maneira mais violenta que o sódio. Justifique.
6. Sabe-se que as antocianinas dão indicadores de pH. O repolho roxo e a flor hortênsia são utilizados cotidianamente como indicadores por muitos professores de química para identificar ácidos e bases. As formas destas antocianinas em diferentes pHs são apresentadas abaixo com suas respectivas cores. Justifique em termos de estrutura a diferença destas cores.



Questionário 16

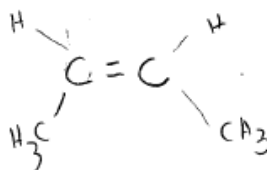
1) As ligações que se formam entre o cálcio e os halogênios são ligações do tipo iônica, pois os halogênios são eletronegativos e o cálcio é eletropositivo.

2) SO_4^{2-} tem quatro ligantes e dois pares de elétrons livres então a geometria é quadrado plano, já o SF_6 apresenta geometria octaédrica. Sendo o SO_4^{2-} mais polar por causa do composto apresentar carga 2-.

3) A energia entre C-O é maior, por conta da grande eletronegatividade do oxigênio.



densidade eletrônica deslocada para o átomo de oxigênio

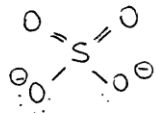


5) Por conta do tamanho do átomo de césio ser muito maior que o átomo de sódio, seus elétrons são mais facilmente "retirados" e assim o césio é mais reativo.

Questionário 43

01) Ligação iônica

02)



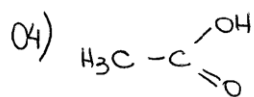
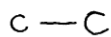
geo: tetraédrica



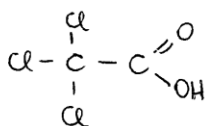
geo: octaédrica

No caso do enxofre,
ele sofre expansão em
sua camada de
valência (orbitais d)

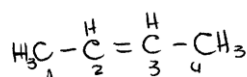
03) A energia de ligação em C-O é mais forte,
pois, o oxigênio é mais eletronegativo. Logo, sua ligação é
menor, tendo menor chance de quebra.



ác. acético



tricloroacético



2-buteno

APENDICE G - APRESENTAÇÃO DAS DISCIPLINAS DA ÁREA DURA DE QUÍMICA JUNTAMENTE COM OS PRÉ-REQUISITOS CONCEITUAIS APONTADOS NESTE ESTUDO PARA O ENSINO DO CONCEITO DE RESSONÂNCIA.

Área	Conteúdo	Pré-requisito conceitual estudado
Química Geral	- INTRODUÇÃO A UM CURSO DE QUÍMICA: A Química como ciência e o método científico; A função social da Química; Noções sobre a história da Química; Os diferentes ramos da Química; Matéria e energia; Substâncias puras misturas; Propriedades físicas. - ÁTOMOS E ELEMENTOS: Evolução dos modelos atômicos; Radiação eletromagnética; Dualidade partícula-onda de De Broglie; Princípio da incerteza de Heisenberg; Equação de Schrödinger, números quânticos e orbitais atômicos; Princípio da exclusão de Pauli e regra de Hund. - PERIODICIDADE QUÍMICA: Leis periódicas - configurações eletrônicas e a tabela periódica dos elementos; Carga nuclear efetiva e blindagem; Propriedades periódicas: raios atômicos e iônicos, energia de ionização, afinidade eletrônica e densidade. - LIGAÇÕES QUÍMICAS: Ligação iônica; Ligação covalente; Forças intermoleculares; Ligação metálica. - EQUAÇÕES QUÍMICAS E ESTEQUIOMETRIA DE REAÇÕES: Tipos de reações químicas em solução aquosa; Reações de precipitação e solubilidade de sais; Reações de neutralização; Reações de oxirredução; Estequiometria de reações e balanceamento de equações químicas. - QUÍMICA NUCLEAR: Aspectos históricos da radioatividade; Padrões de estabilidade nuclear; Transmutações nucleares; Velocidades de decaimento radioativo; Detecção da radioatividade; Variações de energia nas reações nucleares; Fissão e fusão nuclear; Efeitos biológicos da radiação; Datação isotópica. - TERMODINÂMICA QUÍMICA: A termodinâmica e as funções de estado; Energia: tipos, fontes e unidades; Variação da energia em processos físicos, capacidade calorífica e calor específico; Termoquímica, entalpia e calorimetria; Lei de Hess, 1ª lei da termodinâmica; Entropia, 2ª e 3ª lei da termodinâmica; Variações globais na entropia; Energia livre e equilíbrio em processos físicos e químicos. - CINÉTICA QUÍMICA: A concentração e a velocidade de reação; A velocidade instantânea de reação; As leis de velocidade e a ordem de reação; Fatores que controlam a velocidade de uma reação; Teoria de colisões e teoria do complexo ativado; Catalisadores. - EQUILÍBRIOS FÍSICOS: Fases e transição de fase; Solubilidade; Propriedades coligativas. - EQUILÍBRIO QUÍMICO: As reações no equilíbrio; Constantes de equilíbrio; A resposta do equilíbrio às mudanças nas condições; Cálculos envolvendo equilíbrios. - ELETROQUÍMICA: Semi-reações; Balanceamento de equações de oxirredução; Células galvânicas; Eletrolise.	- Ligações Químicas - Hibridização - Propriedades periódicas - Atomística - Uso de Modelos - Introdução da teoria dos orbitais moleculares (orbitais atômicos) - Balanço de cargas

Área	Conteúdo	Pré-requisito conceitual estudado
Química Inorgânica	- <u>REVISÃO SOBRE AS PROPRIEDADES GERAIS DOS ELEMENTOS</u>: Raio atômico e iônico; Energia de ionização; Afinidade eletrônica; Eletronegatividade e caráter metálico; Valências variáveis, estados de oxidação e potenciais padrão de eletrodo. - <u>ESTRUTURA MOLECULAR E TEORIAS DE LIGAÇÃO</u>: A Teoria da Ligação de Valência; Teoria dos Orbitais Moleculares <u>aplicada a moléculas poliatômicas</u>; Estruturas dos sólidos iônicos; Estruturas dos sólidos metálicos; Estruturas dos sólidos covalentes. - <u>HIDROGÊNIO MOLECULAR E HIDRETOS</u>: Estrutura eletrônica e posicionamento na tabela; Abundância e obtenção; Propriedades físicas e químicas; Isótopos; Definições de ácidos e bases. - <u>ELEMENTOS DO BLOCO s – OS GRUPOS 1 E 2 (METAIS ALCALINOS E ALCALINO-TERROSOS)</u>: Introdução, ocorrência e abundância; Obtenção dos metais; Aplicações dos metais e de seus compostos; <u>Estrutura e tamanho dos átomos e íons</u>; <u>Propriedades periódicas dos grupos</u>; Ciclo de Born-Haber e a formação e compostos iônicos; Estrutura cristalina dos metais e dureza; Propriedades gerais; Principais compostos; Solubilidade e hidratação; Compostos organometálicos; Importância Biológica; <u>Ligação policêntrica em moléculas com deficiência de elétrons</u>. - <u>ELEMENTOS DO BLOCO p (GRUPOS 13, 14, 15, 16 e 17)</u>: Introdução, ocorrência e abundância; Obtenção e aplicações dos elementos; <u>Propriedades periódicas dos grupos</u>; <u>Propriedades gerais dos elementos</u> e alotropia; Reatividade e principais compostos; Compostos organometálicos; <u>Ligação policêntrica em moléculas com deficiência de elétrons</u>. - <u>O GASES NOBRES (GRUPO 18)</u>: Configurações eletrônicas; Ocorrência e obtenção dos elementos; Aplicações dos elementos; Propriedades físicas; Propriedades químicas; Química do Xenônio. - <u>HISTÓRIA DA QUÍMICA DE COMPOSTOS DE COORDENAÇÃO</u>: Introdução; História do desenvolvimento; Nomenclatura. - <u>A NATUREZA DA LIGAÇÃO COORDENADA</u>: A <u>ligação por pares de elétrons</u>; Número atômico efetivo; Teoria de ligação de valência; Teoria eletrostática do campo cristalino; Teoria do orbital molecular. - <u>ESTEREOQUÍMICA DOS COMPOSTOS DE COORDENAÇÃO</u>: Reações de substituição em meio aquoso; Reações de substituição em solventes não aquosos; Reações de substituição na ausência de solventes; Dissociação térmica de sólidos; Síntese fotoquímica; Reações de oxidação-redução; Reações de substituição sem quebra de ligações metal-ligante; O efeito Trans; Sínteses e preparações de isômeros cis-trans. - <u>ESTABILIDADE DOS ÍONS COMPLEXOS</u>: Constantes de estabilidade e de instabilidade; Fatores que influenciam a estabilidade; Estabilização de estados de oxidação pouco frequentes; Determinação de constantes de estabilidade. - <u>CINÉTICA E MECANISMOS DAS REAÇÕES</u>: Velocidade de reação, Lei de velocidade e colisões efetivas; Compostos inertes e lábeis; Mecanismos de reações de substituição; <u>Reações de substituição em complexos octaédricos</u>; <u>Reações de substituição em complexos quadrados planares</u>; Mecanismos para reações de oxidação-redução. <u>QUÍMICA DE COMPOSTOS ORGANOMETÁLICOS–UMA INTRODUÇÃO</u>: Propriedades de compostos organometálicos e regra dos 18 elétrons; Reações envolvendo compostos organometálicos; Catálise por compostos organometálicos.	- Propriedades periódicas - Teoria dos Orbitais Moleculares - Deslocalização de elétrons - Estabilidade dos compostos - Geometria molecular - Uso de Modelos - Teoria de acidez e basicidade

Área	Conteúdo	Pré-requisito conceitual estudado
Química Computacional	- Introdução a Química Computacional; - <u>Geometria Molecular e Coordenadas</u> - Vibrações de Moléculas diatômicas - <u>Orbitais Atômicos</u> - <u>Potencial de Ionização e Afinidade Eletrônica</u> - <u>Teoria de Hückel para os Orbitais Moleculares</u> - <u>Otimização de Geometrias Moleculares</u> - Termoquímica - Conceitos básicos de Dinâmica Molecular - Software disponível para a Química Computacional	- Geometria molecular - Teoria dos Orbitais Moleculares - Propriedades periódicas
Química Analítica Qualitativa	- INTRODUÇÃO: História da análise qualitativa; Classificação dos cátions e ânions em grupos analíticos. - Equilíbrio Químico: A constante de Equilíbrio; Equilíbrio e Termodinâmica; Produto de Solubilidade; Formação de Complexos; Ácidos e Bases Próticos; pH; Força dos Ácidos e Bases. - Atividade e Tratamento Sistemático do Equilíbrio: O Efeito da Força Iônica na Solubilidade dos Sais; Coeficientes de Atividade; O pH em Termos da Atividade; Tratamento Sistemático do Equilíbrio; Aplicação do Tratamento Sistemático do Equilíbrio. - Equilíbrio Ácido Base Monopróticos: <u>Ácidos e Bases Fortes</u>; <u>Ácidos e Bases Fracos</u>; <u>Equilíbrio em Ácidos Fracos</u>; <u>Equilíbrio em Bases Fracas</u>; Tampões. - Equilíbrio Ácido-Base Poliprótico: <u>Ácidos Bases Dipróticos</u>; <u>Tampões Dipróticos</u>; <u>Ácidos e Bases Polipróticos</u>; Equações de Composição Fracionada; pH Isoelétrico e Isoiônico.	- Teoria de acidez e basicidade
Química Analítica Quantitativa	- Erro Experimental e Estatística: Algarismos significativos; Algarismos significativos na Aritmética; Tipos de Erro; Propagação da Incerteza a Partir do Erro Aleatório; Propagação da Incerteza: Erro sistemático; A Distribuição Gaussiana; Intervalo de Confiança; Comparação entre Médias Utilizando o Teste t de Studente; Comparação dos Desvios-Padrão com o Teste F; Teste de Grubbs para Valores Dispersos; Fundamentos da Certificação de Qualidade; Validação de um Procedimento Analítico; Adição-Padrão; Padrões Internos; Eficiência no Planejamento de Experimentos. - Preparo de Amostras: Estatística de Amostragem; Dissolvendo Amostras para Análise; Técnicas de Preparação da Amostra. - Análise Gravimétrica: Etapas da análise gravimétrica; Exemplos de Análise gravimétrica; Fundamentos da Volumetria; Calibração e aferição dos aparelhos volumétricos; Volumetria de neutralização; Volumetria de precipitação; Volumetria de óxido-redução; Volumetria de complexação.	Não apresenta nenhum pré-requisito diretamente.

Área	Conteúdo	Pré-requisito conceitual estudado
Físico-Química	- INTRODUÇÃO, ORIENTAÇÃO E FUNDAMENTOS EM FÍSICOQUÍMICA: A estrutura da ciência; Matéria; Energia. - AS PROPRIEDADES DOS GASES: Gás perfeito; Gás real; - A PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA: Conceitos fundamentais; Trabalho e calor; Termoquímica; Funções de Estado; Diferenciais exatas e inexatas. - A SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA: O Sentido da Mudança Espontânea; Funções do Sistema; Combinação entre a 1a e a 2a leis; Gases reais: a fugacidade. - TRANSFORMAÇÕES FÍSICAS DAS SUBSTÂNCIAS PURAS: Diagramas de fase; Estabilidade e transições de fase; A superfície dos líquidos. - MISTURAS SIMPLES: A descrição termodinâmica das misturas; As propriedades das soluções; - DIAGRAMAS DE FASE: Fases, componentes e graus de liberdade; Sistemas de dois componentes. - EQUILÍBRIO QUÍMICO: Reações químicas espontâneas; A resposta do equilíbrio às condições do sistema reacional; Aplicações a sistemas especiais. - TERMODINÂMICA ESTATÍSTICA: Termodinâmica estatística: os conceitos; Termodinâmica estatística: o formalismo. - MOLÉCULAS EM MOVIMENTO: Movimento das moléculas de gases; Difusão. - DINÂMICA MOLECULAR DAS REAÇÕES: Colisões reativas; A dinâmica das colisões moleculares; Teoria do complexo ativado; Catálise. - AS VELOCIDADES DAS REAÇÕES QUÍMICAS: Cinética química empírica; Explicação das leis de velocidade. - A CINÉTICA DAS REAÇÕES COMPLEXAS: A estrutura das reações em cadeia; Cinética de polimerização. - PROCESSOS NAS SUPERFÍCIES SÓLIDAS: A estrutura das superfícies sólidas; Adsorção; Atividade catalítica nas superfícies. - ELETROQUÍMICA: Soluções eletrolíticas; Interfase eletrodo/solução; Dispositivos eletroquímicos; Reações eletroquímicas de interesse tecnológico.	Não apresenta nenhum pré-requisito diretamente.

Área	Conteúdo	Pré-requisito conceitual estudado
Química Orgânica	- A QUÍMICA DO ÁTOMO DE CARBONO: Compostos Orgânicos e Compostos Inorgânicos; Carbono e a Vida; <u>O Átomo de Carbono: configuração eletrônica e comparação com outros elementos da Tabela Periódica</u>; Ligações dos átomos de carbono: <u>Hibridação e seus aspectos mais Importantes</u>. - ASPECTOS FÍSICO E QUÍMICOS DE MOLÉCULAS ORGÂNICAS E INTRODUÇÃO AOS MECANISMOS DE REAÇÕES: Interações intermoleculares de moléculas orgânicas; Tipos de Reações Orgânicas; Como as Reações Orgânicas Ocorrem; Descrevendo uma reação. - ALCANOS E CICLO-ALCANOS: Nomenclatura dos Alcanos e Ciclo-Alcanos segundo IUPAC; Propriedades Físicas; Estudos conformacionais de alcanos e cicloalcanos; Reações de cloração e bromação de alcanos e cicloalcanos; Fatores que determinam a distribuição do produto; Princípio da reatividade-seletividade. - ALCENOS, ALCADIENOS E ALCINOS: Fontes de obtenção e importância; Nomenclatura IUPAC; Propriedades físicas; <u>Estabilidade de alcenos e alcinos</u> e calor de hidrogenação; Alcenos: <u>Isomeria Cis-Trans e sistema E/Z</u>; <u>Estabilidade de alcenos</u> e alcinos e calor de hidrogenação; <u>Estabilidade dos alcadienos</u>; O fenômeno da Ressonância; Acidez de alcenos, alcinos e alcadienos; Carbocátions; Estudo dos mecanismos das principais reações. - ESTEREOQUÍMICA: Definição de Isomeria Ótica; Definição de Enantiômeros; Polarímetro e a isomeria ótica; Mistura Racêmica e Racemização; Nomenclatura D e L; Nomenclatura R e S. - HALETOS DE ALQUILA: Fontes de obtenção e importância; Nomenclatura IUPAC; Propriedades físicas; Estudo dos mecanismos das principais reações dos haletos de alquila. - ALCOÓIS, ÉTERES E MOLÉCULAS QUE CONTEM ENXOFRE: Fontes de obtenção e importância; Nomenclatura IUPAC; Propriedades físicas; Estudo dos mecanismos das principais reações. - BENZENO E AROMATICIDADE: Fontes de obtenção e importância; Nomenclatura de benzenos substituídos segundo IUPAC; Critérios para aromaticidade e antiaromaticidade; Consequências químicas da aromaticidade; Estudo dos mecanismos das principais reações com o Benzeno; Efeitos dos substituintes na orientação e reatividade; Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos. - ÁCIDOS CARBOXÍLICOS, ANIDRIDOS DE ÁCIDOS, HALETOS DE ACILA, ÉSTERES E AMIDAS: Fontes de obtenção e importância; Nomenclatura IUPAC; Propriedades físicas; Como reagem os derivados de ácidos carboxílicos; Estudos dos mecanismos das principais reações; Sabões, detergentes e micelas; - ALDEÍDOS E CETONAS: Fontes de obtenção e importância; Nomenclatura IUPAC; Propriedades físicas; Estudos dos mecanismos das principais reações.	- Propriedades periódicas - Hibridização - Estabilidade dos compostos - Uso de Modelos - Teoria de acidez e basicidade

Área	Conteúdo	Pré-requisito conceitual estudado
Química Orgânica	- REAÇÕES DE SUBSTITUIÇÃO ALFA À CARBONILA: Tautomerinoceto-enólico; Reatividade de enóis; Halogenação alfa de aldeídos e cetonas; Bromação alfa de ácidos carboxílicos; a reação de Hell-Volhard-Zelinskii; Acidez dos átomos de hidrogênio alfa: formação de íons enolato; Reatividade dos íons enolato; Alquilação dos íons enolato. - REAÇÕES DE CONDENSAÇÃO DE CARBONILA: Condensação de carbonila: a reação aldólica; Condensação de carbonila versus substituição alfa; Desidratação de produtos aldólicos: síntese de enonas; Utilizando reações aldólicas em sínteses; Reações aldólicas cruzadas; Reações aldólicas intra-moleculares; A reação de condensação de Claisen; Condensações cruzadas de Claisen; Condensações de Claisen intramoleculares: a ciclização de Dieckmann; Adições de carbonila conjugadas: a reação de Michael; Condensações de carbonila com enaminas: a reação de Stork; A reação de anelação de Robinson; Algumas reações biológicas de condensação de carbonila. - REAÇÕES DE OXIDAÇÃO E REDUÇÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS: Conceito de reações de oxidação e redução; Reações de redução; Oxidação de alcoóis; Oxidação de aldeídos e cetonas; Oxidação de Alcenos com perácidos; Hidroxilação de alcenos; Clivagem oxidativa de 1,2-dióis, alcenos e alcinos; Reações biológicas de oxidação e redução. - AMINAS E SUBSTÂNCIAS HETEROCÍCLICAS: Fontes de obtenção e importância; Nomenclatura IUPAC; Inversão de aminas; Propriedades físicas; <u>Propriedades ácido-base</u>; Estudos dos mecanismos das principais reações de aminas; Heterociclos aromáticos de anéis de cinco e seis membros.	- Propriedades periódicas - Hibridização - Estabilidade dos compostos - Uso de Modelos - Teoria de acidez e basicidade

Área	Conteúdo	Pré-requisito conceitual estudado
Química Ambiental	- INTRODUÇÃO: A História Química Ambiental no Brasil; Criação do IBAMA, ANA CONAMA e ANVISA; Legislação Ambiental e a Criação de Diretrizes Governamentais regulatórias; Ciclos Geoquímicos; Distribuição dos Elementos; - EDUCAÇÃO AMBIENTAL: Legislação Ambiental; Efeitos da Legislação Ambiental; Mudança climática global e o protocolo de Kioto; Eco eficiência: Responsabilidade ambiental e cidadania; Sistemas de Gestão Ambiental; Gestão de resíduos sólidos e a preservação ambiental; Resíduos recicláveis; Resíduos líquidos; As Consequências da Mobilidade e de Reações dos Elementos Químicos no Meio Ambiente. - GESTÃO AMBIENTAL: Princípios de gestão ambiental; Energia; Fundamentos para o desenvolvimento sustentável; Recursos naturais; Saneamento básico; Energia elétrica e sustentabilidade; Introdução à produção de energia; Matrizes energéticas e suas implicações socioeconômicas; Energia perdida; Fontes de energia; Processos de geração de energia elétrica. - SUSTENTABILIDADE: Desenvolvimento sustentável; Conceito de sustentabilidade; Ações para obtenção da sustentabilidade; Diagnóstico e diretrizes de sustentabilidade; Recursos hídricos e o ciclo da água; Reuso de águas; Sistemas de abastecimento de água; Esgoto sanitário, seus problemas e as ETE - Estações de tratamento de esgotos; A Perturbação dos Ciclos Naturais causados pelo Desenvolvimento Social, Industrial e Agrícola. - LITOSFERA: Origem e formação da litosfera: A Litosfera e sua influência no princípio de sustentabilidade; Composição dos solos; Classificação dos solos; Propriedades físico-químicas dos solos; Fertilidade do solo; Desnitrificação; Interações solo-planta; Pesticidas/herbicidas; Ocupação e mineração; É possível recuperar um solo contaminado?	Não apresenta nenhum pré-requisito diretamente.

Área	Conteúdo	Pré-requisito conceitual estudado
Bioquímica	- AMINOÁCIDOS E PROTEÍNAS: Estrutura e propriedades químicas dos aminoácidos; Ponto isoelétrico de aminoácidos e proteínas; Aminoácidos proteicos, não proteicos e aminoácidos essenciais; <u>Características da ligação peptídica</u>; <u>Estruturas primária, secundária, terciária e quaternária das proteínas</u>; Purificação e identificação de aminoácidos e proteínas (cromatografia de troca iônica, cromatografia de filtração em gel e eletroforese); Funções Biológicas das proteínas; Proteínas Fibrosas e Globulares. - ENZIMOLOGIA: Classificação das enzimas; Cofatores das enzimas; Mecanismos de ação catalítica das enzimas (sítio ativo, catálise geral ácido-base e catálise covalente); Cinética enzimática (determinação das constantes Km e kcat); Inibição da atividade enzimática (Inibidores reversíveis e irreversíveis); Regulação da atividade enzimática (modificação covalente, controle alostérico). - CARBOIDRATOS (Estrutura, Propriedades e Metabolismo): Aldoses e Cetoses (estruturas aberta e cíclica, fenômeno da mutarotação, açúcares redutores); Dissacarídeos; Polissacarídeos (Glicogênio, amido, celulose); Introdução ao metabolismo (carreadores de energia, ATP, NADH e FADH₂); Via glicolítica; Ciclo do ácido cítrico; Fosforilação oxidativa; Gliconeogênese, glicogenólise e glicogênese; Regulação das vias metabólicas envolvidas no metabolismo de carboidratos (Controle hormonal via insulina e glucagon). - LIPÍDEOS (Estrutura, Propriedades e Metabolismo): Ácidos graxos, triacilgliceróis, fosfolípidos e colesterol; Digestão e absorção de lipídeos; Transporte de lipídeos via lipoproteínas (VLDL, LDL e HDL); Metabolismo de lipídeos (oxidação de ácidos graxos). - PROTEÍNAS (Metabolismo): Digestão de proteínas e absorção de aminoácidos; Reações de transaminações; Desaminação oxidativa; Transporte de amônia via alanina e glutamina; Ciclo da ureia; Oxidação das cadeias carbônicas dos aminoácidos.	- Ligação Química - Geometria molecular - Uso de Modelos

APENDICE H – COMPARATIVO DE PRÉ-REQUISITOS ELENCADOS PELO INSTRUMENTO 1 PARA AS QUESTÕES 1, 2 E 4.

Quais os conceitos mais importantes a serem estudados na disciplina Química Orgânica?	Quais conceitos básicos (pré-requisitos) os alunos devem saber ao iniciar a disciplina?	Quais os pré-requisitos conceituais necessários para o estudo do conceito de Ressonância
Ligação Química	Ligação Química	Ligação Química
Hibridização	Hibridização	Hibridização
Orbitais	Orbitais	Orbitais moleculares
Propriedades periódicas	Propriedades periódicas	Propriedades periódicas
Estrutura molecular		Uso de modelos
	Atomística	Atomística
		Geometria molecular
Acidez e Basicidade		Acidez e Basicidade
	Mecanismo reacional	
		Balanço de cargas
		Estabilidade dos compostos
		Deslocalização de elétrons