

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA
CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA

EDUARDA BIF

**ORBITAIS HÍBRIDOS E CONTRIBUINTES DE RESSONÂNCIA:
CONCEPÇÕES DE ALUNOS DE GRADUAÇÃO EM QUÍMICA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MEDIANEIRA

2019

EDUARDA BIF

**ORBITAIS HÍBRIDOS E CONTRIBUINTES DE RESSONÂNCIA:
CONCEPÇÕES DE ALUNOS DE GRADUAÇÃO EM QUÍMICA**

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso Superior de Licenciatura em Química do Departamento Acadêmico de Licenciatura em Química – DAQUI – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Licenciado em Química.

Orientador: Prof. Dr. Emerson Luis Pires.

MEDIANEIRA

2019

TERMO DE APROVAÇÃO

ORBITAIS HÍBRIDOS E CONTRIBUINTES DE RESSONÂNCIA: CONCEPÇÕES DE ALUNOS DE GRADUAÇÃO EM QUÍMICA

Por

Eduarda Bif

Esse trabalho de conclusão de curso foi apresentado às dezesseis horas do dia onze de julho de dois mil e dezenove, como requisito parcial para a obtenção do diploma de graduação do curso de Licenciatura em Química, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo relacionados. Após deliberação, a banca examinadora considerou o trabalho **aprovado**.

Prof. Dr. Emerson Luis Pires (Orientador – DAQUI – UTFPR/MD)

Prof. Dr. Jaime da Costa Cedran (Banca - DAQUI – UTFPR/MD)

Prof. Dr. Daniel Walker Tondo (Banca – DAQUI – UTFPR/MD)

***A versão assinada encontra-se arquivada na Coordenação do curso de
Licenciatura em Química**

Aos que acreditam no poder da educação, com carinho.

AGRADECIMENTOS

Sou grata, de modo imensurável, pelo apoio que recebo dos meus pais, Marcio e Luciana, incentivando-me a ser uma pessoa melhor a cada dia. Aos meus irmãos, Leonardo e Bernardo, pela compreensão em relação aos momentos que precisei de silêncio em casa para elaboração deste trabalho. Agradeço, especialmente, pelas orações e cuidados de minha avó materna, Cleide, uma mulher forte e generosa. De modo geral, sou grata a minha família por acreditarem em mim e respeitarem minhas escolhas. Eu amo vocês.

Aos meus amigos da vida, Danúbia, Danieli, Juliana, Daniela e Raphael, pelos momentos de distração, diversão e risadas oferecidos quando precisei aliviar a tensão e o estresse. Aos amigos que fiz durante a graduação, Natália, Karenine, Liana, Tiago e Carlos, pela amizade, cumplicidade e companheirismo.

Em especial, ao meu orientador, homem que aprendi a admirar pelo ser humano incrível e singular que é, professor Emerson, sou imensamente grata, primeiramente, por ter aceitado ser meu orientador e me incentivado a ir além do habitual, pelos ensinamentos em geral, pelas conversas que agregaram ao meu modo de ver e levar vida, pelas palavras de apoio e, acima de tudo, pela compreensão e paciência, sempre respeitando meu ritmo de produção.

Aos professores do curso de Licenciatura em Química, dos departamentos de matemática, física, engenharias e ciências humanas, pelo prazer de compartilhar conhecimentos com mentes fascinantes e contribuições dadas para minha formação acadêmica, em especial aos professores Jaime e Tiago Brito, pelas recomendações dadas para que o projeto inicial ganhasse força e embasamento. Muito obrigada!

Em última instância, agradeço às pessoas que de alguma forma participaram da minha graduação e àquelas que acreditam que a educação pode mudar as pessoas. Obrigada.

“Ninguém ignora tudo. Ninguém sabe tudo. Todos nós sabemos alguma coisa. Todos nós ignoramos alguma coisa. Por isso aprendemos sempre.”

Paulo Freire

RESUMO

BIF, Eduarda. **Orbitais híbridos e contribuintes de ressonância: concepções de alunos de graduação em química.** 2019. 98 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2019.

Certos conteúdos na ciência química são de difícil compreensão devido sua abstração e complexidade. Estes conteúdos servem de alicerce para assimilação de novos conteúdos, ou seja, compreendê-los é essencial para que conceitos novos sejam entendidos com o mínimo de defasagens e más-interpretações possíveis. Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo analisar as concepções que os alunos de duas Universidades Federais do Paraná, de modalidades diferentes de graduação em química possuem sobre orbitais híbridos e contribuintes de ressonância, bem como, os fenômenos relacionados; a hibridização de orbitais atômicos e a ressonância em moléculas. Para tanto, aplicou-se um questionário e em seguida um diagnóstico, a fim de coletar estas concepções dos alunos e as dificuldades que enfrentaram ao responder as questões. Os dados foram analisados de acordo com a metodologia de Análise Textual Discursiva e a partir da análise das respostas foi dada prioridade às concepções alternativas destes estudantes. Todas as concepções foram discutidas à margem dos obstáculos epistemológicos provenientes de concepções equivocadas e superficiais dos alunos. Embora delimitada a problemática da pesquisa, descobriu-se que os obstáculos vão além das expectativas iniciais da pesquisa indicando incongruência em conceitos básicos, e, portanto, fundamentais em química. Com esta pesquisa, espera-se que se evidenciem os motivos geradores destes entraves no aprendizado dos alunos e que os professores possam repensar sua prática pedagógica.

Palavras chave: Educação. Orbitais híbridos. Contribuintes de ressonância. Obstáculos epistemológicos. Concepções alternativas.

ABSTRACT

BIF, Eduarda. **Hybrid orbitals and resonance contributors: conceptions of undergraduate students in chemistry**. 2019. 98 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2019.

Certain contents in chemical science are difficult to understand due to their abstraction and complexity. These contents serve as a foundation for the assimilation of new contents, i.e., understanding them is essential for new concepts to be understood with as little lagging and misinterpretation as possible. Thus, the present study aimed to analyze the conceptions that students from two Federal Universities of Paraná, of different modalities of graduation in chemistry have about hybrid orbitals and resonance contributors, as well as related phenomena; the hybridization of atomic orbitals and resonance in molecules. To this purpose, a questionnaire and then a diagnosis were applied in order to collect these conceptions from the students and the difficulties they faced in answering the questions. The data were analyzed according to the Discourse Textual Analysis methodology and from the analysis of the answers priority was given to the alternative conceptions of these students. All conceptions were discussed at the margin of epistemological obstacles arising from students' misconceptions and superficial. Although the research problem was delimited, it was discovered that the obstacles go beyond the initial expectations of the research indicating incongruity in basic concepts, and therefore, fundamental in chemistry. With this research, it is expected that the reasons that generate these obstacles in the learning of students and that teachers can rethink their pedagogical practice are evident.

Keywords: Education. Hybrid Orbitals. Resonance Contributors. Epistemological obstacles. Alternative conceptions.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES:

Figura 1 – Exemplo de diagrama de caixas para hibridização sp^3 do carbono.	16
Figura 2 – Contribuintes de ressonância de um sal de ácido benzóico.....	21
Figura 3 – Híbrido de ressonância do benzeno.....	22
Figura 4 – MEP do caliceno comparado ao híbrido de ressonância.	22
Figura 5 – O átomo de carbono em sua configuração eletrônica usual disposto num diagrama de energia de subcamadas.	23
Figura 6 – Combinação do orbital s e p, dando origem a três orbitais atômicos hibridizados sp^2 , restando um orbital atômico 2p sem alterações.	24
Figura 7 – Exemplo de diagrama energético.....	25
Figura 8 – Contribuintes de ressonância e híbrido de ressonância do íon carboxilato.	27
Figura 9 – Questão 1 do questionário.	37
Figura 10 – Questão 2 do questionário.	43
Figura 11 – Resposta do aluno referente a questão 2.	46
Figura 12 – Questão 3 do questionário.	51
Figura 13 – Questão 4 do questionário.	56
Figura 14 – Questão 5 do questionário.	62
Figura 15 – Questão 6 do questionário.	65
Figura 16 - Representação 1 da categoria 1/questão 6.	66
Figura 17 - Representação 2 da categoria 1/questão 6.	67
Figura 18 - Representação 3 da categoria 1/questão 6.	67
Figura 19 - Representação 1 da categoria 2/questão 6.	68

Figura 20 - Representação 2 da categoria 2/questão 6.	69
Figura 21 - Representação 1 da categoria 3/questão 6.	70
Figura 22 - Representação 2 da categoria 3/questão 6.	71
Figura 23 - Representação 1 da categoria 4/questão 6.	71
Figura 24 - Representação 2 da categoria 4/questão 6.	72
Figura 25- Representação 1 da categoria 5/questão 6.	73
Figura 26 - Representação 2 da categoria 5/questão 6.	73
Figura 27 - Representação 1 da categoria 2/questão 6, item c).....	77
Figura 28 - Caso excepcional da questão 6, item c).	77
Figura 29 – Questão 7 do questionário.	80
Figura 30 – Justificativa dada por aluno ao selecionar a primeira opção de híbrido.	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valor de l associada a designação do orbital.	24
Tabela 2 – Categorias da questão 1.	37
Tabela 3 – Categorias da questão 2	44
Tabela 4 – Categorias da Questão 3.....	51
Tabela 5 – Categorias da questão 4.	57
Tabela 6 – Categorias da questão 6 para os itens a) e b).....	66
Tabela 7 – Categorias da questão 6 para o item c).....	76
Tabela 8– Análise das respostas da questão 7.....	80
Tabela 9 – Identificando as dificuldades enfrentadas pelos alunos.....	86

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1– Respostas da questão 5 e suas porcentagens.	63
Gráfico 2 – Hibridizações dadas ao item c) da questão 6.	76
Gráfico 3 – Questão de maior dificuldade apontadas pelos participantes.	83
Gráfico 4 – Questão de menor dificuldade apontadas pelos participante.	84
Gráfico 5 – Quais modelos representacionais você NÃO teve contato durante o curso?.....	89

LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

MEP – *Map of electrostatic potentials.*

Ψ – Psi. Representando função de onda.

π – Pi. Representando ligações π .

TLV – Teoria de ligação de valência.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 Os obstáculos iminentes ao aprendizado	17
2.2 A criação de modelos para representação de ideias	19
2.3 Ressonância e as estruturas contribuintes	25
2.3.1 Os estudos iniciais	25
2.3.2 A ressonância	26
2.3.3 Os contribuintes de ressonância e o híbrido de ressonância	27
2.4 Orbital atômico	28
2.4.1 Os estudos iniciais dos orbitais atômicos e hibridização	28
2.4.2 Os orbitais híbridos e a hibridização	30
3 JUSTIFICATIVA	31
4 OBJETIVOS	33
4.1 Objetivo geral	33
4.4 Objetivos específicos	33
5 METODOLOGIA	34
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
6.1 Analisando o questionário	36
6.1.1 Análise 1	36
6.1.2 Análise 2	43
6.1.3 Análise 3	50
6.1.4 Análise 4	56
6.1.5 Análise 5	62
6.1.6 Análise 6	65
6.1.7 Análise 7	79
6.2 Diagnóstico dos participantes	83
6.2.1 Questão I	83
6.2.2 Questão II	85
6.2.3 Questão III	88
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	91
REFERÊNCIAS	94
APÊNDICES	98
APÊNDICE A – Diagnóstico aplicado após o questionário.	98

1. INTRODUÇÃO

A elaboração conceitual é reconhecida como o modo mais desenvolvido pelo qual o ser humano reflete de forma cognitiva seus ideais. Estas reflexões são provenientes de um processo de análise e são explicados por intermédio da linguagem (FONTANA, 1993). Contudo, as proposições verbais estão sujeitas a diversas interpretações individuais de acordo com o conhecimento prévio daquele que aprende, fazendo assim com que o processo de construção do conhecimento seja individual e particular (PIAGET, 1971). Por vezes a linguagem não é transparente e é fonte de vários equívocos e ilusões. Não se podem dominar as consequências que as proposições verbais causam, pois foge do controle humano (SMOLKA, 1995), o que evidencia os diversos níveis de domínios e compreensão dos saberes atribuídos à diferentes pessoas.

Estudar como se dá o processo de aprendizagem é essencial para localizar mais adequadamente quais as fontes primárias dos obstáculos epistemológicos que os alunos costumam deparar-se (BACHELARD, 1996). As ideias que não se adequam às literaturas científicas são chamadas por Driver (1988) de “concepções alternativas” e estão associadas às ideias intuitivas e ingênuas. Na maioria das vezes, tais concepções e equívocos advêm da incompreensão de princípios básicos, os quais são fundamentais para a assimilação das informações mais complexas e subsequentes referente ao conteúdo em questão. Neste âmbito, é difícil desconstruir a informação que foi acomodada de forma equivocada e é inevitável incorporar um novo conhecimento em um existente (JOHNSON-LAIRD, 1983). Os novos conhecimentos estão sujeitos a se adequarem em um conhecimento existente, assimilado e compreendido de forma inadequada, dando a falsa sensação de entendimento do tema estudado.

A Química é a ciência que estuda a matéria e suas transformações. Usualmente, as transformações são justificadas pela alteração das características da matéria e energia. Para que se possam compreender os fenômenos que envolvem estas características, a ciência exige a criação de teorias aliadas aos modelos para a explicação dessas transformações, sejam eles modelos hipotéticos matemáticos, físicos, fenomenológicos, pictóricos configurando um grupo amplo e

heterogêneo de tipos, utilizados para representação de uma ideia (BATISTA, 2004). Por exemplo, o modelo atômico de Dalton tem uma relação analógica com a bola de bilhar. Este tipo de modelo é classificado como de analogia, pois associa o átomo a um objeto para suportar uma ideia inicial. Deve-se compreender que os modelos atômicos em geral são uma representação de uma ideia corriqueiramente abstrata, e não devem ser considerados como algo real.

Outro exemplo é o fenômeno de ressonância, cujo qual é habitualmente associado ao benzeno. Embora o fenômeno esteja interligado intimamente ao modelo, permitindo uma relativa fácil identificação e representação pictórica do mesmo, os alunos costumam não saber descrevê-lo. Recorrentemente, quando questionados, usam de concepções alternativas e intuitivas para a descrição do efeito de ressonância, apresentam dificuldade para representação e, desconhecem as consequências que o efeito promove, como estabilidade química e acidez e basicidade em compostos.

Caso semelhante ocorre com os orbitais híbridos e a hibridização. Geralmente, explicados de acordo com a distribuição eletrônica de Linus Pauling e os princípios de Hund e Pauli, é convenientemente correlacionado ao átomo de carbono e representado pelo modelo de diagramas em que os elétrons estão distribuídos em “caixas”, denominadas de orbitais (Figura 1). De elevado grau de abstração, o fenômeno de hibridização e o conceito de orbital híbrido, assim como o de ressonância, são trabalhados de forma simplistas no ensino. Superficialmente demonstrados e definidos, os objetos são suscetíveis à ideia de que para entendê-los é necessário memorizá-los implicando na falta de domínio do porquê e do como ocorre.

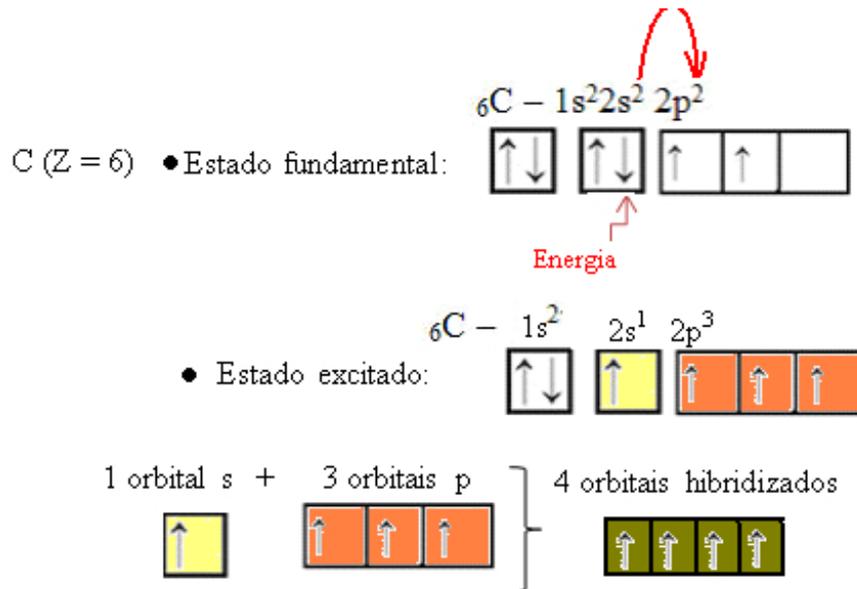


Figura 1 – Exemplo de diagrama de caixas para hibridização sp^3 do carbono.
 Fonte: Brasil Escola.

Deparando-se com as costumeiras concepções alternativas cometidas provenientes da memorização mecânica e da superficialidade na elucidação das definições dos fenômenos supracitados, é necessário verificar novos meios para representá-los, explicá-los e interpretá-los. Diante disso, tentar-se-á evidenciar as concepções dos alunos do curso de Química sobre estes fenômenos utilizando dos princípios básicos e suas representações adequadas que considere as teorias iniciais inerentes à Química Quântica, como a representação da deslocalização eletrônica, híbridos de ressonância e o uso de mapas potenciais eletrostáticos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Os obstáculos iminentes ao aprendizado

A definição de obstáculo epistemológico foi elaborada pelo filósofo e poeta francês Gaston Bachelard em sua abordagem da construção do espírito científico. Segundo Bachelard (1996) a busca pelo conhecimento científico está sujeita a diversos obstáculos epistemológicos inerentes ao entendimento do conhecimento científico dificultando a aprendizagem de novos conhecimentos. Estes obstáculos localizam-se no âmago do ato de conhecer implicando em lentidões e conflitos que independe da fugacidade, complexidade e abstração dos fenômenos, ou seja, é algo natural que aparece no processo de construção do conhecimento científico podendo estagnar ou até regredir o desenvolvimento da aprendizagem.

Bachelard (1996) defende o posicionamento de que para a construção de um conhecimento científico deve haver uma ruptura com o senso comum, pois segundo ele, a aprendizagem deve se impor a um conhecimento anterior. Estes conhecimentos anteriores são os responsáveis pela origem dos obstáculos epistemológicos, dado que são fundamentados em conhecimentos empíricos e devem ser combatidos com o conhecimento científico. Se dada a continuidade de um conhecimento comum a um científico, sem promover a desconstrução do conceito embasado no senso comum, o conhecimento mais aprimorado estará encravado a ideias incongruentes e equivocadas. Em sua obra, Gaston Bachelard classificou e deu exemplos de eventuais obstáculos epistemológicos, sendo alguns deles o obstáculo da experiência primeira; o generalista; o verbal; o animista; o substancialista e o realista, que são normalmente atribuídos aos entraves iminentes do processo da busca pela progressão do espírito científico.

O obstáculo da experiência primeira provém do senso comum do indivíduo. A experiência primeira é embasada no empirismo imediato, habitualmente caracterizada como algo fantasioso e primitivo em que os pensamentos são construídos a partir de ideias ingênuas (BACHELARD, 1996). Por apresentar estas nuances, pode ser atrelado às concepções alternativas, às opiniões pessoais e

observações superficiais. Para que seja dada a progressão no desenvolvimento do espírito científico, estas concepções devem ser combatidas com conhecimento científico desmistificando crenças e intuições.

Quando a ideia responsável pela criação de um conceito se apresenta de forma clara e fechada, ou seja, sem abertura para indagações, dificultando o interesse dos alunos por questionar, pois não há espaços ou incongruências para perguntas e, portanto, usam deste conceito compacto e fechado para generalizações, implicando no aparecimento dos denominados obstáculos generalistas. Esta generalização é responsável pela estagnação do conhecimento refletindo adiante em conhecimentos pseudocientíficos e confusos, porque inviabiliza a necessidade de pensar, questionar e refletir. (BACHELARD, 1996)

Os obstáculos verbais, de teor autoexplicativo, são impostos pela oralização dos conceitos que estão sujeitos a diversos erros conceituais. Quanto mais se descreve uma teoria com palavras, mais imperfeita e imprecisa ela fica. A etapa de descrição do objeto de estudo pode utilizar-se de palavras incompatíveis com a teoria e o conceito pode ser influenciado por experiências pessoais proveniente daquele que exterioriza. A ciência é campo de constantes revoluções dos significados dos termos científicos, portanto, é suscetível à equívocos de definições (BACHELARD, 1996).

O obstáculo animista consiste em atribuir vida a representações de forma ingênua. É dar características vitais para coisas inanimadas, como sentimentos, inteligência e particularidades humanas. Um exemplo de animismo encontrado na ciência química ocorre quando o professor personifica elementos químicos, substituindo a preposição afinidade por “gostar mais de”. Estas atribuições, embora pareçam inofensivas, são propagadoras de obstáculos e podem ser classificadas até como concepções infantis, por esse motivo, é necessário ser cauteloso ao utilizar de analogias e devem ser desfeitas imediatamente quando o objetivo maior é alcançado (BACHELARD, 1996).

Quando se trata de obstáculos provenientes das características intrínsecas de uma determinada substância em que certas propriedades são atribuídas a esta, denomina-se como obstáculo substancialista. Estes obstáculos ocorrem quando, por exemplo, de modo errôneo associa-se a características de ácido e base somente

pela presença do próton e da hidroxila, respectivamente, numa dissociação de composto. As consequências destas associações são capazes de promover a ideia de que quanto mais prótons uma dada substância possuir em sua fórmula química, mais ácida ela é, ou seja, de uma maneira simples é explicado o fenômeno, tornando-o vulgar e equivocado. Outro exemplo para este tipo de obstáculo epistemológico é a falsa ideia de que o átomo de ouro é dourado.

Presumivelmente, situações em que se explica o fenômeno de forma concisa e resumida, é um provedor de obstáculos realistas em potencial. Costumeiramente, alguns fenômenos em química são explicados por mudanças em que os nossos sentidos são capazes de testemunhar. Por exemplo, a confirmação da ocorrência de uma reação é comprovada por haver uma mudança da cor do meio reacional. Compreende-se que de fato ocorreu a reação, mas não se abstrai as explicações microscópicas, como quais os produtos formados e os fatores que interferem na reação para que ela ocorresse (BACHELARD, 1996)

São inumeráveis as tipologias de obstáculos que podem aparecer no caminho da construção de um conhecimento, porque este é um processo intimamente pessoal. Algumas destas concepções alternativas que os alunos podem apresentar são bastante semelhantes aos conceitos considerados corretos por tempos, que foram superados com o desenvolver da ciência (BATISTA, 2004). Segundo Driver (1988), estas concepções ingênuas possuem validade, pois apresentam coerência interna, são altamente resistentes a mudanças e possibilitam explicações para situações do dia a dia. Driver defende a ideia de que é possível servir-se dos esquemas conceituais alternativos para promover a aprendizagem dos conceitos mais complexos. Para isso, bastam saber organizar estes esquemas conceituais alternativos evidenciando quais são para que seja possível planejar como superá-los.

2.2 A criação de modelos para representação de ideias

No estudo da ciência Química, muito do que é observado em escala macroscópica fundamenta-se por fenômenos microscópicos e para a explanação e

fundamentação dos fatos observáveis é desenvolvido um modelo científico para adequada representação fenomenológica, abstrata ou concreta. Desta forma, Sayão (2001) afirma que os desenvolvimentos dos modelos científicos se dão para que a realidade adquira características que possam ser descritas qualitativamente e quantitativamente e possam ser “observáveis.”, definidas por ele como uma construção cultural destinada à representação. Morgan e Morrison (1999) reconhecem os modelos científicos como ótimas ferramentas para a compreensão de teorias científicas e fundamentais no processo de ensino e aprendizagem e afirmam que os modelos devem apresentar características específicas, como a capacidade de representação abstrata, quando necessário, autonomia e conectividade com a teoria e os dados coletados. Em suma, a principal função de um modelo é representar uma ideia específica.

Os modelos podem se tornar um obstáculo, embora sejam propostos para facilitar a compreensão de certas teorias e estão sujeitos à interpretações superficiais aliados com alguns dos obstáculos epistemológicos definidos por Bachelard. Ingenuamente, os modelos podem ser encarados como se fossem reais, principalmente no estudo da química. É cômodo idealizar situações ou considerar que tudo é real, como o elétron circundando o núcleo que está fixo ao centro (GRECA E DOS SANTOS, 2005). Pozo e Crespo (2006) afirmam que “a ciência não é um discurso sobre o real, mas um processo socialmente definido de elaboração de modelos para interpretar a realidade”. Não obstante, ainda há situações em que se distancia tanto o modelo representacional de uma teoria, que o modelo acaba por ser considerado mais importante, ainda que inconscientemente, que a própria teoria, a ponto de saber como se representa tal fenômeno, mas incompreender a ideia responsável pelo modelo.

Herbert (2003) afirma que há quatro classificações de abrangência de modelos; os mentais; os expressos; os científicos e os históricos. Os modelos mentais são pessoais e intuitivos, moldados mentalmente sozinhos ou após contato com um grupo específico, bastante similar aos expressos, diferenciando-se somente na proporção de divulgação e abrangência. Este último possibilita que um grupo de pessoas compartilhe um mesmo modelo mental, como se houvesse uma consciência coletiva. Os científicos são os aceitos pela comunidade científica; testados e consistentes são capazes de fornecer apoio a uma teoria. Os

históricos são os que foram superados com o desenvolver da ciência, tornando-se obsoletos. Para Ornek (2008) há uma divisão dentro dos modelos cientificamente aceitos: os mentais e os conceituais. Os modelos mentais ocorrem no pensamento da pessoa, portanto é pessoal e imaterial. Os modelos conceituais são representações idealizadas de forma simplificada perceptíveis aos nossos sentidos.

Batista (2004) realiza uma subdivisão das tipologias de modelos científicos. Segundo a autora, são chamados de pictóricos os modelos construídos por analogias às coisas que já existem, a fim de “conectar novos fenômenos a teorias antigas”. Os modelos por hipótese são baseados em situações em que novos fenômenos não são explicados por teorias antigas, então, faz-se necessário elencar hipóteses para fundamentar e interpretar estes, usando-o, num primeiro momento, o portfólio da teoria existente para suposições, para que sejam elaboradas novas teorias de acordo. Há também os modelos heurísticos, considerados incompletos e preliminares para explicar certas situações. Estes modelos são subdivididos em fenomenológicos e de tipo-essência. Os fenomenológicos dão conta de descrever certos aspectos de como se dá o processo físico, mas não é o suficiente para explicar como de fato ocorre este processo. Já os tipo-essência pode fornecer interpretações iniciais sobre um dado processo, originados a partir de lógica-matemática ou premissas ontológicas.

Desta formas, há modelos específicos para certas teorias, como é no caso do fenômeno de ressonância. De modo clássico, é comum deparar-se com modelos pictóricos para representar as estruturas contribuintes ou canônicas com setas indicando a movimentação dos elétrons.

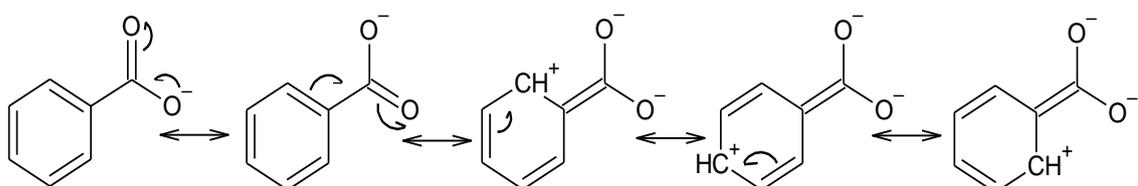


Figura 2 – Contribuintes de ressonância de um sal de ácido benzóico
Fonte: própria, 2019.

Em alguns livros destinados ao ensino superior é possível encontrar para representar o fenômeno de ressonância os modelos pictóricos denominados de híbridos de ressonância. (CAREY, 2011; BRUICE, 2006)

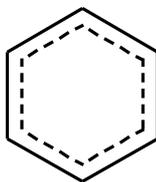


Figura 3 – Híbrido de ressonância do benzeno.
Fonte: própria, 2019.

Entre as contribuintes de ressonância e o híbrido de ressonância, o modelo que melhor elucida a deslocalização eletrônica é o híbrido. Raramente usada para esta finalidade, os MEP's (*Map of Electrostatic Potentials*) podem ser usados para viabilizar a distribuição de cargas numa representação tridimensional de moléculas, baseando-se no cálculo de energia potencial eletrostática feito por computadores, apontando os pontos de maiores e menores densidades eletrônicas na molécula. O cálculo é derivado da equação de Schrödinger e, portanto, pode ser considerado um modelo representacional embasado em cálculos computacionais matemáticos (SANT'ANNA, 2009). Desta forma atrelados, o híbrido de ressonância juntamente ao MEP da molécula, pode concretizar e fortalecer a ideia da deslocalização eletrônica.

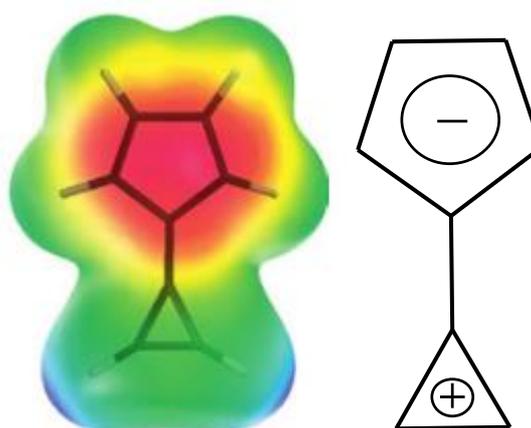


Figura 4 – MEP do caliceno comparado ao híbrido de ressonância.
Fonte: Adaptado de CAREY (2011)

Estas superfícies tridimensionais são geradas sobrepondo uma partícula de carga positiva na molécula. Esta partícula positiva deve “percorrer” toda superfície da molécula interagindo de forma que quando houver uma região de repulsão, o

potencial é positivo, e quando houver uma região de atração, o potencial é negativo. Sendo assim, as regiões dos mapas que apresentam cores quentes (vermelho e amarelo) são regiões de cargas parciais negativas e, as regiões que apresentam cores frias (azul e verde) são regiões de cargas parciais positivas. (SANT'ANNA, 2009)

Entre os obstáculos epistemológicos associados ao modelo representacional de ressonância, encontra-se a incompreensão do significado da deslocalização eletrônica na molécula. O desentendimento de que a molécula não é igual a nenhum dos contribuintes de ressonância e a falsa noção de que as contribuintes alternam-se entre em si para a estruturação da molécula, podem ser considerados prováveis obstáculos. Restrições devem ser respeitadas para elaboração das contribuintes, como 'mover' somente os elétrons de ligação π (π) e elétrons não compartilhados.

Os orbitais atômicos também possuem seus respectivos modelos representacionais. Segundo Shriver e Atkins (2008) os orbitais hidrogenóides são melhores expressos em coordenadas polares esféricas definidas, entretanto, as representações gráficas destes orbitais atômicos são consideradas mais usuais do que suas expressões matemáticas. Partindo disto, os orbitais atômicos do tipo s , p , d e f , possuem suas formas específicas oriundas de suas respectivas expressões matemáticas. Ao sofrerem hibridização, originando os orbitais híbridos, as representações dos orbitais atômicos conformam-se de maneira a alinhar-se teoricamente com o previsto neste fenômeno:

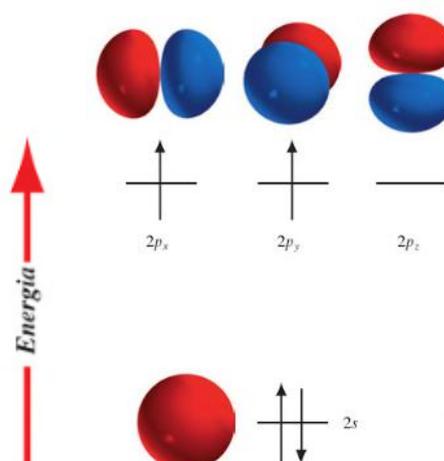


Figura 5—O átomo de carbono em sua configuração eletrônica usual disposto num diagrama de energia de subcamadas.

Fonte: Adaptado de CAREY (2011)

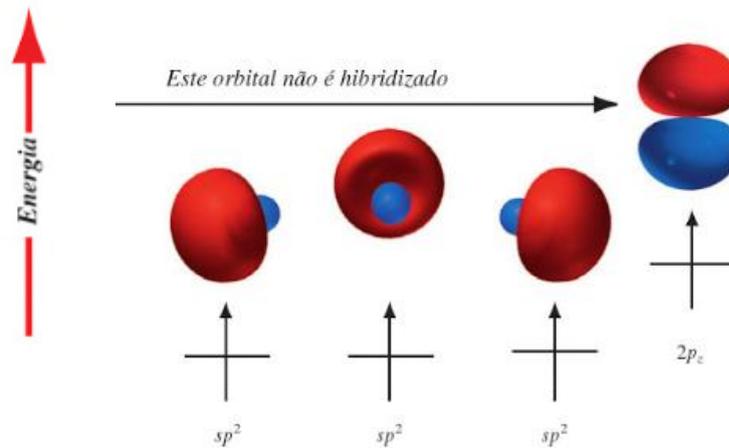


Figura 6 – Combinação do orbital s e p, dando origem a três orbitais atômicos hibridizados sp^2 , restando um orbital atômico 2p sem alterações.
Fonte: Adaptado de CAREY (2011)

É possível observar nas figuras que além de utilizar das representações em tridimensional, os livros atrelam a estas os diagramas de energia das subcamadas, diferenciadas pelo número quântico l (chamado de momento angular orbital) (SHRIVER E ATKINS, 2008), mas comumente encontrado por suas representações por letras (Tabela 1)

Tabela 1 – Valor de l associada a designação do orbital.

Valor de l	0	1	2	3	4
Designação do orbital	S	p	d	f	g

Fonte: SHRIVER E ATKINS (2008).

Sabendo a distribuição eletrônica do átomo que sofre hibridização e aliando o princípio da exclusão de Pauli à regra de Hund, torna-se mais fácil realizar a distribuição eletrônica e manipular o diagrama de energia das subcamadas em vez de desenhar os orbitais tridimensionais.

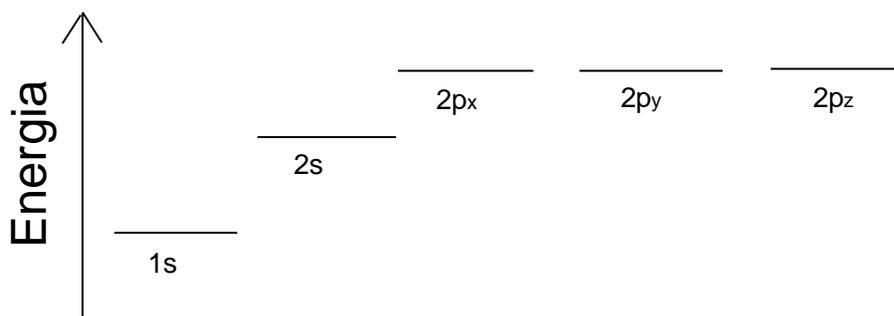


Figura 7 – Exemplo de diagrama energético.
Fonte: própria, 2019

Entre as prováveis concepções alternativas dos alunos, há os que acreditam que a hibridização é um fenômeno que ocorre entre orbitais de dois átomos diferentes, pois segundo Hanson *et. al* (2012) grande maioria dos alunos são incapazes de distinguir entre o termo orbital atômico e orbital molecular. Outra possibilidade de concepção errônea é a de que o fenômeno de hibridização é algo exclusivo do átomo de carbono, devido ao fato de que o fenômeno é, na maioria das vezes, ensinado com a tetravalência do carbono. Ademais, os estudantes não inferem que a hibridização de orbitais atômicos é uma teoria criada para explicar ligações equivalentes que um mesmo átomo pode realizar conseqüentemente, justificar a geometria das moléculas, ângulos de ligação e auxiliar as teorias das ligações químicas

2.3 Ressonância e as estruturas contribuintes

2.3.1 Os estudos iniciais

Em 1916 Gilbert Newton Lewis, prestigiado químico norte-americano da Universidade da Califórnia propôs um modelo de ligação covalente baseado no compartilhamento de elétrons em que dois átomos de hidrogênio adquiriam configuração eletrônica análoga ao hélio ao compartilhar dois elétrons. Estas representações foram chamadas de estruturas de Lewis (CAREY,2011).

No final do século XX, deparados com a impossibilidade de utilizar uma única estrutura de Lewis para representação de algumas espécies químicas, como o benzeno e o grupo nitro, alguns estudiosos propuseram usar estruturas múltiplas para representação destes compostos (SILVA JR.*et. al.*, 2014)

Na Alemanha, Fritz Arndt (1885-1969) utilizou para nomear as múltiplas estruturas a palavra intermediário, derivada da palavra alemã *Zwischenstufe*. Na Inglaterra, Christopher Kelk Ingold (1893-1970), propôs o nome mesômero – efeito mesomérico – ao utilizar diversas estruturas para representação de um único composto e utilizou deste nome em sua teoria eletrônica para reações orgânicas. O efeito mesomérico pode ser encontrado como um sinônimo de ressonância. A palavra ressonância foi sugerida por Linus Carl Pauling (1901-1994), químico norte-americano, ganhador de dois prêmios Nobel, um em Química por suas pesquisas sobre ligações químicas e outro Nobel da Paz, por seus esforços contra o armamento nuclear. Embora tenham sugerido nomes diferentes para a mesma ideia, todas buscavam o mesmo objetivo: a representação para compostos que podiam ser apresentados por mais de uma estrutura de Lewis. (SILVA JR.*et al.*, 2014)

2.3.2 A ressonância

A ressonância é um modelo teórico utilizado para representar uma molécula quando a mesma pode ser representada por duas ou mais estruturas de Lewis diferindo apenas no arranjo eletrônico. De acordo com Carey (2011), a ressonância tenta corrigir a ideia de localização eletrônica que as estruturas de Lewis passam, como em ligações covalentes em que o par de elétrons é compartilhado entre dois átomos ou elétrons não compartilhados estarem estáticos e pertencerem a um único átomo, portanto, a ressonância tenta elucidar a deslocalização eletrônica.

Kerber (2006) sugere que alguns hábitos sejam mudados para que a ressonância deixe de ter o caráter mecânico e alternante e contemple a deslocalização eletrônica, como substituir a palavra dita e escrita ressonância por deslocalização, assim como a energia passaria ser chamada de energia de deslocalização ao invés de energia de ressonância. Alterações de substituição da

seta utilizada para o fenômeno de ressonância por vírgula, também é uma das sugestões feitas por Kerber (2006), bem como, a substituição do termo estruturas de ressonância por contribuintes de ressonância.

2.3.3 Os contribuintes de ressonância e o híbrido de ressonância

Para representar uma molécula passível de ressonância existem algumas regras que devem ser respeitadas para elaboração das estruturas contribuintes. Carey (2011) lista algumas regras que devem ser cumpridas para elaboração das Contribuintes de ressonância:

- A conectividade dos átomos deve ser a mesma;
- Somente os elétrons pi ou não ligantes devem ser movidos;
- Cada estrutura contribuinte deve ter o mesmo número de elétrons e a mesma carga líquida;
- O número de elétrons desemparelhados deve ser o mesmo nas estruturas contribuintes;
- A regra do octeto pode ser excedida para os elementos além do segundo período.

Entretanto, a melhor representação pictórica do fenômeno de ressonância é dada pelo híbrido de ressonância. O híbrido deve ser encarado como se fosse a média ponderada das várias estruturas contribuintes (CAREY, 2011). Por exemplo, a representação das contribuintes de ressonância do íon carboxilato contribuem igualmente para a formação do híbrido de ressonância, conforme a Figura 8 demonstra, mas a representação mais fiel à deslocalização eletrônica é o próprio híbrido de ressonância:

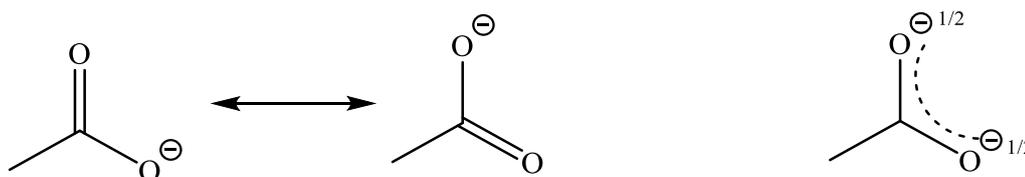


Figura 8 – Contribuintes de ressonância e híbrido de ressonância do íon carboxilato.
Fonte: própria, 2019.

Há casos em que uma das contribuintes de ressonância contribui mais para a formação do híbrido de ressonância. A mais importante regra para selecionar qual das contribuintes é a mais participativa é a análise da estabilidade da representação. Selecionar aquela que possui o maior número de ligações covalentes, desde que a regra do octeto não seja excedida para os casos específicos também é um dos critérios para impor a que mais contribui ao híbrido. Outros critérios auxiliam um possível “desempate” quando duas ou mais estruturas possuírem o mesmo número de ligações covalentes: para selecionar a que mais contribui para o híbrido de ressonância basta escolher aquela em que os átomos com cargas opostas estão mais próximos um do outro ou os de carga iguais mais distantes, e se o “empate” persistir, basta escolher a estrutura que aloca a carga negativa no átomo mais eletronegativo (CAREY, 2011). O híbrido de ressonância é mais estável em relação a qualquer contribuinte, e a diferença entre esses dois chama-se energia de ressonância (energia de deslocalização, proposta por Kerber).

Dados conhecidos, como o comprimento da ligação C=O e da ligação C–O, refutam a equivocada ideia de que as ligações ficam alternando entre si, comprovando que as densidades de cargas são iguais (ver Figura 8) para os dois oxigênios (BRUICE, 2006). Segundo Shriver e Atkins (2008), cada uma das contribuintes é representada por uma função de onda (ψ) e a função de onda da molécula, de modo geral, é a superposição das funções de onda de cada uma das contribuintes. O resultado desta superposição remete ao híbrido de ressonância.

2.4 Orbital atômico

2.4.1 Os estudos iniciais dos orbitais atômicos e hibridização

Na tentativa de explicar as consequências das descobertas do espectroscopista Johann Rydberg, Niels Bohr, em 1913, usou de premissas iniciais da teoria quântica ao afirmar que o elétron poderia existir em certas órbitas

circulares. Entretanto, as explicações de Bohr foram conflitadas com a teoria quântica proposta inicialmente por Erwin Schrödinger.

Erwin Schrödinger foi aluno da Universidade de Viena entre os anos de 1906 e 1910, e teve fortes influências dos sucessores de Boltzmann. Foi neste período que adquiriu domínio dos problemas de autovalores que culminariam para seu maior trabalho. Durante a Primeira Guerra Mundial, serviu como Oficial de Artilharia. Após isto, ocupou várias posições acadêmicas, levando-o finalmente à Universidade de Zurique, sendo considerado seu período mais produtivo. Sua maior contribuição à física moderna é conhecida como *Equação de Schrödinger*, a qual foi desenvolvida em 1926 e partiu da premissa das ideias de de Broglie sobre dualidade onda-partícula aliada ao princípio da incerteza de Werner Heisenberg. A resolução desta equação leva a soluções denominadas funções de onda, que com a interpretação probabilística de Max Born pressupõe que “com o quadrado de tais funções chegasse em informações acerca da probabilidade de, em um determinado instante, se localizar o elétron em um elemento de volume definido” (PEREIRA *et al.* 2017).

Segundo Bathista e Silva e Nogueira (2001), a passagem das ideias de Bohr para as de Schrödinger é considerado uma ruptura “do conceito de órbita definida para o conceito probabilístico de orbital”, logo, o orbital pode ser encarado como a região de maior probabilidade de se encontrar um elétron e deve ser contemplado em um viés probabilístico.

Com os devidos avanços referentes aos estudos dos orbitais, um novo obstáculo surgiu na partição de estudos sobre ligações químicas: se o carbono possui duas subcamadas diferentes na sua camada de valência (orbital $2s$ e orbitais $2p$) como pode o carbono da molécula de metano realizar quatro ligações idênticas orientadas no espaço em direção aos vértices de um tetraedro? Em 1931, Linus Carl Pauling propôs uma solução para este problema ao demonstrar matematicamente como os orbitais poderiam se combinar, e denominou tal fenômeno de hibridização. Ao hibridizar o orbital $2s$ e três orbitais $2p$ do átomo de carbono, originaria quatro orbitais atômicos equivalentes com a geometria de um tetraedro, chamados de orbitais atômicos hibridizados do tipo sp^3 . (MCMURRY, 2005)

2.4.2 Os orbitais híbridos e a hibridização

Segundo Shriver e Atkins (2008) “a função de onda de um elétron em um átomo hidrogenóide é chamada de orbital atômico”. O orbital atômico pode ser compreendido como o volume delimitado com maior probabilidade de existir elétrons. Cada função de onda obtida pela resolução da equação de Schrödinger para um átomo hidrogenóide é descrita por uma única combinação de três números quânticos, denominados de n (número quântico principal), l (número quântico momento angular orbital) e m_l (número quântico magnético).

O fenômeno de hibridização, intimamente relacionados aos orbitais atômicos, foi estabelecido, primeiramente, para explicar as ligações similares que um átomo pode efetuar e a orientação espacial equivalente destas ligações e, conseqüentemente, justificar a geometria que a molécula possui. (MCMURRY, 2005). Os orbitais atômicos híbridos possuem características mistas com influência proporcional às subcamadas que os constitui. Por exemplo, a disposição espacial dos orbitais híbridos do tipo sp^3 possui características de 25% de orbital atômico s e 75% dos três orbitais atômicos p .

Todos os orbitais atômicos híbridos originados são degenerados e tendem a se comportar espacialmente de tal forma a minimizar a repulsão eletrônica entre elétrons, amparando os ângulos de ligações. No caso da água, por exemplo, se o átomo de oxigênio não sofresse hibridização, os ângulos das ligações teriam 90° , pois os orbitais $2p$ do oxigênio são perpendiculares entre si. Entretanto, medidas experimentais evidenciam o ângulo de $104,5^\circ$ entre as ligações. Isso só é possível quando os orbitais atômicos do átomo de oxigênio estão hibridizados de forma sp^3 . (BRUICE, 2006)

3 JUSTIFICATIVA

Para a compreensão de conceitos estudados nas diversas partições da ciência Química deve-se entender sua origem e fundamentação teórica. Com intuito de que as informações mais complexas sejam alicerçadas à conceitos iniciais e entendidas sem apresentar equívocos, o conceito inicial deve ser compreendido sem confusões e ambiguidade pelo aluno. A fim de que se alcance a compreensão dos conceitos mais aprimorados, recorrentemente são consultados os conceitos iniciais, pois estes servem de alicerce para a complementação de um assunto, como no caso dos conceitos de orbital atômico híbrido e as contribuintes de ressonância que são oriundos dos conceitos de orbital atômico e da deslocalização eletrônica.

A fonte de informações para assimilação destes conceitos está habituada em ser a sala de aula, podendo ser intermediada pela fala do professor, pelo uso de *slides* e dos demais materiais didáticos. Logo, as concepções, sendo elas condizentes à literatura científica ou não, são desenvolvidas e trabalhadas no ambiente escolar podendo ser originadas e influenciadas de conhecimentos prévios.

A relação professor-aluno deve ser saudável a ponto do aluno se sentir confiante para contestar a fala do professor, as informações por ele apresentadas e a bibliografia utilizada. Estabelecida esta relação social benéfica entre as partes que compõem a sala de aula, o aluno pode se sentir confortável para que em caso de dúvidas pergunte e não se sinta intimidado e inferior por ter objeções sobre um determinado assunto. Diante de tais comportamentos são evitadas algumas situações em que as informações mais complexas sejam incorporadas aos conhecimentos existentes equivocados, irrompendo uma possível propagação de erros que interfere diretamente na compreensão do conteúdo trabalhado em sala.

Trazer para o debate as concepções que os alunos construíram e constroem durante a graduação é uma maneira de apontar os equívocos que os mesmos cometem acerca dos objetos de estudo. Posto isto, elencadas quais são as concepções ingênuas cometidas, é possível estabelecer outros métodos de exercitar o conteúdo, já que os adotados atualmente podem ser ineficazes. Por outro lado, os métodos alternativos podem ser de difícil compreensão pelos alunos, que já estão

habitados às metodologias usuais e, por vezes, não compatibilizam com o que costuma fugir do rotineiro.

Diante da atual conjuntura em que o ensino se encontra, propor um novo viés mais coerente cientificamente em relação a maneira que vem sendo proposta no ensino para interpretação dos fenômenos, pode ser desafiador, mas plausível, pois não é correto amenizar o rigor científico e ignorar os avanços da ciência em prol de uma educação simplista e um saber científico superficial. Acredita-se que diversos conceitos são superficialmente trabalhados no ensino superior, gerando a propagação de inverdades e equívocos, forçando o aluno memorizar definições sem ao menos compreendê-las, conceber e identificar sua ocorrência e a necessidade de ser estudada. Portanto, esta pesquisa apresenta relevância no âmbito educacional superior, pois serve para catalogar as concepções que os alunos carregam consigo diante de questionamentos feitos sobre o assunto. Sendo assim, o aluno que virá a participar desta pesquisa, além de contribuir para identificação dos obstáculos de aprendizagem ocorrentes, poderá promover uma reflexão aos docentes sobre a importância da sua prática pedagógica.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo geral

Verificar as concepções que os alunos de modalidades diferentes de graduação em química (licenciatura em química e engenharia química) possuem acerca dos modelos científicos de orbitais híbridos e contribuintes de ressonância.

4.4 Objetivos específicos

- Analisar as concepções que os alunos possuem sobre contribuintes de ressonância e híbridos de ressonância;
- Analisar as concepções que os alunos apresentam sobre orbitais atômicos e orbitais híbridos;
- Verificar se os alunos compreendem o que é deslocalização eletrônica;
- Apontar as dificuldades encontradas pelos participantes através do diagnóstico aplicado;
- Elencar hipóteses para justificativas das concepções alternativas;
- Identificar os obstáculos que as interpretações de modelos científicos geram no processo de aprendizagem dos alunos.

5 METODOLOGIA

Para o cumprimento dos objetivos delimitados o trabalho se desenvolveu, enquanto sua abordagem, como uma pesquisa qualitativa básica descritiva, acarretando em descobertas úteis para a progressão dos estudos educacionais no ramo, não se limitando somente à coleta usual de dados e sua ordenação, mas sim, almejando conhecer as descrições de variadas pessoas sobre determinados fenômenos (TRIVIÑOS, 1987). Desta maneira, inicialmente realizou-se um levantamento de referências científicas caracterizado como uma pesquisa bibliográfica, possibilitando o pesquisador entrar em contato com grande parte de produção, seja de forma escrita ou dita, sobre determinado assunto (LAKATOS e MARCONI, 2007) servindo de fundamentação teórica para discussão dos resultados.

A amostragem é composta por estudantes de graduação em Química, das modalidades desde licenciatura e engenharia química de duas instituições federais distintas. Aplicou-se o questionário visando coletar informações referentes às concepções que os alunos apresentam sobre os dois objetos de estudo de forma presencial nas duas instituições. Participaram da pesquisa tanto os alunos dos períodos iniciais quanto dos períodos finais dos cursos, sem discriminação, visto que o objetivo é coletar as concepções dos alunos de maneira ampla. O total de estudantes participante do curso de Licenciatura em Química foram 31, e do curso de Engenharia Química foram 10, totalizando 41 participantes.

O questionário é composto por sete questões que permitem que o aluno teste seu conhecimento sobre o assunto. São perguntas de múltiplas escolhas, exceto pela primeira questão, seguidas por um pedido de justificção da escolha feita. No final do questionário, aplicou-se um diagnóstico com finalidade de conhecer quais foram as dificuldades enfrentadas.

Os dados coletados a partir da aplicação do questionário contendo as perspectivas dos alunos sobre o tema foram classificados de acordo com as delimitações abaixo, seguindo a metodologia de Análise Textual Discursiva – ATD. Visando a análise de dados de forma qualitativa, esta metodologia foi criada por Moraes e Galiuzzi (2016) e é utilizada comumente em pesquisas de âmbito educacional. Esta metodologia de análise de dados transita entre as já conhecidas

Análise de Conteúdo e a Análise de Discurso, mas difere-se por, segundo Medeiros e Amorim (2017), romper com as metodologias já enrijecidas de pesquisa que exigem a objetividade e neutralidade, por parte de quem produz, , ou seja, a ATD permite uma análise mais crítica e parcial.

A Análise Textual Discursiva é composta por três fases: a unitarização, a categorização e a comunicação. A unitarização é caracterizada como o momento de desconstrução, fragmentação, interpretação e constituição de unidades elementares dos dados colhidos.

“Unitarizar constitui processo rigoroso de construção de sentidos e compreensões, dependendo esses sentidos tanto de quem escreve quanto de quem lê um texto. Esse rigor não está na cópia fiel de sentidos dados pelos autores dos textos, mas num envolvimento intenso e construtivo do pesquisador.” (Moraes e Galiazzi, 2006, p.124)

À medida que a unitarização ocorre, a categorização se torna possível. Unitarizando é possível observar a emergência de discursos similares e organizados oriundos dos dados coletados, momento oportuno para que ocorra a categorização de ideias, agrupando componentes semelhantes e denominando as categorias que seguem emergindo a todo instante a partir da unitarização.

Com as categorias delimitadas e organizadas, surge a terceira fase da Análise Textual Discursiva, denominada de comunicação. É o momento em que ocorre a análise de tudo já catalogado, chamado por Medeiros e Amorim (2017) de construção de compreensão, visando possibilitar o entendimento das ideias oriundas das interpretações investigadas e criação do metatexto culminando no desfecho de toda análise.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

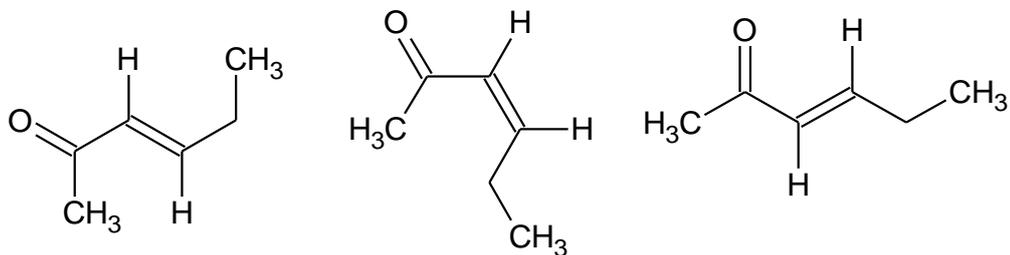
6.1 Analisando o questionário

Para análise das sete questões do questionário, optou-se por subdividir às discussões da questão em tópicos para delimitar os objetivos e respostas oriundas de cada uma. As questões foram elaboradas pela autora, exceto pela a questão 7 que foi adaptada da literatura.

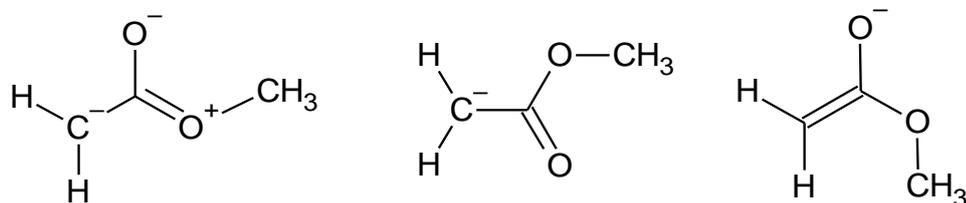
6.1.1 Análise 1

Na questão 1 do questionário, conforme mostra a Figura 9, foram apresentados aos participantes três estruturas para cada fórmula química e então questionou-se sobre se tratavam da mesma espécie química em cada um dos casos.

a) $C_6H_{10}O$



b) $C_3H_5O_2$



Estas estruturas correspondem à mesma espécie química? Quais são suas considerações sobre a resposta?

Figura 9 – Questão 1 do questionário.
Fonte: própria, 2019.

Um dos objetivos dessa questão foi verificar quais eram as interpretações dos alunos diante dos modelos representacionais estruturais das moléculas e, conseqüentemente, verificar se os mesmos eram capazes de identificar as estruturas do item b) como sendo contribuintes de ressonância de uma mesma molécula. O item a) serviu para forçar o aluno a raciocinar, contar a quantidade de átomos na molécula e verificar a conectividade dos átomos para que no item b), tivesse raciocínio semelhante para resolução.

Após leitura das respostas dadas à questão, categorizaram-se as proposições em cinco subdivisões dispostas na Tabela 2:

Tabela 2 – Categorias da questão 1.

Nº	Descrição da categoria	Quantidade	Porcentagem
1	Respondeu de forma coerente para ambas as questões;	3	7,3
2	Respondeu de forma coerente somente para o item b);	10	24,4
3	Respondeu ambas as questões, mas não soube explicar de que fenômeno se tratava;	8	19,5
4	Usou de conceitos inadequados, mas com rigor científico para o item b)	11	26,8
5	Não respondeu ou deu respostas fora do contexto	9	22,0

Fonte: própria, 2019.

Categoria 1: Respondeu de forma coerente para ambas questões.

Para serem submetidas a esta categoria, as respostas dadas deveriam apresentar descrições coerentes com o propósito dos dois itens da questão 1:

Aluno3 (engenharia): *“Não, na letra (a) são isômeros e na letra (b) a configuração está em ressonância”.*

Aluno 5 (engenharia): *“Na letra (a) são espécies químicas diferentes, pois a ligação dupla difere em cis e trans. Na letra (b) é a mesma espécie química, são estruturas ressonânticas da mesma espécie”.*

Aluno 7 (engenharia): *“(a) Não são os mesmos compostos. (b) é o mesmo em ressonância.”*

Os critérios para as respostas pertencerem a categoria 1 foi de interpretar a molécula de (a) como sendo diferente, portanto, associá-las a quaisquer tipos de isomeria (geométrica ou constitucional) e associar (b) às contribuintes de ressonância de uma mesma molécula. De modo geral, a resposta deveria ser negativa para o item a) e positiva para o item b).

Categoria 2: Respondeu de forma coerente somente para o item b:

A categoria 1 e a categoria 2 para respostas, diferem sutilmente. Os estudantes elencados nestas duas primeiras associaram as estruturas das moléculas de (b) como sendo contribuintes de ressonância, mas para (a), os que integram a categoria 2 usaram descrições não coerentes com a situação proposta afirmando tratar da mesma molécula:

Aluno4 (engenharia): *“As figuras da letra (a) correspondem a mesma espécie química, apenas estão apresentadas de forma diferente. A letra (b) corresponde a mesma espécie química com configurações de ressonância diferentes”.*

Aluno 2 (licenciatura): *“Sim. Na letra (a) temos rearranjos distintos, e na (b) temos diferentes formas de ressonância”.*

Aluno31 (licenciatura): *“Sim. (a) só muda a disposição da molécula e em (b) são estruturas contribuintes de ressonância”.*

Categoria 3: Respondeu ambas questões, mas não soube explicar de que fenômeno se tratava:

Aqui estão categorizadas as respostas dadas para ambas as questões, mas não apresentaram fundamentações ou justificativas, portanto podem ser consideradas respostas randômicas:

Aluno 19 (licenciatura): *“Considerando o mesmo número de átomos, as ligações e grupos funcionais, correspondem as mesmas espécies química. Não sei dizer se tais imersões passa ter outra implicação”.*

Aluno17 (licenciatura): *“Sim, todos correspondem a mesma estrutura”.*

Aluno 16 (licenciatura): *“Sim, as estruturas das questões acima, estão apenas organizadas de uma forma distinta da anterior para mostrar as diversas possibilidades”.*

Categoria 4: Usou de conceito inadequados, mas com rigor científico

Nesta categoria estão as respostas dadas que possuem conceitos científicos da química, mas que equivocadamente foram empregados para os itens da questão 1:

Aluno 9 (engenharia): *“São os mesmos compostos, mas na (a) temos enantiômeros do mesmo composto, e na (b) temos os híbridos de ressonância do composto”.*

Aluno8 (engenharia): *“(a) isomeria geométrica e (b) tautomeria”.*

Aluno 3 (licenciatura): *“(a) é a mesma espécie química, somente com um arranjo diferente, as três tem a mesmas ligações, mesmas cargas e ligações duplas no mesmo lugar. (b) Não é a mesma espécie química, apesar de ter os mesmos elementos, descrevem configurações diferentes, as cargas mudam de posição modificando as ligações entre os átomos”.*

Aluno21 (licenciatura): *“Não, porque tem diferença de ressonância devido as ligações duplas se localizarem em carbonos diferentes”.*

Categoria 5: Não respondeu ou deu respostas fora do contexto

Os que não responderam a questão 1 ou deram resposta fora do contexto ou sem coesão foram classificados como sendo pertinentes à categoria 5:

Aluno 12 (licenciatura): *“Não, uma é aldeído e outra acetona”.*

Aluno 15 (licenciatura): *“Não, as estruturas da (a) correspondem a um éter, de cadeias organizadas diferentes, mas iguais. Já as estruturas da (b) são funções diferentes, que possuem a mesma fórmula química”.*

Aluno 3 (licenciatura): “*Não, pois com os elétrons a mais ou a menos possibilita diferentes estruturas e níveis de energia*”

Como já dito anteriormente, o objetivo principal da Questão 1 era de identificar quais dos participantes afirmaram que as diferentes estruturas do item b) eram contribuintes de ressonância da mesma molécula. Diante disto, as categorias foram criadas de acordo com a diversidade de respostas dadas e cada uma destas foi designada a uma única categoria. As categorias estão intimamente interligadas e através delas é possível delimitar quais são os obstáculos que interferiram no momento de responder as questões.

Os integrantes da categoria 1 foram capazes de contemplar o objetivo principal e ainda responder de forma adequada o item a). Os da categoria 2 também foram capazes de identificar as contribuintes de ressonância do item b). De um modo geral, essas duas primeiras categorias poderiam formar uma única, pois englobam alunos que interpretaram de modo correto os modelos pictóricos da representação estrutural da molécula do item b), e, portanto, cumpriram com o objetivo da questão. Entretanto, foi necessário a criação das duas categorias para considerar as respostas dadas no item a) desta questão.

Diante da análise das respostas do item a) foi possível detectar um obstáculo na compreensão do conceito de isomeria. A molécula representada em três diferentes situações no item a) é a 3 hexen-2-ona (duas das representações em conformação *trans* e uma em *cis*) e apresenta isomeria geométrica, como alguns participantes da pesquisa sugeriram. Já outros, sugeriram que a representação tratava da mesma molécula numa posição diferente dando a ideia que molécula foi rotacionada no plano. O provável responsável pela remessa de respostas associando isomeria é a explicitação dos hidrogênios no carbono vinílico e a disposição espacial que ocupam em duas das três representações, remetendo a ideia de conformação *cis* e *trans*. (Figura 9). Para confirmar que se tratava de diferentes moléculas, nomeá-la seria o suficiente, considerando as isomerias.

Um fator que deve ser levado em consideração para os demais não terem percebidos as representações no item a) como sendo isômeros e, portanto, espécies químicas diferentes (para a primeira e a segunda representação) é a incompreensão do que pode vir a ser o grupo R ligados aos carbonos que fazem a dupla ligação.

As respostas das categorias 3 e 5 possuem mais semelhanças do que diferenças entre si, pois os integrantes de ambas categorias não conseguiram identificar o fenômeno associado a representação molecular no item b), e por isso, facilmente poderiam ser aglutinadas em uma só categoria: a categoria das respostas aleatórias. Todavia, a subdivisão se deu para evidenciar a existência de raciocínio, ainda que de difícil interpretação e identificação, que levaram os estudantes a serem categorizados na 3, pois estes foram capazes de afirmar que se tratava da mesma molécula nas três representações, mas não souberam citar o nome do fenômeno responsável pela dinamicidade da deslocalização eletrônica. Desta forma, não é possível dizer que os estudantes pertencentes à categoria 3 compreendem o fenômeno de ressonância e as contribuintes.

Entretanto, o mais intrigante foram as respostas elencadas na categoria 5. Nesta categoria estão as repostas dos alunos que se distanciaram consideravelmente do que foi questionado evidenciando a nítida defasagem da habilidade de interpretação textual. Esta defasagem está aliada ao desconhecimento químico dando origem a respostas que além de não possuírem conexão com a pergunta, empregam conceitos da ciência química de modo inadequado. Por exemplo, houveram respostas que consistiam em dizer quais funções orgânicas apareciam em cada um dos itens (fugindo da questão principal feita) e as ditas foram atribuídas de forma equivocada (classificaram de modo errôneo as funções orgânicas nas estruturas).

As respostas que apresentaram rigor científico, tais como, citação de fenômenos específicos da química, mas incompatíveis com os modelos representacionais estão dispostas na categoria 4. Por apresentarem estas características, os autores das respostas aqui catalogadas possuem duas dificuldades a serem combatidas. A primeira é a inaptidão de identificar, principalmente, as estruturas do item b) como sendo contribuintes de ressonância e a segunda é a insciência do conceito químico considerado incompatível e empregado como sendo o fenômeno relacionado aos modelos pictóricos. Logo, para superá-los é necessário trabalhar o conceito para que o aluno o entenda de forma que ele tenha consciência que o emprego que fez foi inadequado diante dos modelos representacionais, pois provavelmente, este uso incongruente do conceito está intrinsecamente ligado ao fato do aluno não o ter compreendido num contato anterior.

Há algumas considerações a serem feitas em relação a esta questão. Esta questão foi classificada pelos estudantes como sendo uma questão de nível moderado para resolução (7 votos como sendo a questão mais fácil e 5 votos como sendo a questão mais difícil do questionário) e contemplou conceitos que os estudantes costumam ter contato no início do curso. É interessante ressaltar que, para determinados alunos a diferença das distribuições das cargas nas três representações da molécula do item b) configuram três moléculas diferentes. Outro fator que contribui para esse parecer diante do questionado é a alteração do local da dupla. Estas informações refletem a dificuldade de identificar a molécula passível de ressonância, a dificuldade de manipular as estruturas de Lewis da molécula e, por conseguinte, a movimentação do elétron. Igualmente, ficou nítido a desatenção para responder à questão como é possível notar na descrição da resposta dada pelo Aluno 1:

Aluno (licenciatura): a) *“(a) Não, analisando a quantidade de carbonos e hidrogênios as estruturas são diferentes (fórmula moleculares) não sendo isômeros”.*

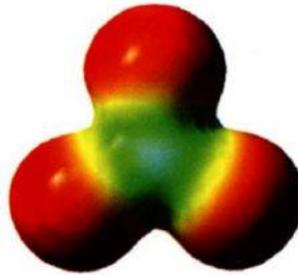
Analisando de modo geral as respostas da questão 1 foi possível observar a existência dos obstáculos epistemológicos de Bachelard. O obstáculo epistemológico mais recorrente foi o da generalização. Nenhum dos participantes aprofundaram a resposta ou mencionaram deslocalização do elétron. Provavelmente, os responsáveis por respostas curtas, em alguns dos questionários, foram o curto tempo para resolução deste, o descaso e o desinteresse, impossibilitando maior dedicação. Não se pode descartar de modo algum a ignorância sobre os assuntos questionados.

Mesmo com intenção de descobrir as concepções dos alunos sobre as contribuintes de ressonância e as eventuais objeções sobre os modelos representacionais e o fenômeno, a questão 1 possibilitou a identificação de outras dificuldades da compreensão de outros conceitos, como tautomeria, enantiômeros, isomeria constitucional e geométrica.

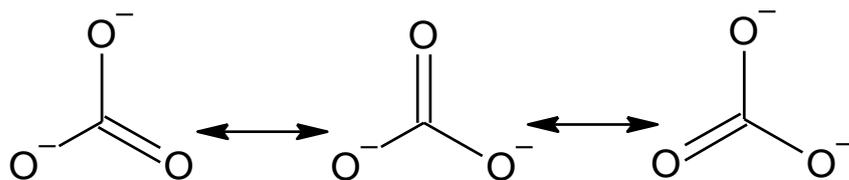
6.1.2 Análise 2

A questão 2 tinha como objetivo averiguar se os participantes possuíam familiaridade com o mapa de potencial eletrostático (MEP), especificamente do íon carbonato e se conseguiam chegar a uma resposta interpretando-o. Nas alternativas, estavam a opção das contribuintes de ressonância e a opção do híbrido de ressonância, conforme mostrado na Figura 10.

Qual das representações abaixo é a mais condizente com o mapa potencial eletrostático do íon carbonato?



(a)



(b)

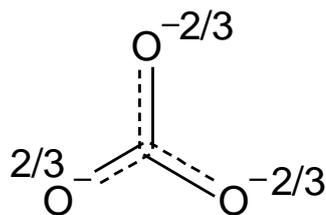


Figura 10 – Questão 2 do questionário.
Fonte: própria, 2019.

As categorias provenientes da unitarização estão dispostas na Tabela 3:

Tabela 3 – Categorias da questão 2

Nº	Descrição da categoria	Quantidade	Porcentagem
1	Assinalou híbrido e justificou interpretando o MEP;	7	17,1
2	Assinalou híbrido e justificou com ideias condizentes com deslocalização eletrônica;	6	14,6
3	Assinalou híbrido, mas justificou com ideias mecanicistas;	7	17,1
4	Assinalou as contribuintes e usou de raciocínios alternativos;	7	17,1
5	Não respondeu ou deu respostas fora do contexto (não justificadas)	14	34,1

Fonte: própria, 2019.

Categoria 1: Assinalou o híbrido e justificou interpretando o MEP:

Nesta categoria estão os que assinalaram a resposta mais adequada baseada na interpretação do mapa de potencial eletrostático do íon carbonato e justificaram com informações condizentes ao mapa.

Aluno 8 (licenciatura): “Assinalou o híbrido de ressonância -, O potencial está ‘igual’ em todos os O indicando assim a mesma carga”.

Aluno 9 (licenciatura): “De acordo com o mapa potencial eletrostático as três extremidades tem o mesmo potencial a todo momento o que me leva a concluir que apenas a letra (b) pode representar o íon carbonato”.

Aluno 2 (engenharia): “Escolhi por representar melhor a igualdade de potencial eletrostático em cada extremidade”.

Categoria 2: Assinalou o híbrido e justificou com ideias condizentes com deslocalização eletrônica:

Pertencem a esta categoria as respostas que apresentaram nuances de que o participante utilizou de ideias referentes a deslocalização eletrônica.

Aluno 7 (licenciatura): “-Assinalou o híbrido de ressonância-, Pois não dá pra prever certo onde a dupla estará. Logo, a melhor forma para identificar a ressonância será esta”.

Aluno 16 (licenciatura): “-Assinalou o híbrido de ressonância-, Pois nesta representação não há uma localização do elétron”.

Aluno 22 (licenciatura): “-Assinalou o híbrido de ressonância-, Pois como a molécula sofre o efeito de ressonância, teoricamente o comprimento das ligações existentes são iguais”.

Categoria 3: Assinalou o híbrido, mas justificou com ideias mecanicistas:

Nesta categoria estão as respostas que optaram pela alternativa que contemplava o híbrido, mas a justificativa dada possui características e descrições mecanicista, cunhadas pela ciência clássica, tais como, palavras que dão a ideia de localizar o elétron, como posição e alternância entre ligações:

Aluno10 (licenciatura): “-Assinalou o híbrido de ressonância-, Pelo fenômeno de ressonância, a dupla pode ir alternando entre as ligações, nas três extremidades tem os mesmos elementos”.

Aluno 25 (licenciatura): “-Assinalou o híbrido de ressonância-, Neste há a representação final, pois a dupla ligação pode ressonar entre os três oxigênios”.

Aluno 26 (licenciatura): “-Assinalou o híbrido de ressonância-, As ligações são todas iguais no mesmo arranjo”.

Categoria 4: Assinalou as contribuintes usou de raciocínios alternativos:

Os participantes que assinalaram a resposta que consistia na demonstração das contribuintes de ressonância do íon carbonato e justificaram de forma alternativa, e conseqüentemente ingênua, foram alocadas nesta categoria:

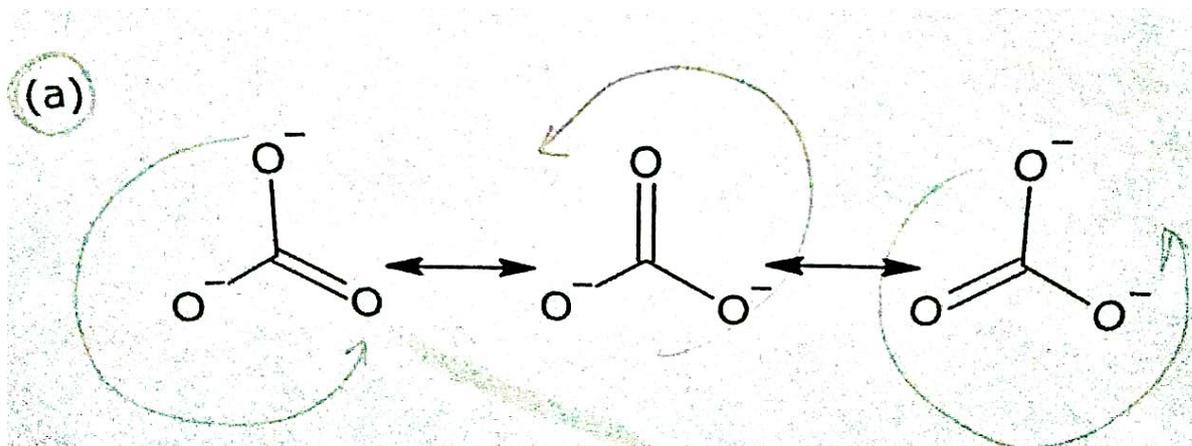
Aluno1 (licenciatura):

Figura 11 – Resposta do aluno referente a questão 2.
Fonte: própria, 2019.

Aluno3 (licenciatura) “Assinalou as contribuintes de ressonância -, A dupla ligação sempre estará em movimento”.

Aluno17 (licenciatura) “Assinalou as contribuintes de ressonância -, Devido a ressonância a dupla muda de lugar”.

Categoria 5: Não respondeu ou deu respostas fora do contexto (não justificadas).

Aqui estão elencadas as respostas assinaladas, sejam elas relacionadas ao híbrido de ressonância ou as contribuintes, que não apresentaram raciocínio na descrição ou qualquer tipo de justificativa. Das 11 respostas aleatoriamente dadas, 4 marcaram o híbrido de ressonância como a melhor representação do MEP do íon carbonato, os outros 7 optaram por assinalar as contribuintes de ressonância como a mais adequada representação do MEP. Somam 4 os alunos que não respondera.

Esta questão teve como objetivo principal verificar se os alunos, ao entrarem em contato com o MEP do íon carbonato, seriam capazes de atribuir qual a melhor opção, dentre as disponíveis, de representação do fenômeno de ressonância como resposta mais adequada. Nas opções estavam disponíveis as contribuintes de ressonância do íon carbonato e o híbrido de ressonância da mesma molécula. Nenhuma das opções pode ser considerada equivocada, mas o híbrido de ressonância está mais condizente ao MEP da molécula, pois contempla a deslocalização eletrônica e justifica as igualdades dos comprimentos das ligações carbono-oxigênio.

Sendo assim, os que chegaram à resposta mais adequada diante das opções e justificaram a escolha feita descrevendo, por exemplo, que os oxigênios possuíam o mesmo potencial por apresentarem as mesmas cores nas extremidades, estão alocados na categoria 1. Nesta categoria estão os alunos que optaram por escolher a representação do híbrido de ressonância embasando a escolha feita pela interpretação do MEP. Entretanto, o fato de saber como interpretar o MEP não é sinônimo de compreensão da deslocalização eletrônica, pois informações como conhecer o que representa o tracejado na estrutura ou assimilar a existência de cargas diferentes de um número inteiro (Figura 10) podem ter sido ignoradas. As respostas desta categoria podem ser encaradas como se, para que o estudante chegasse neste raciocínio, precisasse somente interpretar um gráfico de barras e dizer qual das barras é a mais alta.

Logo, para diferenciar os que optaram pelo híbrido de ressonância e usaram descrições coerentes com a deslocalização eletrônica, foi criada a categoria 2. Ainda que as respostas que apareceram com estas nuances sejam superficiais, encontrar alunos que justificaram sua escolha não pela cor das extremidades do MEP iguais para os átomos de oxigênio, mas sim, porque o híbrido contempla a deslocalização eletrônica é uma informação animadora. Em minoria, os que usaram desta ideia para justificar a escolha estão cientes, ou mais próximos de entender, o que de fato representa a estrutura do híbrido de ressonância e, ainda que de modo subconsciente, concebem que as contribuintes não ficam alternando entre si a todo instante.

Escolher o híbrido de ressonância e fundamentar com descrições mecanicistas é impreciso, pois são ideias incompatíveis. Nas descrições dadas pelos alunos da categoria 3 surgiram justificativas com características mais conciliáveis com as contribuintes de ressonância revelando a incongruência entre a escolha do modelo representacional e a explicação dada. Esta categoria de resposta evidencia a dificuldade em compreender as ideias iniciais da quântica e descrevê-las. Há uma ruptura entre a ciência clássica e a quântica, uma quebra de paradigma. Das ideias que funcionam e explicam bem os fenômenos macroscópicos do cotidiano, pouco se pode utilizar para embasamento de ideias no mundo de medidas menores que o átomo, por isso as contrariedades são comuns nesta categoria. Todas as descrições das respostas aqui usam da ideia de alternância entre as duplas ligações, como se a dupla ligação fosse desfeita e refeita com o átomo de oxigênio adjacente. São ideias

completamente mecânicas e não contemplam a dinâmica que comprovadamente ocorre. Estes fatos revelam a mecanização do ensino e a obrigatoriedade dos alunos a memorizar o fenômeno ou o modelo e não o compreender, implicando em situações como estas da categoria 3.

Os que optaram por escolher as contribuintes como a melhor representação em relação ao MEP e defenderam a ideia com suas argumentações são integrantes da categoria 4. De modo similar a categoria anterior (3) os alunos usaram de descrições com características mecanicistas, usando de proposições que contemplavam movimento e alternância de ligações. Pode-se afirmar que os que estão alocados nesta categoria possuem maior congruência no raciocínio do que os da categoria 3, já que a escolha do modelo é coerente com a justificativa dada (salvo àqueles que utilizaram de ideias intuitivas e ingênuas). Entretanto, estes estudantes estão distantes de contemplar a compreensão do híbrido de ressonância e a implicação deste modelo. Cinco dos sete participantes desta categoria afirmaram não terem familiaridade, no diagnóstico aplicado no final da pesquisa, com quaisquer modelos de híbridos de ressonância e diante disto, é válido questionar: os estudantes não têm contato com os híbridos de ressonância na graduação que não sejam o benzeno? Isto configura um obstáculo epistemológico generalista, pois o modelo híbrido de ressonância aparenta ser uma particularidade do benzeno. Esta hipótese somente é válida se os alunos compreendem a diferença entre as retas conjugadas e o círculo tracejado no centro do hexágono nos modelos pictóricos e, conseqüentemente, conhecem as diferenças entre as contribuintes de ressonância e o próprio híbrido.

Um integrante da categoria 4 merece uma análise especial. A Figura 11 é o exemplo ideal para demonstrar a excentricidade do raciocínio de cada pessoa. O participante justificou o MEP como a rotação da contribuinte. Este raciocínio pode ser considerado totalmente válido, entretanto, absurdamente equivocadamente implicando na denominação de obstáculo realista. Este aluno não entende o que é deslocalização eletrônica, o que significa as características do híbrido de ressonância e provavelmente desconhece o fenômeno de ressonância, assim como outros. O maior obstáculo que este caso explicitou foi o da ingenuidade, da intuição, da ciência do fácil e simples e desconstruir estas concepções alternativas exigirá desse aluno dedicação. As concepções que são incongruentes com as cientificamente comprovadas, como esta da Figura 11 se mostrou, devem ser

combatidas com conhecimento científico para que não sejam utilizadas como embasamento para outros conhecimentos.

Os estudantes da categoria 5 que não justificaram suas escolhas inviabilizam a criação de hipóteses para embasar tais preferências e assim, não é possível sequer analisar tais escolhas. Os que optaram por não responder a questão transpassaram desinteresse ou ainda, pode ser considerado como defasagem deste conteúdo.

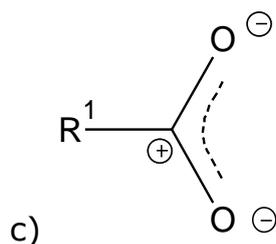
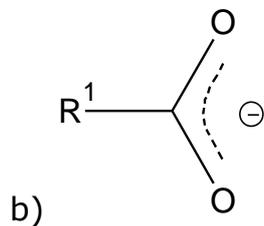
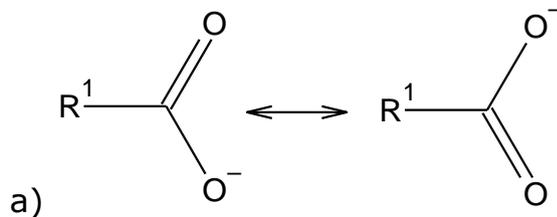
As ideias iniciais da quântica, tais como, dualidade onda-partícula e o princípio da incerteza poderiam ser abordadas desde o início do curso familiarizando os alunos com estes princípios, mas há resistência por parte de alguns professores e recusa por parte dos alunos. Essa animosidade com a quântica parte do pressuposto de que é necessário saber calcular e compreender cálculos complexos para entender o mundo quântico e suas ideias e de fato é, mas a teoria quando assimilada pode favorecer a compreensão de tópicos como estes discutidos. O preconceito precisa ser desfeito para que aprendizagem ocorra, os obstáculos sejam superados e para que situações como estas ocorram cada vez menos. É necessário parar de “demonizar” a quântica e usá-la como uma ferramenta para o ensino.

6.1.3 Análise 3

Na Figura 12, a questão 3 é apresentada e exigia dos alunos leitura de um pequeno texto com dados científicos e interpretação para responder. O objetivo era analisar as concepções dos alunos sobre deslocalização eletrônica, através das quatro alternativas de respostas que consistiam em modelos representacionais de híbridos de ressonância.

Medidas experimentais evidenciaram que um ácido carboxílico (R-COOH) apresentou para a ligação C=O um comprimento de 0,120 nm (nanômetros), enquanto que para a ligação C-O o comprimento relatado é de 0,134 nm. Por outro lado, o sal sódico desse mesmo ácido (R-COONa) apresenta um único valor de comprimento de ligação para ambas as ligações entre o carbono e o oxigênio, cujo o valor é 0,127 nm.

Com base nessas informações justifique qual das representações abaixo seria a mais consistente com os dados experimentais:



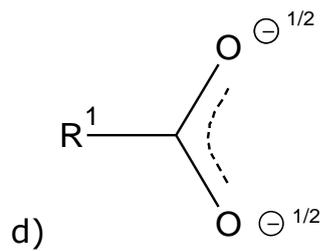


Figura 12 – Questão 3 do questionário.
Fonte: própria, 2019.

Diante das análises feitas, elaborou-se a Tabela 4 para explicitar as categorias que emergiam:

Tabela 4 – Categorias da Questão 3.

Nº	Descrição da categoria	Quantidade	Porcentagem
1	Assinalou a alternativa mais adequada, mas não justificou;	9	22,0
2	Assinalou uma das alternativas menos adequadas, mas não justificou;	16	39,0
3	Assinalou uma das alternativas menos adequadas e justificou;	8	19,5
4	Assinalou a alternativa mais adequada e teve raciocínio compatível com o modelo;	3	7,3
5	Não respondeu	5	12,2

Fonte: própria, 2019.

Categoria 1 e 2: Assinalou aleatoriamente quaisquer das opções e não justificou.

Os estudantes participantes da pesquisa que escolheram entre as alternativas, mas não justificaram a escolha feita estão alocados numa destas categorias. A falta de justificativa interfere na análise textual discursiva, uma vez que não há texto para se analisar. Pode-se inferir ainda que as respostas assinaladas foram escolhidas aleatoriamente, sem qualquer uso de conhecimentos ou reflexão.

Categoria 3: Assinalou uma das alternativas menos adequadas e justificou.

Nesta categoria estão os estudantes que optaram por uma das quatro opções, mas a escolha feita não foi a mais adequada, implicando diretamente na justificativa dada:

Aluno 1 (engenharia): Assinalou a alternativa b. *“Existe um fenômeno de ressonância na molécula, mantendo a carga no centro”.*

Aluno 2 (licenciatura): Assinalou a alternativa a. *“Como há diferença de ligação sigma e pi, há também diferença relacionada ao tamanho das ligações”.*

Aluno 3 (licenciatura): Assinalou a alternativa c *“Pois os oxigênios protonizam o carbono”.*

Categoria 4: Assinalou a alternativa mais adequada e teve raciocínio compatível com o modelo.

Os estudantes que selecionaram dentre as opções a mais adequada e justificaram do seu modo estão nesta categoria.

Aluno29 (licenciatura): Assinalou a alternativa d. *“Como ambas as ligações C-O tem o mesmo comprimento a carga dos oxigênios devem ser iguais. Escolhi essa representação em detrimento da (b) e (c) em razão de acreditar que é a que melhor representa o que acontece na molécula em relação aos potenciais eletrostáticos de cada oxigênio”.*

Aluno31 (licenciatura): Assinalou a alternativa d. *“Mas essa ainda é a melhor, pois a densidade está dividida de forma igual nas extremidades”.*

Esta questão, num primeiro momento, serviu para mostrar mais uma vez como as pessoas, de modo geral, não leem com atenção os textos, implicando diretamente na interpretação de uma questão. Antes de iniciar a discussão, ressalva-se que nenhuma das alternativas está totalmente errada, pois todas eram alternativas em potencial para ser escolhidas, desde que o modelo selecionado apresentasse coerência para o aluno. Entretanto a letra d) é o modelo mais adequado para representar a igualdade do comprimento das ligações.

É possível observar a variedade de respostas dadas nesta questão, já que esta não apresentou o MEP da molécula para facilitar a compreensão do enunciado. Para confirmar essa última afirmativa, dos 24 alunos que responderam opções

diferentes da opção d), 13 optaram pela alternativa a); 7 optaram pela alternativa c) e 4 escolheram a opção b).

Observa-se que os alunos que optaram pela alternativa a) provavelmente não compreenderam o enunciado ou não entendem o modelo das contribuintes de ressonância e suas implicações. Se de fato interpretassem o modelo, perceberiam que as contribuintes dão ideia de alternância entre a ligação dupla e, conseqüentemente, mudariam os comprimentos das ligações carbono/oxigênio. Não se pode descartar a persistência do modelo das contribuintes de ressonância tem em relação ao híbrido de ressonância (deslocalização eletrônica), pois as questões das provas do ensino superior não pedem ao aluno para “representar o híbrido de ressonância”, mas pedem para “representar as estruturas de ressonância” de determinado composto. Invariavelmente, os alunos dão mais importância para os conteúdos que caem em provas, pois exige que determinado conteúdo seja estudado. Na categoria 3, há a exemplificação exata desta situação, comprovando o vínculo do modelo das contribuintes de ressonância com a ideia de ligações de comprimentos diferentes.

Com estas informações é possível perceber a relação intrínseca que as contribuintes de ressonância possuem com o fenômeno de ressonância. Obviamente, sabe-se da importância das contribuintes para a compreensão do fenômeno, mas deve-se combater a ideia de alternância entre elas, visto que dados experimentais comprovam a inexistência desta alteração refutando estas concepções ingênuas. Para combater esta ideia equivocada e impedir que concepções alternativas impossibilitem a resolução de questões que exigem raciocínio mais refinado, o modelo do híbrido de ressonância é o mais adequado para representação do fenômeno, pois é capaz de contemplar a essência dele: a deslocalização eletrônica. Aliada com pequenas mudanças em sala, como a substituição de termos que passam a percepção do fenômeno como sendo algo estático, a inserção de outros exemplos além dos habituais e as conseqüências que o fenômeno apresenta numa determinada molécula, poderiam ser evitados resultados como estes, propiciando melhor desempenho dos estudantes.

A alternativa b) apresenta o modelo semelhante ao da alternativa d), contudo, a carga está centralizada. Se nesta questão constasse o MEP da molécula, logo a alternativa b) seria descartada, pois a densidade eletrônica está igualmente dividida nos dois átomos de oxigênio da molécula e não centralizada. Mas esta ausência é

proposital, pois a habilidade de interpretação das questões deve ser explorada juntamente ao conhecimento químico. De modo similar, a alternativa c) apresenta a ideia do carbono realizando cinco ligações simultâneas. Esta informação, por si só, seria o suficiente para descartar esta alternativa como a mais adequada representação. Sendo assim, os estudantes que optaram entre as alternativas b) e c) e, do seu modo, justificaram, apresentaram proposições não compatíveis com o modelo implicando em respostas que nem mesmo apresentavam nexos, porque tratavam-se da própria descrição do modelo que optaram (carga centralizada e carbono “protonizado” - Categoria 3) explicitando a incompreensão do que significa a representação escolhida.

Dentre os embates cognitivos que a Questão 3 pode ter proporcionado, o mais notório é a dificuldade de representar uma determinada ideia. No caso específico, não foi exigido dos alunos que representasse a molécula do texto, mas foi solicitado que eles escolhessem dentre as opções a melhor representação para o que estava descrito no enunciado, o que de certa forma facilitou a resolução da questão. Entretanto, se fosse dada a liberdade de criar e representar, resultados diferentes poderiam aparecer resultando em criação de outras várias categorias. Diante da possível variedade de resultados que surgiriam revelando os diversos níveis de conhecimento.

Os participantes da pesquisa que adotaram a alternativa d) como a mais adequada representação dos comprimentos iguais do sal do ácido carboxílico e justificaram de forma congruente somam 7,3% do total da amostra. Este fato é o reflexo da ausência do uso recorrente destes modelos no ensino e a carência de sentido quando utilizados. Analisando as respostas que compõem a categoria 4 é praticável estipular que os que participam desta categoria possuem conhecimento básico em química quântica, como no caso do aluno que associou elétron/comprimento de onda e as duas outras Alunos que, aparentemente, foram capazes de imaginar o MEP da molécula e vincularam a resposta com potencial eletrostático e densidade eletrônica, ambas informações inerentes das propriedades singulares dos elétrons. Diante destas informações é válido indicar o quão competente é o conhecimento em quântica, ainda que de modo básico, para resolução destas questões, e como os MEP's podem servir para fornecer suporte às representações que envolvam deslocalização eletrônica.

Classificado na categoria 4, um aluno demonstrou possuir conhecimentos de definições pertinentes à química quântica:

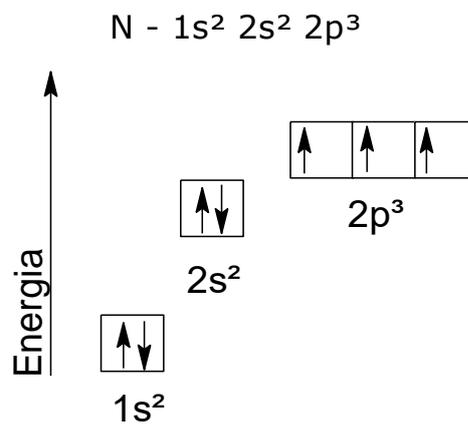
Aluno 7 (licenciatura): *Assinalou a alternativa d. “Pois as duas possuem um só comprimento de onda, logo cada uma corresponde a metade do comprimento total”.*

Entretanto, é visível a confusão que o aluno faz ao responder esta questão, usando “comprimento de onda” como sendo sinônimo de “comprimento de ligação”, dado exposto no enunciado e explicado. O que pode ter gerado esta confusão, além do trivial conhecimento dúbio que o aluno tem, é a associação dos elétrons como responsáveis pela ligação química, o que de certo modo, explicaria o uso inadequado dos sinônimos. Em suma, os dados fornecidos no enunciado referem-se ao comprimento das ligações e não aos comprimentos de onda dos elétrons. Por outro lado, com esta resposta evidencia-se a visão de um aluno que interpretou o elétron como sendo uma onda para justificar as cargas igualmente distribuídas nas extremidades

6.1.4 Análise 4

Visando verificar as concepções que os alunos apresentam diante de uma situação em que o átomo hibridizado foge do usual exemplo do carbono e, conseqüentemente, gerando o embate sobre o motivo pelo qual a hibridização de orbitais atômicos ocorre, a questão 4 foi elaborada, conforme a Figura 13 mostra.

A distribuição de Linus Pauling para o nitrogênio pode ser feita desta forma:



Sabendo que o nitrogênio neste estado fundamental, representado na figura acima, apresenta três orbitais p semipreenchidos, o que supostamente possibilita este átomo realizar três ligações, por que na molécula de amônia o nitrogênio sofre hibridização do tipo sp^3 em seus orbitais para efetuar três ligações simples com átomos de hidrogênio?

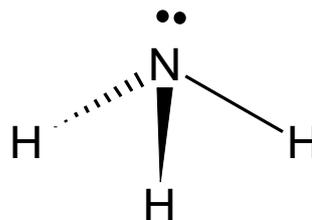


Figura 13 – Questão 4 do questionário.
Fonte: própria, 2019.

Para melhor discussão no metatexto, elaborou-se a Tabela 5 para elucidar quais são as categorias.

Tabela 5 – Categorias da questão 4.

Nº	Descrição da categoria	Quantidade	Porcentagem
1	Suprir regra do octeto.	2	4,9
2	Conferir mais estabilidade/compensação energética.	5	12,2
3	Geometria como consequência da hibridização.	11	26,8
4	Abaixamento de energia para fazer ligações.	5	12,2
5	Respostas aleatórias.	8	19,5
6	Não respondeu.	10	24,4

Fonte: própria, 2019.

Categoria 1: Suprir regra do octeto.

Aqui estão os alunos que deram resposta que de alguma maneira estavam relacionadas com a regra do octeto para conferir estabilidade ao nitrogênio:

Aluno 2 (licenciatura): *“Como os elétrons $2s^2$ estão completos (estáveis) os orbitais p suportam 3 ligações fazendo com que estabilize o octeto”.*

Aluno 10 (licenciatura): *“Porque a hibridização se torna mais estável o átomo e forma melhor o octeto”.*

Categoria 2: Conferir mais estabilidade/compensação energética.

Nesta categoria estão as respostas que justificam a hibridização com a finalidade de conferir mais estabilidade a molécula, como diminuição de energia, mas sem vincular a resposta com ligações química.

Aluno3 (licenciatura): *“Porque sua energia ficará mais baixa, compensando a sua hibridização”.*

Aluno14 (engenharia): *“Para reduzir o nível de energia do orbital p ”.*

Aluno 22 (licenciatura): *“Desta forma, promove um abaixamento energético, tornando-a mais estável”.*

Categoria 3: Geometria como consequência da hibridização.

As respostas que justificaram a hibridização que ocorre no átomo de nitrogênio como responsável pela geometria da molécula estão aqui dispostas (a hibridização precede a geometria). As respostas que explicaram a hibridização envolvendo o par de elétrons na justificativa também estão elencadas nesta categoria.

Aluno7 (licenciatura): *“A amônia sofre hibridização sp^3 por conta do par de elétrons não compartilhados”.*

Aluno 18 (licenciatura): *“Por causa da estrutura trigonal planar”*

Aluno 24 (licenciatura): *“Pelo fato de ter o par de elétrons, a distância deve ser esta”.*

Categoria 4: Abaixamento de energia para fazer ligações.

Os estudantes que fundamentaram o fenômeno de hibridização no átomo de nitrogênio para abaixamento de energia possibilitando que ocorra a ligação com os átomos de hidrogênios constituem essa categoria.

Aluno9 (licenciatura): *“Pois ao hibridizar a energia necessária para as ligações é menor, o que de certa forma compensa a hibridização”.*

Aluno31 (licenciatura): *“Para que a energia dos orbitais estejam compatíveis com a energia dos orbitais s do hidrogênio para que possa realizar ligações simples, ou seja, há redução na energia dos orbitais p ao ocorrer a hibridização”.*

Aluno 29 (licenciatura): *“Para que as ligações possuam os mesmos valores energéticos”.*

Categoria 5: Respostas aleatórias.

As respostas que poderiam gerar, individualmente, outras categorias foram dispostas nesta categoria: as respostas aleatórias.

Aluno17 (licenciatura): *“Porque a molécula de amônia não tem capacidade de acomodar mais elétrons, o seu máximo é 3”.*

Aluno 20 (licenciatura): *“Sim, pois possuem orbitais vazios”*

Aluno 25 (licenciatura): *“Devido sua nuvem eletrônicas”*

Aluno26 (engenharia): *“Porque são ligações simples, se fossem ligações duplas ou triplas seriam hibridizações diferentes”.*

Esta questão foi considerada como a segunda mais difícil de resolver do questionário. Este mérito não é em vão, utiliza-se um átomo diferente do carbono para ocupar a posição de protagonista da questão. Em suma, a questão exigia do aluno reflexão para solucioná-la, pois o modo como foi formulada tinha como objetivo gerar um embate sobre o fenômeno de hibridização questionando o fato do átomo de nitrogênio possuir três orbitais p semipreenchidos, o que logicamente o possibilitaria de realizar três ligações e mesmo tendo este aparato adequado, sofre hibridização para realizar, certamente, três ligações simples na molécula de amônia.

O que se percebe analisando as respostas coletadas é a ansiedade, pejorativamente falando, de responder questões, por exemplo, esta questão em específico permitia o aluno criar a sua resposta e mesmo assim, 80% das respostas eram objetivas a ponto de ser consideradas negligentes e excessivamente superficiais. Há quem explicou a questão com uma só palavra (energia). Mas não se pode julgar estes alunos que compõem os 80%, pois são consequências de um ensino em que se prioriza o resultado final e não o processual, como se o ensino superior fosse uma função de estado.

A categoria 1 originou-se a partir das respostas que aliaram a hibridização como se o maior objetivo dela fosse propiciar ao nitrogênio configuração de gás nobre ou completar o octeto, exclusivamente. Além de não terem compreendido a situação hipotética criada no enunciado, os alunos têm a falsa concepção de que a “regra do octeto” é a base para explicar as ligações químicas e, conseqüentemente, a hibridização dos orbitais atômicos. Mais uma vez, comprovam-se as consequências que quaisquer modelos podem influir na concepção conceitual de uma ideia. Infelizmente, esta informação também evidencia a segregação da química como ciência, em que algumas teorias consolidadas explicam alguns casos e teorias mais recentes explicam a exceção que as teorias mais antigas não dão conta de justificar.

Os alunos da categoria 2 usaram para explicar o fenômeno de hibridização concepções que envolviam energia e suas manipulações, mas não associaram estas variações de energia como sendo alicerce para compreender algo como as ligações covalentes que o nitrogênio realiza. Sendo assim, estes alunos possuem superficiais e incompletas concepções sobre o fenômeno da ocasião, não sabendo interligar as implicações que o abaixamento de energia, compensação energética e

estabilidade, como citaram nas respostas, ocasionam. Diante disto, realça-se, novamente, a superficialidade do conhecimento dos alunos.

A geometria explica a hibridização de orbitais atômicos ou a hibridização explica a geometria da molécula? É habitual a sensação de confusão quando se pensa sobre essa relação conflitante. Entretanto, o que se deve ter em mente é que as moléculas sempre existiram em determinadas conformações, com específicos ângulos de ligação e coube a nós, homens, a experimentação para contemplar a geometria destas moléculas. Assim, a teoria da hibridização de orbitais atômicos explica a geometria das moléculas de acordo com a hibridização do átomo central. Portanto, a teoria de hibridização de orbitais atômicos foi feita para explicar as ligações química covalentes e, conseqüentemente, a geometria que a molécula tem analisando como estão dispostos os ângulos de ligações. Os estudantes que compõem a categoria 3 apresentaram essa confusão específica e deram respostas que possibilitam a interpretação de que a geometria é conseqüência da hibridização do átomo. Em citações como “*Por causa da estrutura trigonal planar*” descrevem essa ideia e mais de uma vez apareceram durante as análises das respostas.

Dentro da categoria 3, um número significativo de respostas aliando a hibridização ao par de elétrons livres apareceram, como se este fato fossem o responsável pela hibridização dos orbitais atômicos do nitrogênio. Na resposta dada “*A amônia sofre hibridização sp^3 por conta do par de elétrons não compartilhados*”, fica nítida a ideia de que o aluno em questão pode ter considerado o modelo de repulsão dos pares de elétrons da camada de valência para explicar a hibridização do átomo central. Este mesmo aluno afirmou que a molécula de amônia, como um todo, sofre hibridização, incluindo os três átomos de hidrogênio, enfatizando o obstáculo de compreensão do fenômeno, pois o aluno pode acreditar que a hibridização ocorre entre orbitais atômicos de átomos diferentes e não nos orbitais atômicos de um específico átomo, configurando o que Bachelard define como obstáculo substancialista. Ao que parece, os alunos integrantes da categoria 3 não compreendem que a estrutura tridimensional da molécula foi determinada experimentalmente e depois foi propostas teorias de ligações críveis às estruturas.

Ainda que seja pequena, há uma parcela de alunos que entendem o fenômeno de hibridização como sendo o responsável por explicar as ligações covalentes que o nitrogênio realiza envolvendo justificativas como abaixamento de energia dos orbitais atômicos p para obter níveis de energia compatíveis ao orbital

atômico do hidrogênio e, sendo assim, possuem ideias compatíveis com a teoria de ligação de valência (TLV). Devido a isto, os alunos transitam entre hibridização, fenômeno específico aos orbitais atômicos, a ideias coerentes à TLV, que envolvem a sobreposição de orbitais semipreenchidos dos átomos responsáveis pelas ligações, sem confusão. Portanto, estes alunos possuem domínio, em diversos níveis de aprofundamento, evidenciando os variados níveis de conhecimento e compõem a categoria 4.

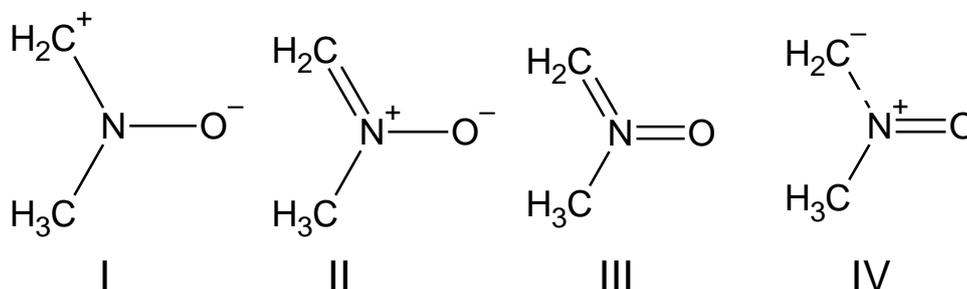
O número de estudantes que não responderam e que deram respostas aleatórias é próximo a metade total de amostra. Este fato implica como o conceito não é simples de ser compreendido e supondo que todos já tiveram contato ao estudo de hibridização de orbitais atômicos na graduação as respostas aleatórias expressam a ineficácia da metodologia que é utilizada para explicar o fenômeno de hibridização, sua origem e o porquê ocorre.

6.1.5 Análise 5

Na Figura 14, apresenta-se a questão 5 do questionário. Diferente das demais, apresentou formato fechado, ou seja, uma dentre as respostas estava correta. Deste modo, a metodologia ATD não será aplicada nesta questão para sua discussão, mas hipóteses foram elencadas evidenciando as concepções e priorizando os equívocos conceituais cometidos.

Esta questão exigia do aluno a leitura minuciosa das contribuintes disposta, em que uma não era uma contribuinte permissível, pois violava uma das alternativas listadas na questão. Para respondê-la era necessário ter o conhecimento para manipular com propriedade as estruturas de Lewis e saber realizar a movimentação dos elétrons em uma molécula.

Qual das estruturas contribuintes *não* é um contribuinte permissível? Assinale com um X:

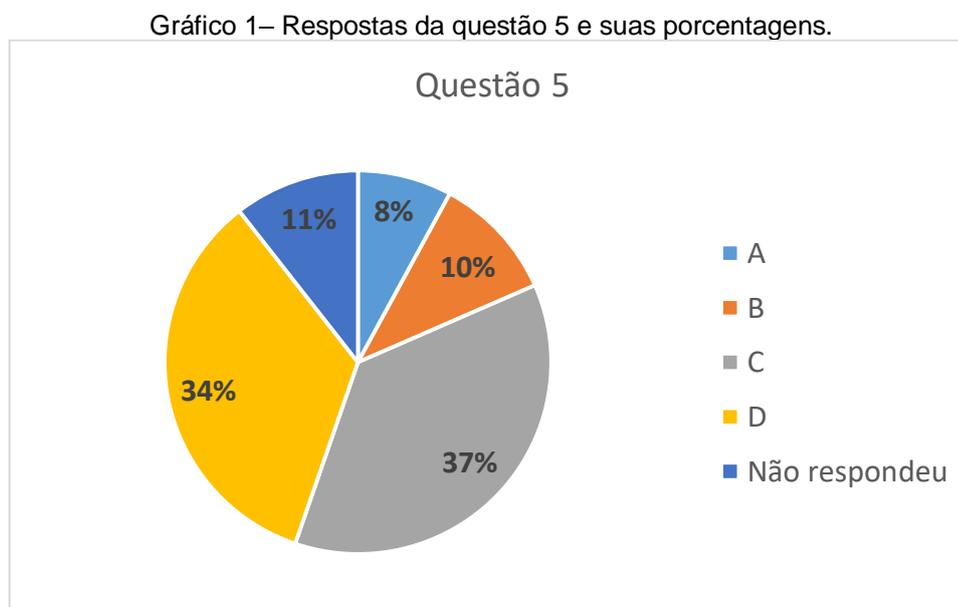


Qual das regras o contribuinte assinalado quebra?

- (a) Alterou-se a conectividade dos elementos, e não as posições dos elétrons;
- (b) Alterou-se a carga líquida da molécula;
- (c) A regra do octeto foi excedida;
- (d) O número de elétrons desemparelhados deste contribuinte não é o mesmo nos demais contribuintes permissíveis.

Figura 14 – Questão 5 do questionário.
Fonte: própria, 2019.

O Gráfico 1 mostra a porcentagem referente as respostas que apareceram na análise dos questionários. Neste gráfico, três questionários foram invalidados, pois assinalaram mais de uma opção.



Fonte: própria, 2019.

Inúmeras são as inconsistências que esta questão gerou em indicar a contribuinte não permissível e a lei que a mesma quebra. De antemão, a contribuinte não permissível é a contribuinte III e a regra que ela infringe é a de exceder a regra do octeto para o elemento central, pois nesta representação dez elétrons estão ao redor do nitrogênio, portanto, a alternativa c) era a correta.

Entre as quatro estruturas a mais escolhida pelos alunos como sendo a contribuinte não permissível foi a estrutura III (Figura 14), e para os que escolheram esta contribuinte a maioria assinalaram a alternativa c) como sendo a regra quebrada, em seguida a alternativa d); alternativa a) e por último, a alternativa b). A diferença entre as duas alternativas mais escolhidas foi de seis escolhas, portanto, próximas uma da outra como sendo indicada como a resposta mais coerente. De modo geral, os alunos tiveram um desempenho satisfatório nesta questão.

Apesar disso, ainda houve um significativo número de estudantes que pensaram que a alternativa d) era a regra que a contribuinte III violava, assim, pode se presumir e apontar eventuais concepções alternativas para este fato. Os alunos

que assinalaram a contribuinte III e apontaram a alternativa d) como sendo a regra que esta contribuinte descumprida por acreditar que possuía diferente número de elétrons desemparelhados em relação as demais representações, não compreendem o que significam os sinais (+ e -) em cima de determinados átomos. As denominadas cargas formais quando omitidas em uma molécula invalidam as estruturas de Lewis para o composto e não devem ser confundidas com elétrons desemparelhados. A representação para elétrons desemparelhados na química é diferente dos sinais utilizados para carga formal.

Outras escolhas são merecedoras de análise, como os estudantes que optaram pela alternativa d) e assinalaram a contribuinte I podem ter equivocado ao considerar o par de elétrons do nitrogênio, omitido na representação, como sendo elétrons desemparelhados, por exemplo. Não obstante, de modo geral, a alternativa b) não poderia ter sido escolhida para quaisquer contribuintes selecionada, porque todas as representações das moléculas, inclusive a não permissível, eram neutras e na estrutura IV, omitiu-se o par de elétrons livres do carbânion para dificultar a resolução da questão.

Em tese, os alunos que participaram da pesquisa possuem afinidade em interpretar as contribuintes de ressonância, pois é um modo mecanicista de exercitar o fenômeno e possibilita a prática. Conhecimentos básicos de química seriam o suficiente para solucionar questões desta tipologia, principalmente saber manusear e conectar as estruturas de Lewis, conhecer as cargas formais e a quantidade de elétrons de valência dos átomos envolvidos seriam o suficiente para esta questão.

6.1.6 Análise 6

A questão 6, representada na Figura 15, requereu dos alunos conhecimentos sobre as hibridizações que o oxigênio apresentou em várias situações. A questão é subdividida em três itens e no item c) foi questionado a hibridização dos orbitais dos oxigênios na representação do híbrido de ressonância de uma molécula.

Com seus conhecimentos, indique qual a hibridização adotada em cada átomo de oxigênio das moléculas abaixo:

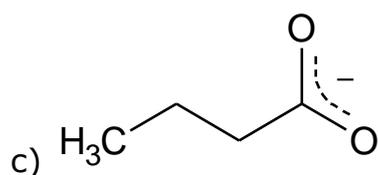
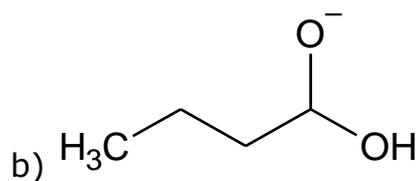
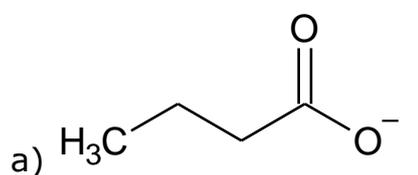


Figura 15 – Questão 6 do questionário.
Fonte: própria, 2019.

Para os itens a) e b) categorizou da forma que consta na Tabela 6. O item c), por carecer de uma análise mais específica exigiu criação de categorias particulares.

Tabela 6 – Categorias da questão 6 para item a) e b).

Nº	Descrição da categoria	Quantidade	Porcentagem
1	Citou a mesma hibridização para os diferentes átomos de oxigênio.	10	24,4
2	Apresentou raciocínio coerente para os casos.	5	12,2
3	Indicou a hibridização dos átomos de carbono.	3	7,3
4	Indicou hibridizações diferentes para cada átomos de oxigênio, entretanto, equivocados.	7	17,1
5	Casos excepcionais	2	4,9
6	Não respondeu	14	34,1

Fonte: própria, 2019.

Categoria 1: Citou a mesma hibridização para os diferentes átomos de oxigênio.

Os participantes da categoria 1 não souberam indicar a hibridização que cada oxigênio tinha em cada situação específica. Observando as representações indicadas como exemplos de respostas desta categoria, assemelham-se as respostas dadas para o item a), em que o oxigênio submetido a duas situações diferentes possui a mesma hibridização, de acordo com estes estudantes.

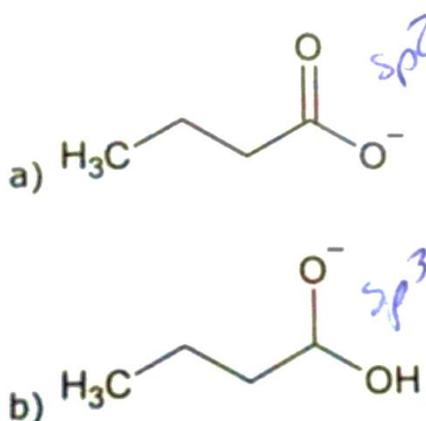


Figura 16 - Representação 1 da categoria 1/questão 6.
Fonte: própria, 2019.

Particularmente, nesta representação aparentemente o aluno pode ter indicado a hibridização do átomo de carbono, porque a hibridização sugerida está corente com a situação dos carbonos carbonílicos, o que faz uma dupla ligação recebe a hibridização sp^2 no item a) e o carbono que faz quatro ligações simples recebe a hibridização sp^3 , e portanto, esta hipótese não pode ser descartada. Todavia, esta resposta permanecerá nesta categoria, porque os que estão alocados na categoria 3 indicaram todos os carbonos na cadeia.

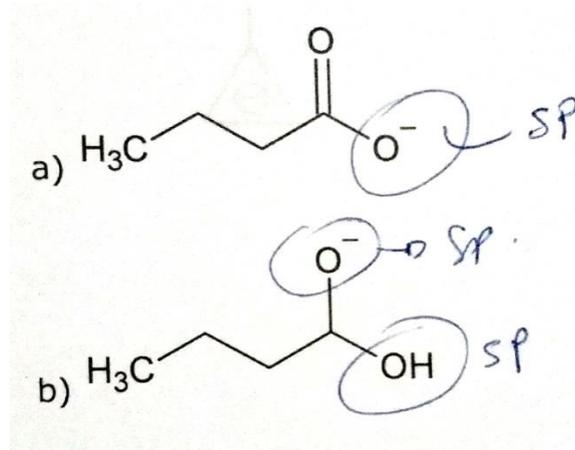


Figura 17 - Representação 2 da categoria 1/questão 6.
Fonte: própria, 2019.

Para a Figura 17, o aluno circulou o átomo que indicou a hibridização, diferente do aluno responsável pela representação na Figura 16. É interessante observar o raciocínio que o aluno teve ao indicar as mesmas hibridizações para os átomos de oxigênio em situações parecidas abstendo-se de indicar a hibridização do oxigênio que faz a dupla ligação com o carbono.

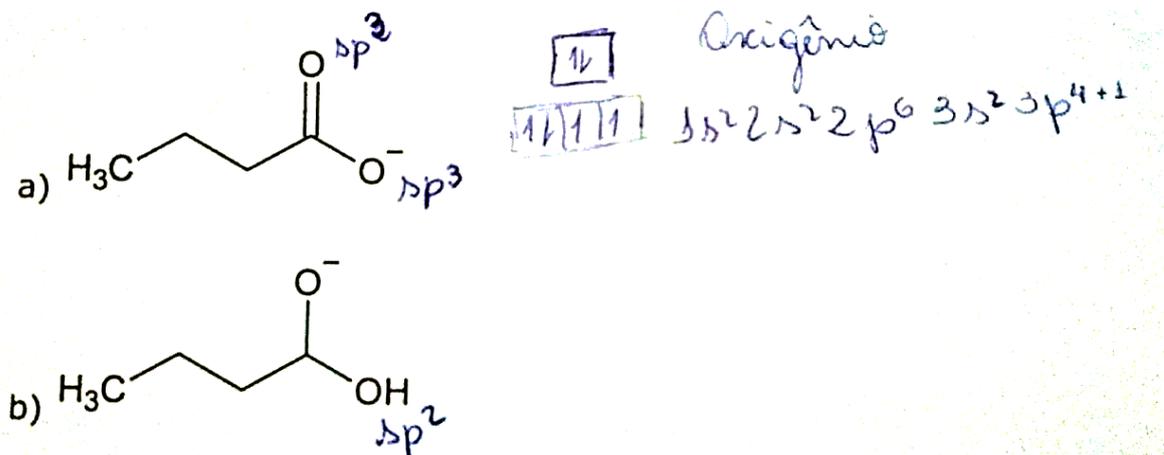


Figura 18 - Representação 3 da categoria 1/questão 6.
Fonte: própria, 2019.

O aluno que respondeu da forma que consta na Figura 18 apresentou alguns equívocos conceituais que influenciaram diretamente na indicação da hibridização dos orbitais atômicos dos oxigênios das questões. Por meio da Distribuição de Linus Pauling, o aluno representou o oxigênio composto por 16 elétrons, sendo 6+1 pertinentes a camada de valência. Sendo assim, o aluno, através de seu raciocínio, chegou ao número correto de elétrons de valência, mas indicou o último nível energético e as subcamadas como sendo $3s^2, 3p^{4+1}$. O termo +1 indicado provavelmente refere-se à carga formal do oxigênio e foi interpretada como sendo mais um elétron na camada de valência deste átomo, o que alterou significativamente a estrutura eletrônica do átomo. Não há como não associar os 16 elétrons apresentado pelo aluno com a massa do átomo de oxigênio, que é próxima a 16, evidenciando um empecilho conceitual em que se confunde massa com número de elétrons. Ainda nessa resposta, há a representação do que seria um diagrama de energia sem muito sentido, pois não há nenhuma indicação de energia ou orbital, por isso, acredita-se que esse aluno não soube manusear este modelo para alcançar as respostas que sugeriu.

Categoria 2: Apresentou raciocínio coerente para os casos

A categoria 2 é composta por estudantes que apresentaram o raciocínio coerente e, conseqüentemente, obtiveram respostas adequadas para os itens a) e b) da questão 6. Estes alunos desta categoria apresentaram o desenvolver da linha de raciocínio e em suas respostas, como é possível observar nas figuras abaixo, indicaram como chegaram em determinada hibridização.

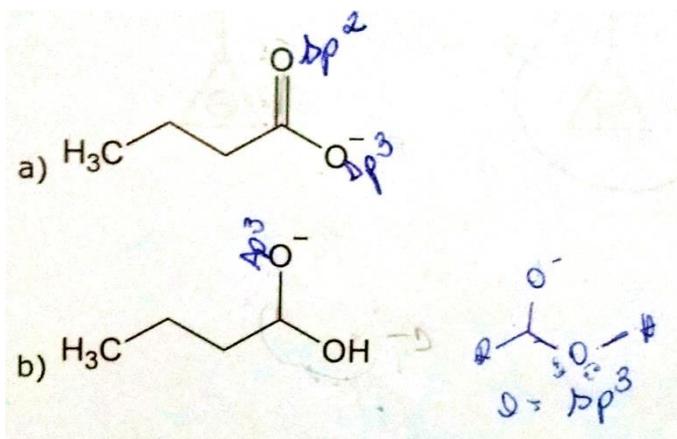


Figura 19 - Representação 1 da categoria 2/questão 6.
Fonte: própria, 2019.

O aluno que respondeu conforme demonstra a Figura 19, provavelmente já possuía o conhecimento prévio das hibridizações que o oxigênio pode assumir de acordo com os tipos de ligações que exerce. Tal afirmativa baseia-se na falta demonstração de como os resultados foram alcançados, mas não pode se descartar a hipótese, mesmo que sejam de baixa probabilidade, de que as respostas dadas foram aleatórias, porém certas. O aluno tentou por meio da representação pictórica apresentar a justificativa da hibridização tipo sp^3 ao átomo de oxigênio em C–O–H circulando os dois pares de elétrons não compartilhados. Esta evidência que o aluno dá aos pares pode demonstrar que a resposta dada foi embasada neste fato, mas é difícil de supor uma linha de raciocínio para isto.

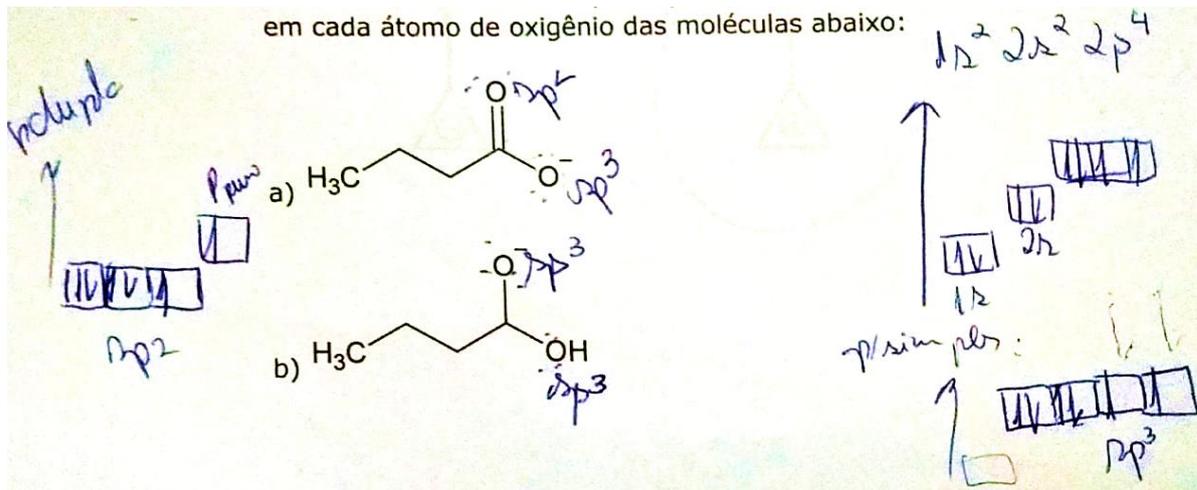


Figura 20 - Representação 2 da categoria 2/questão 6.
 Fonte: própria, 2019.

Nesta representação da Figura 20 é possível ver o uso adequado do modelo de diagrama de subcamadas. O aluno que deu esta resposta demonstrou domínio do modelo e indicou as hibridizações baseadas neste. Basta observar que cada hibridização indicada tem o mesmo modelo manipulado para adequar-se a situação fundamentando-a. Alunos assim refutam a ideia de que o tradicional é ruim, pois o uso de modelos convencionais, não tão compatíveis com a fugacidade da descrição do fenômeno que tentam representar, quando bem compreendidos, dão conta de explicar a ideia principal dos fenômenos de modo satisfatório, embora seja de forma limitada. O modelo utilizado pelo aluno é suficiente para responder a questão. Talvez a extrapolação de outras propriedades e fenômenos não seja possível por esse

modelo, mas para alcançar o objetivo da questão, o modelo foi capaz de amparar o raciocínio do aluno.

Categoria 3: Indicou a hibridização dos átomos de carbono

Aqui nesta categoria fica perceptível a relação intrínseca entre hibridização de orbitais atômicos e o carbono. Mesmo questionados sobre a hibridização dos átomos de oxigênio em determinadas situações persistiram em indicar as que o carbono adquiriria.

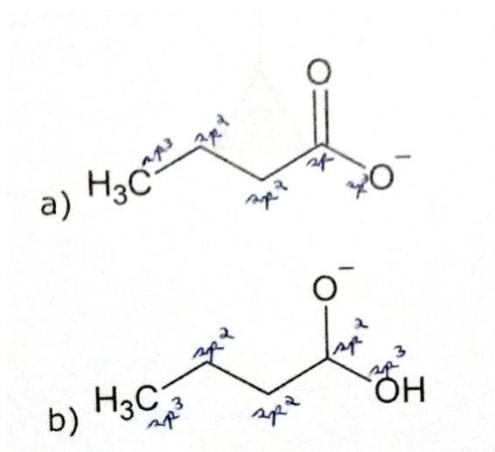


Figura 21 - Representação 1 da categoria 3/questão 6.
Fonte: própria, 2019.

A representação da Figura 21 demonstra a dificuldade de interpretar o enunciado do problema aliada a defasagem dos conceitos químicos e suas consequências. Para o item b), nota-se que este aluno sugeriu a hibridização de todos os carbonos do meio da cadeia como sendo sp^2 e o da extremidade esquerda como sendo sp^3 , mas o incomum é a resposta dada a extremidade direita da cadeia e a indicação da hibridização sp^3 sugerida, que parece ser referente ao final da cadeia e não do oxigênio da hidroxila, cogitando a ideia de que no final desta cadeia há um carbono omitido. Este mesmo aluno indicou no item a) o carbono que realiza a dupla ligação como tendo a hibridização sp e ao juntar as informações das respostas dadas por ele para os itens a) e b), aparentemente dá a se entender que a hibridização dos carbonos que sugeriu estão de acordo com o número de hidrogênios ligados a cada um deles.

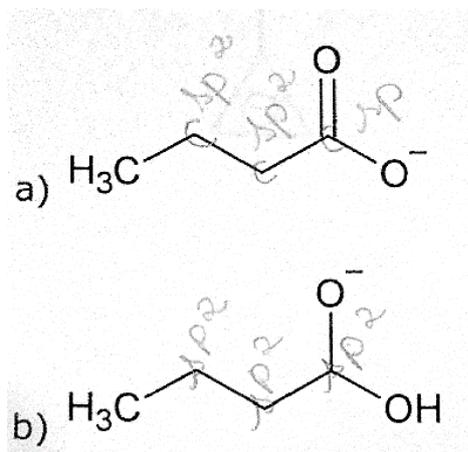


Figura 22 - Representação 2 da categoria 3/questão 6.
Fonte: própria, 2019.

O aluno da representação da Figura 22 também indicou hibridizações compatíveis ao número de hidrogênios ligados aos átomos de carbono, mas não indicou a hibridização do átomo de carbono do final da cadeia. Adiante será discutido melhor sobre a insistência em atrelar a hibridização de orbitais atômicos ao átomo de carbono e os obstáculos epistemológicos que esse equívoco contempla.

Categoria 4: Indicou hibridizações diferentes para cada átomos de oxigênio, entretanto, equivocados.

Os alunos que indicaram hibridizações alternativas em relação com a que de fato constam estão lotados nesta categoria. Embora estejam equivocadas, estes alunos não deram respostas de caráter aleatório e houve determinado raciocínio para chegar a conclusão em diferenciar as hibridizações do oxigênio em cada circunstância.

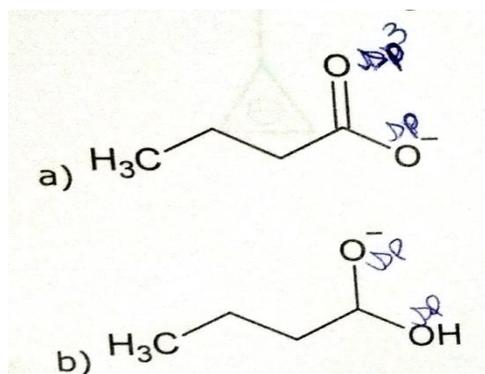


Figura 23 - Representação 1 da categoria 4/questão 6.
Fonte: própria, 2019.

Observa-se como os átomos de oxigênio da Figura 23 apresentam hibridizações iguais quando sujeitos a situações iguais e como ao alterar a situação submetendo a realização de dupla ligação, a hibridização sugerida é diferente. Tais fatos evidenciam um raciocínio para resolução das questões, embora sejam equivocados cientificamente.

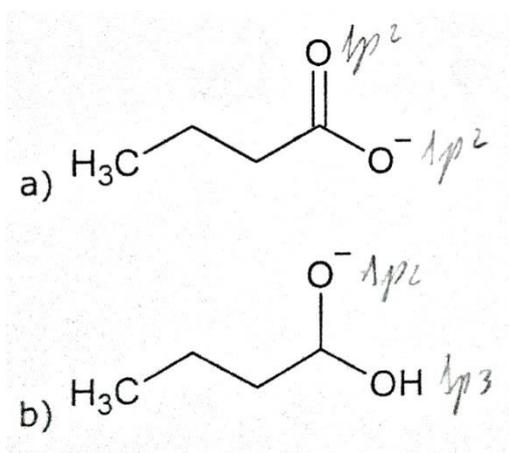


Figura 24 - Representação 2 da categoria 4/questão 6.
Fonte: própria, 2019.

De modo similar, o aluno que respondeu conforme a Figura 24 mostra, também apontou hibridizações diferentes para as situações divergentes. Observa-se a mesma hibridização para os oxigênios da dupla e os oxigênios com carga formal -1, tal igualdade pode ser encarada como se o aluno tivesse considerado a dinamicidade eletrônica por meio das contribuintes de ressonância para o item a) e replicado a ideia para o item b).

Categoria 5: Casos excepcionais.

Facilmente, esta categoria poderia ser denominada como “Outras respostas”, mas os raciocínios aqui listados merecem ser comentados. São dois casos extremos, mas possuem semelhanças, ambas respostas estão fora do habitual e, portanto, fazem parte da categoria 5 denominada como casos excepcionais.

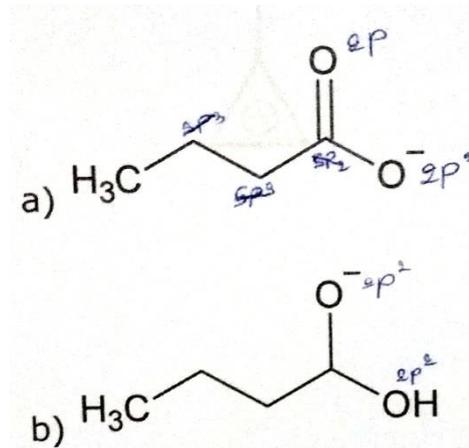


Figura 25- Representação 1 da categoria 5/questão 6.
Fonte: própria, 2019.

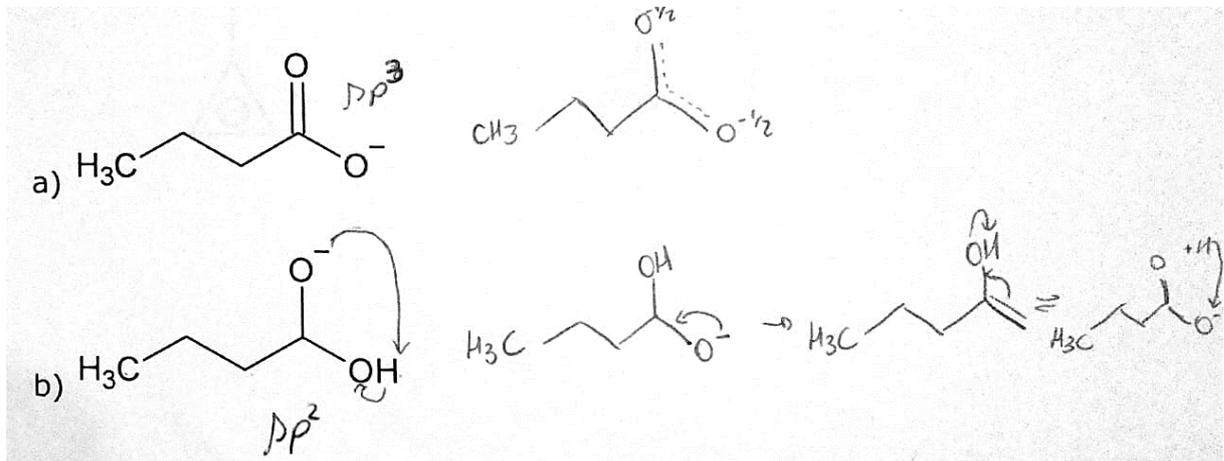


Figura 26 - Representação 2 da categoria 5/questão 6.
Fonte: própria, 2019.

A categoria de casos excepcionais pode ser considerada como a categoria com as respostas mais peculiares. São excepcionais porque não eram esperadas diante das expectativas. Mesmo o enunciado da questão 6 dando suporte e afirmando a hibridização dos átomos de oxigênio, o aluno da representação da Figura 25 preferiu ignorar. Dado o fato ignorado, o aluno se propôs a dar as hibridizações dos carbonos da cadeia do carbono para o item a) e aparentemente se conscientizou, por isso os riscos em cima das escritas, mas o que de fato chamou atenção foi a designação de hibridização dada para os átomos de oxigênio $2p$ e $2p^2$. Tamanha é a concepção ingênua deste aluno ao afirmar que específicos orbitais do átomo sequer sofreram hibridização ao explicitarem ele puro. Especificamente, para

o item a) referindo ao átomo de oxigênio realizando a dupla ligação, o aluno pode ter tido intenção de representar o orbital p puro responsável pela ligação pi, omitindo a hibridização dos orbitais atômicos responsáveis pela ligação sigma. Entretanto, tal hipótese é descartada ao tentar aplicar a mesma ideia aos demais átomos de oxigênio nas representações do item b).

De modo inesperado o segundo aluno que compõe a categoria de casos excepcionais apresentada na Figura 26, considerou no item a) deslocalização da carga entre os átomos de oxigênio e no item b) discorreu sobre uma interação intramolecular de transferência de próton o que influenciou diretamente no tipo de hibridização de orbitais atômicos que sugeriu para os átomos de oxigênio. Este aluno foi além do objetivo e revelou a análise das questões realizadas de forma mais condizentes com o que seria considerado ideal.

As diversas categorias que emergiram das respostas são consequências das dificuldades dos alunos em aplicar os conhecimentos acerca de hibridização de orbitais atômicos quando o átomo que sofre o fenômeno difere do átomo de carbono. Para que esta hipótese seja confirmada basta conferir a quantidade de alunos que fugiram do que foi proposto no enunciado, indicando a hibridização dos átomos de carbono ao longo da molécula (categoria 3) e os que não responderam à questão (categoria 6).

Este entrave citado anteriormente pode ser associado a um dos obstáculos de Bachelard, o generalista, porque, erroneamente, a hibridização parece ser um fenômeno específico do átomo de carbono, como se fosse uma particularidade deste átomo. Este obstáculo é originado da maneira como os alunos aprendem e estudam o fenômeno na graduação, pois o conceito é comumente estudado quando é necessário explicar a geometria tetraédrica do metano. Além de passar a falsa ideia de exclusividade do carbono, porque se explica a hibridização sp^3 do carbono no metano, em sequência a hibridização sp^2 do carbono no etileno e a sp na molécula de acetileno, transpõe a consequência de que por possuir determinada hibridização a geometria será definida em decorrência a ela, como foi possível ver com a Análise 4.

Não é objetivo desta pesquisa priorizar os acertos e erros cometidos pelos alunos que se solidarizaram em participar, mas apontar raciocínios mais adequados diante dos problemas. Desta forma, é inevitável não cruzar as respostas dadas na questão 4 com as respostas desta questão. Os alunos que compreendem

hibridização de orbitais atômicos com finalidade de promover ligações químicas (categoria 4 da Análise 4) são os mesmos alunos que, nesta Análise, compõem a categoria 2. Sobre o que foi dito na fundamentação deste trabalho, um conhecimento mais aprimorado precisa alicerçar-se em conhecimentos básicos, e quando estes estão bem assimilados e acomodados, as concepções alternativas costumam acontecer de forma mais sutil e em menor número. Observa-se que para a categoria 2, a Aluno responsável pela representação da Figura 20 usou o diagrama de energia de subcamadas para explicar as hibridizações do oxigênio e conseguiu atingir resultados satisfatório por meio deste modelo fundamentado de forma tão mecânica. Esta mesma Aluno sugeriu para o item c) desta questão uma das três hibridizações intermediárias, a hibridização $sp^{2,5}$, para os oxigênios da representação do híbrido de ressonância. Diante destes fatos, embora tenha utilizado um modelo mecanicista, a Aluno em questão teve na questão 6 ideias compatíveis com deslocalização eletrônica.

Os alunos que constituem a categoria 1 possuem dificuldades a respeito da compreensão do fenômeno e no que ele implica, tanto que apontaram a mesma hibridização para átomos de oxigênio em situações diferentes. Já os integrantes da categoria 4 possuem um conhecimento superficial sobre a hibridização, porque embora tenham indicado hibridizações diferentes em relação às diferentes situações dos átomos de oxigênio, indicaram de modo equivocado, mas mesmo que indicaram hibridizações incompatíveis com a conjuntura, estes alunos possuem noção sobre as consequências das hibridizações e com reforço e prática, ambos têm condições de comporem a categoria 2.

As respostas dadas ao item c) foram categorizadas na Tabela 7. Por apresentarem similaridades as categorias para os itens a) e b), como os casos de indicação de hibridização nos átomos de carbonos (7,3%), caso excepcional (2,45%) e os que não responderam (43,9%), somente duas categorias foram criadas para o posterior debate no metatexto.

Tabela 7 – Categorias da questão 6 para o item c).

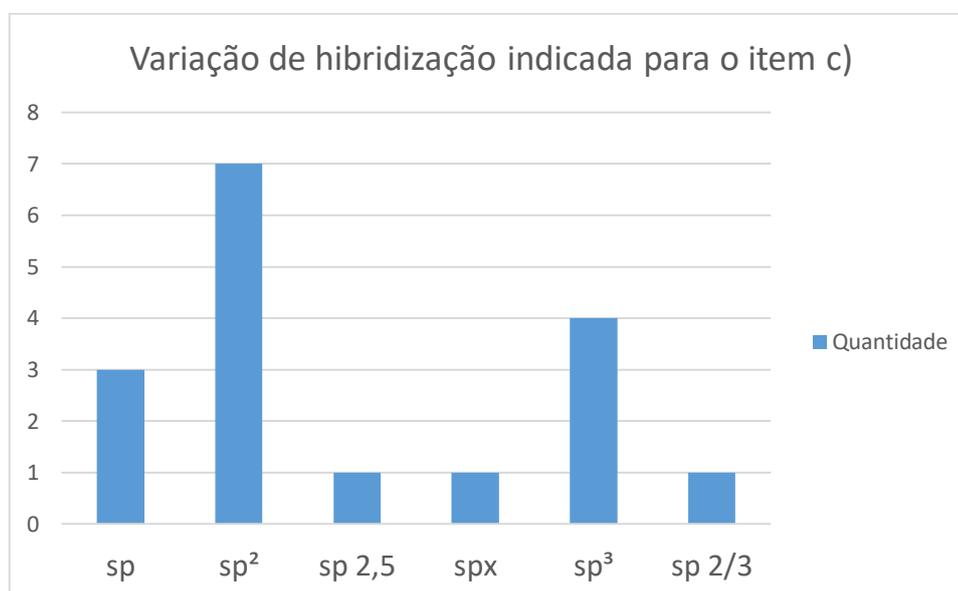
Nº	Descrição da categoria	Quantidade	Porcentagem
1	Descreveu hibridização compatível com o modelo de híbrido de ressonância.	18	43,9
2	Descreveu hibridização incompatível com as consequências do modelo de híbrido de ressonância.	1	2,45

Fonte: própria, 2019.

Categoria 1: Descreveu hibridização compatível com o modelo de híbrido de ressonância.

Os alunos que apontaram um tipo de hibridização para os oxigênios pertinentes ao híbrido de ressonância compõem esta categoria e estão demonstrados no Gráfico 2 indicando as respostas que foram dadas.

Gráfico 2 – Hibridizações dadas ao item c) da questão 6.



Fonte: própria, 2019.

Categoria 2: Descreveu hibridização incompatível com as consequência do modelo de híbrido de ressonância.

A categoria de um estudante só, em que foi indicado diferentes tipos de hibridizações ao átomo de oxigênio.

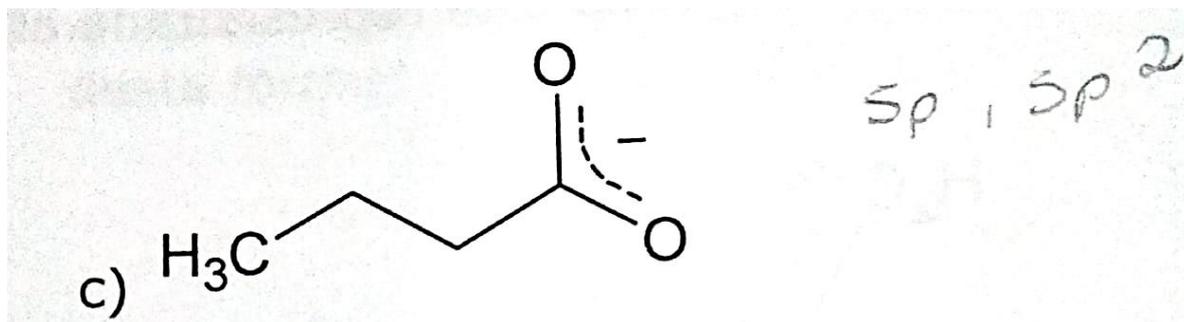


Figura 27 - Representação 1 da categoria 2/questão 6, item c).
Fonte: própria, 2019.

Diante das respostas coletadas é interessante ver que foram propostas diferentes hibridizações além das padrões, passando a ideia de estado intermediário entre as hibridizações sp^2 e sp^3 . Os três alunos que sugeriram hibridizações intermediárias compreendem melhor o fenômeno da deslocalização eletrônica, pois por perceberem que nenhuma das hibridizações usuais seriam satisfatórias em relação ao modelo representacional, foram capazes de burlar os extremismos das respostas comumente associadas e sugeriram outras.

Em contrapartida, há quem sugeriu duas hibridizações para os átomos de oxigênio, uma para cada, demonstrando como perdura a ideia mecanicista relativa a ressonância, embora se altere o modo como se representa a ideia. Portanto, esse tipo de respostas é incompatível ao modelo representacional do item c), pois supondo que o aluno conheça as consequências dos tipos de hibridizações, não deveria propor duas diferentes conformações aos átomos que estão em situações iguais. Este fato expõe a defasagem do conhecimento teórico do conceito e permanência da ideia equivocada de alteração da dupla ligação, ora é simples, ora é dupla, para o mesmo átomo de oxigênio.

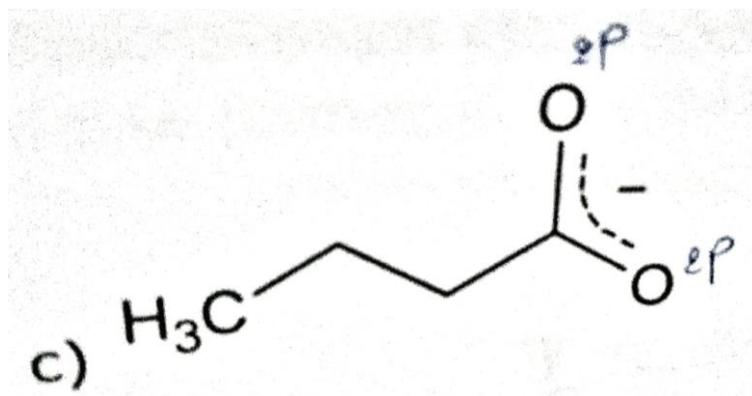


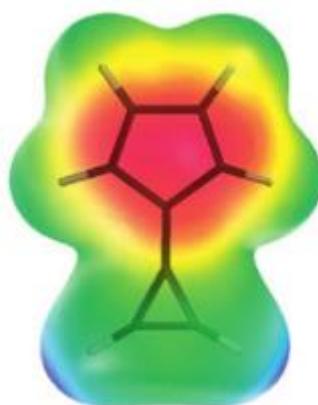
Figura 28 - Caso excepcional da questão 6, item c).
Fonte: própria, 2019.

O caso excepcional da Figura 28 da resposta dada ao item c) pertence ao mesmo aluno que propôs os orbitais puros para os itens a) e b). Pressupõe-se que o aluno usou da representação escrita $2p$ para explicar a ligação π , da mesma forma que sugeriu para o item a), entretanto, é tão fugaz o raciocínio que não há como saber se houve intenção e consciência ao sugerir esta resposta. Apesar de ter feito tal indicação, o aluno poderia ser categorizado como sendo participante da categoria 1, pois apresentou a mesma hibridização para os dois átomos o que estaria congruente com as consequências do uso do modelo híbrido de ressonância, mas devido ao fato de não ser possível reconhecer qual o raciocínio deste aluno ele não foi integrado a esta categoria.

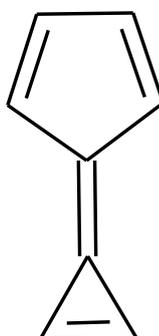
6.1.7 Análise 7

O objetivo da questão 7 era verificar se os alunos eram capazes de interpretar o MEP de uma molécula tendo a sua disposição a fórmula estrutural da mesma molécula. Por ser uma questão de múltipla escolha com duas alternativas, os alunos que não soubessem como responder ainda teria chances significativas em acertar.

O mapa potencial eletrostático do *Caliceno* está a seguir representado. As cores quentes significam maior densidade eletrônica.



Sua fórmula estrutural é esta:



Qual dos híbridos de ressonância abaixo corresponde melhor à distribuição de elétrons na molécula?

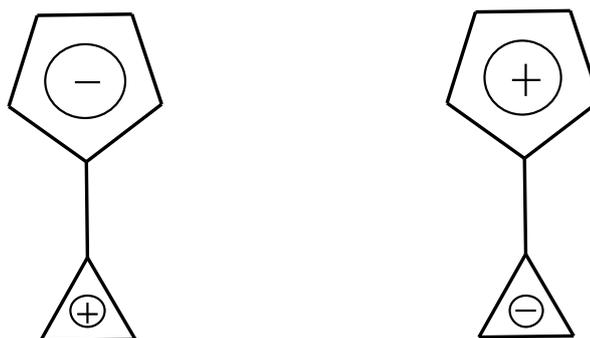


Figura 29 – Questão 7 do questionário.
Fonte: própria, 2019.

Como esta questão impossibilita a realização da ATD, elaborou-se a Tabela 8 com as incidências que cada uma das opções recebeu julgando sendo a representação mais compatível com o MEP do caliceno.

Tabela 8– Análise das respostas da questão 7.

Estrutura	Quantidade	Porcentagem
	30	73,1
	9	22,0
Não respondeu	2	4,9

Fonte: própria, 2019.

Esta questão em específico não explorou nenhum conceito mais a fundo de química, mas buscou coletar informações acerca das interpretações dos alunos diante de um modelo representacional diferente. O desempenho dos participantes da pesquisa foi satisfatório ao analisar que a maior quantidade de alunos associaram o híbrido de ressonância correto ao MEP do caliceno.

Ao cruzar informações do diagnóstico com esta questão, dos 41 participantes da pesquisa 18 afirmaram não conhecer o MEP e, conseqüentemente, como

interpretá-lo, mas mesmo assim, 10 responderam de forma adequada esta questão. Assim como há os que acertaram dizendo não conhecer, o contrário também aconteceu, disseram conhecer mais não acertaram o total de 3 alunos. O enunciado da questão indicava cores quentes a maior densidade eletrônica, implicando em uma interpretação contra intuitiva, pois o vermelho está associado a maior quantidade e por isso, pode, equivocadamente, ser atrelado a carga positiva. Entretanto, é de suma importância não esquecer o significado de densidade eletrônica e as consequências disto, como maior concentração de cargas negativas remetendo à cores mais quentes.

Todavia, o que se pode concluir desta questão é que há certa familiaridade com o uso do MEP e mesmo que não seja conhecida a forma como se estrutura o modelo os alunos puderam fazer a associação correta, talvez de forma intuitiva, aleatória ou influenciada por outro raciocínio, que não o MEP. Apesar de não ter sido solicitado justificativa em relação a opção selecionada, um aluno se propôs a explicar seu raciocínio.

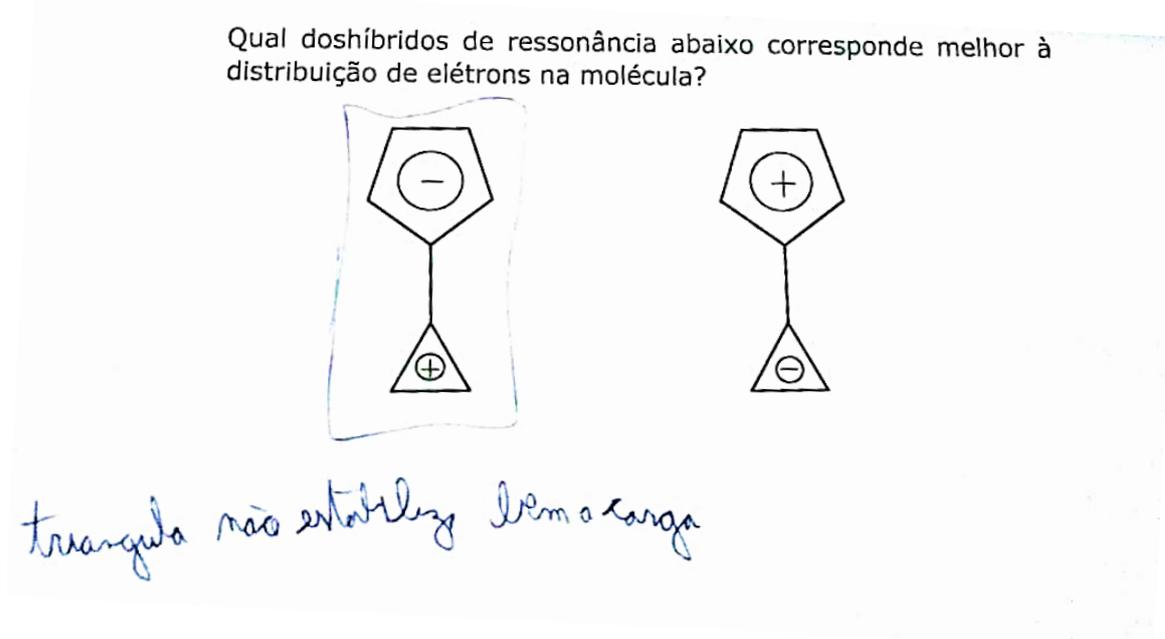


Figura 30 – Justificativa dada por aluno ao selecionar a primeira opção de híbrido.
Fonte: própria, 2019

Diante da opção selecionada, dá-se a atender que a menção da carga na resposta refere-se a carga positiva e esse foi o raciocínio alternativo que este aluno seguiu e compartilhou ao escrever. Aparentemente, não interpretou ao MEP, pois

não citou na resposta que deu ideias que remetiam ao mapa, mas talvez tenha o utilizado como apoio a ideia e sua justificativa.

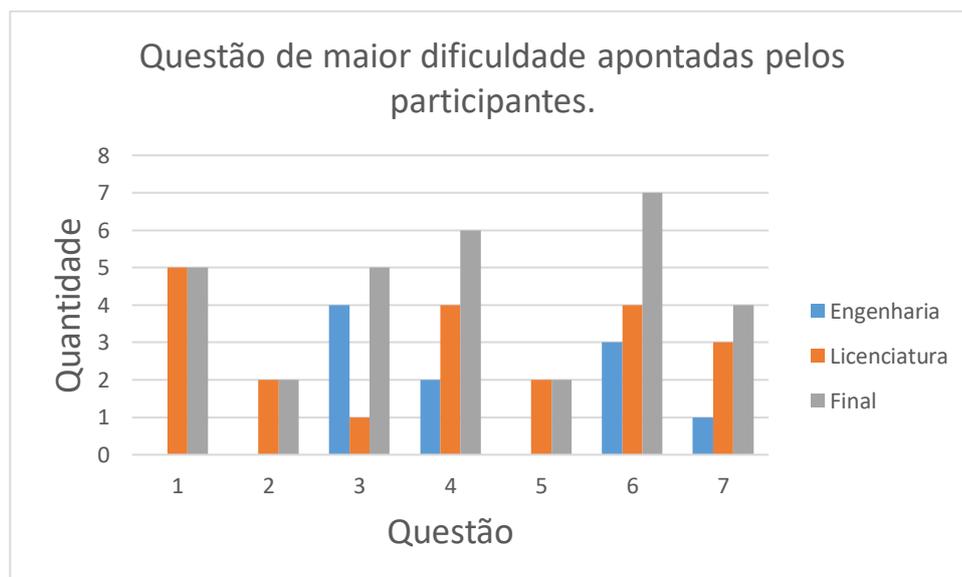
Perante tais resultados, de modo geral, os alunos sabem interpretar o MEP, possibilitando que tal ferramenta seja utilizada no ensino para fundamentar a deslocalização eletrônica em sua essência e desmistificando a ideia mecanicista palpada em estruturas de ressonância que alternam entre si.

6.2 Diagnóstico dos participantes

6.2.1 Questão I

Foram analisados todos os questionários de modo individual e foi possível elaborar o Gráfico 3 para indicar quais foram as questões que os alunos mais enfrentaram dificuldades ao responder. Esta Questão I, em especial, serviu para apontar uma dificuldade que comumente ocorre em todas as áreas do conhecimento; a falta de interpretação e de atenção ao responder algo. Dos 31 participantes da licenciatura, 10 responderam de modo inadequado a Questão I, que solicitava a enumeração em ordem crescente de dificuldade das questões do questionário. É válido ressaltar que os 10 estudantes que responderam de forma inapropriada, foram descartados na elaboração do gráfico, visto que usaram de outros padrões que não os propostos no enunciado da questão, como marcar com “x” e dar notas (10, 98) às questões.

Gráfico 3 – Questão de maior dificuldade apontadas pelos participantes.



Fonte: própria, 2019.

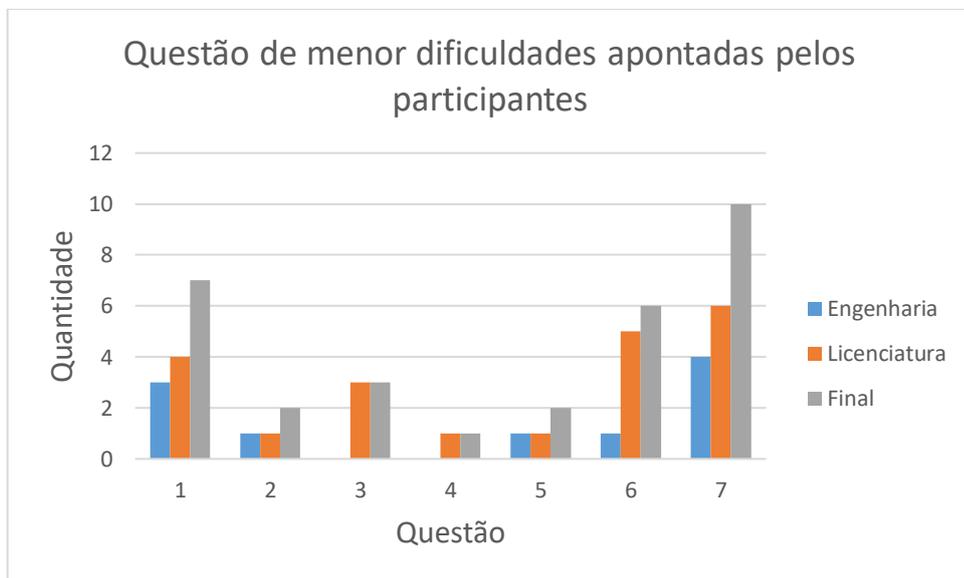
As questões apontadas como mais difíceis de responder pelos estudantes da engenharia, são as que questionam sobre hibridização de orbitais atômicos e

deslocalização eletrônica. Este fato pode ser melhor compreendido quando é consultado o Perfil do Curso, disponível no *site* da instituição. O curso visa formar profissionais capacitados de forma generalista para atuar em setores industriais, logo, a matriz curricular é diferente e o foco do curso é voltado para disciplinas mais específicas nesta área, além das costumeiras disciplinas gerais que os cursos em química apresentam.

Os estudantes da instituição da licenciatura apresentaram maior distribuição ao serem questionados sobre qual questão era mais difícil. Esta distribuição era esperada visto que o público era maior o que favorece a dispersão de dados, e reforça a existência de diversas dificuldades. Num patamar geral, a questão que mais recebeu classificação como a mais difícil de responder era a que exigia do aluno o conhecimento do fenômeno de hibridização de orbitais atômicos de um átomo de oxigênio em diferentes moléculas.

De modo similar, foi possível elaborar o Gráfico 4 para indicar quais as questões menos proporcionaram dificuldades aos alunos no momento da resolução do questionário.

Gráfico 4 – Questão de menor dificuldade apontadas pelos participante.



Fonte: própria, 2019.

A maioria dos estudantes consideraram a questão 7 a mais fácil do questionário. Era uma questão de múltipla escolha com duas opções de resposta, ou seja, 50% de probabilidade em acertar a resposta. De modo geral, esta questão em

específico não exigia um grau elevado de raciocínio químico e podia ser respondida de forma intuitiva.

O que é possível observar referente às informações coletadas dos dois gráficos sobre o curso de licenciatura é que há uma discordância em classificar as questões 1 e 6 como difíceis ou fáceis. Desta forma, não se pode descartar a hipótese de que alguns dos 21 alunos que preencheram o diagnóstico de forma apropriada (classificando em grau de dificuldade as questões) realizaram a classificação de forma diferente da proposta (proposta em ordem crescente de dificuldade). Entretanto, não se pode julgar o que o outro considera fácil ou não, pois deve-se considerar os diversos níveis de conhecimento abrangidos pela pesquisa. Também não é adequado realizar comparações entre as duas instituições, e portanto os dois cursos, visto que são modalidades de graduação com finalidades diferentes na formação de profissionais. Entretanto, não é correto ser negligente a ponto de ignorar que ambas formações requerem que os estudantes tenham conhecimento em química.

6.2.2 Questão II

Esta questão possibilitou que os alunos justificassem os motivos das dificuldades apresentadas. Foi permitido que os alunos assinalassem mais de uma opção e foi cedido espaço para que pudessem sugerir dificuldades que não estavam listadas. Desta forma, com as informações coletadas, elaborou-se a Tabela 2 para elucidar os principais entraves encontrados. É importante ressaltar que todos os participantes responderam esta questão do diagnóstico, sem exceções. Três alunos responderam duas alternativas e um aluno optou por assinalar três alternativas entre as dispostas, totalizando 47 respostas para esta questão.

Tabela 9 – Identificando as dificuldades enfrentadas pelos alunos.

<i>Opção de resposta</i>	<i>Complementação</i>	<i>%</i>
Desconheço o conceito científico por trás das questões		21,27
Nunca tive contanto com estes modelos representacionais		4,25
Não lembro de ter visto estes assuntos no curso		17,02
Conheço os conceitos, mas não consegui responder as questões, pois...		40,44
	<i>Possuo dificuldades em compreender o que é hibridização</i>	<i>4,25</i>
	<i>Está de forma mais complexa do que a habitual</i>	<i>2,13</i>
	<i>Esqueci</i>	<i>19,16</i>
	<i>Não lembro como fazer o diagrama de Linus Pauling</i>	<i>2,13</i>
	<i>Vi no início do curso e não usei mais</i>	<i>12,77</i>
Outros		17,02
	<i>Não fiz as disciplinas de química orgânica</i>	<i>4,25</i>
	<i>As maneiras que estes assuntos são abordados em sala são superficiais</i>	<i>12,77</i>

Fonte: própria, 2019.

Deve-se dar a devida atenção a quantidade de alunos que afirmaram desconhecer o conceito científico e os que não estudaram estes conceitos durante o curso, pois somando as partes obtêm-se a porcentagem próxima aos que afirmaram

conhecer, mas não conseguir ou ter dificuldades em responder as questões. Para reforçar a defasagem dos conteúdos questionados, os que afirmaram não ter estudado este assunto no curso estão cursando, em sua maioria, períodos intermediários (4º, 5º e 6º) para o curso de licenciatura e os períodos finais para o curso de engenharia (7º e 9º).

Se as perguntas que compõem o questionário estão postas de forma mais complexa do que habitualmente é ensinado durante as aulas e os participantes foram incapazes de reconhecer os fenômenos por trás dos modelos apresentados, pode haver um provável obstáculo epistemológico por associação intrínseca de uma representação de um modelo a uma ideia, ou seja, o indivíduo só é capaz de reconhecer o fenômeno se determinado modelo está representando-o. Este resultado pode explicitar a superficialidade do modo como é ensinado em sala.

Desconhecer o conceito científico por trás das questões (21,27%) é um fato intrigante, uma vez que nenhum dos participantes da pesquisa estão cursando períodos iniciais (1º e 2º) e, portanto, afirmar desconhecer conceitos que servem de base para construção e compreensão de conceitos mais complexos implica que os conceitos mais complexos estão embasados em conhecimentos não compreendidos, fornecendo uma base inconsistente para aprimoramento cognitivo. Diversos podem ser os fatores que levaram os alunos escolher esta opção, como, não conhecer tal fenômeno porque foi representado de forma não habitual. Dito isto, é possível mensurar o poder explicativo que o modelo tem e as consequências que traz para a compreensão dos fenômenos.

Ao ceder espaço para os participantes da pesquisa relatar quais foram as dificuldades enfrentadas, foi possível reforçar a ideia de que os alunos são forçados a memorizar os conceitos científicos, pois justificaram os inconvenientes com o esquecimento de situações pontuais, como a elaboração do diagrama de Linus Pauling e o incompreensão do que é a hibridização. Sendo assim, o ato de juntar as diversas Complementações da Tabela 2 para Opção de resposta - *Conheço os conceitos, mas não consegui responder as questões, pois...* – em um única Complementação e chamá-la de “Eu esqueci como se faz” seria coerente. Esta opção de resposta dada confirma mais uma vez como o ensino de certos conceitos é mecanicista e baseado na memorização. Quando se faz algo por fazer, sem entender o porquê se faz, o ato de fazer é esquecido mais facilmente, já que não há motivos aparentes, embora existam, para realizar tal ação.

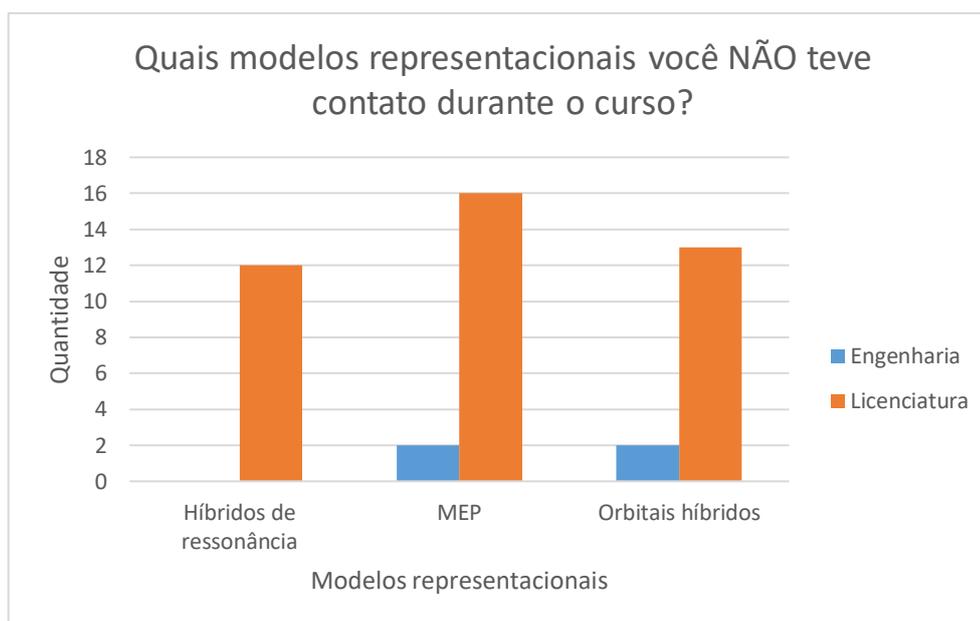
É interessante a presença de participantes que associaram o questionário à química orgânica e justificaram as dificuldades que surgiram por não terem concluído ou cursado a disciplina. Esse tipo de resposta serve para revelar a segregação e o distanciamento entre as disciplinas que as modalidades de graduação em química têm e, conseqüentemente, conhecer suas implicações. Deste modo, a pessoa que afirma não conseguir ou ter dificuldade de fazer por não ter cursado tal disciplina absolve-se a si mesma, pois para ela determinados conceitos são de competência de determinadas disciplinas. Entretanto, o que não percebem é que, especificamente, os assuntos abordados no questionário são referentes a ciência química, sem segregações.

Esse pensamento de distanciamento das partes que compõem a ciência química como um todo está cravado no subconsciente de alunos e professores. A decorrência desta percepção para os professores é mais nociva do que para os alunos, pois podem existir casos em que o professor abstém-se de explicar determinado conceito alegando que os alunos o estudarão em outras disciplinas. Pode se elencar a hipótese de que os alunos que afirmaram que tais conceitos abordados no questionário são dados e explicados de forma superficial na graduação tenham passado por uma situação similar a esta. Quanto mais se simplifica um fenômeno, lei ou teoria, mais imprecisa e incongruente ela se torna. Isto reflete diretamente no desempenho dos alunos quando são questionados através de perguntas mais complexas, repercutindo na falta de domínio do conceito e impossibilitando a resolução de questões que fogem dos exemplos e exercícios que são, costumeiramente, ensinados.

6.2.3 Questão III

Nesta questão foi solicitado aos participantes quais dos modelos representacionais contidos nas questões do questionário já tiveram contato durante o curso de graduação. Para melhor discussão das informações, elaborou-se o Gráfico 3.

Gráfico 5 – Quais modelos representacionais você NÃO teve contato durante o curso?



Fonte: própria, 2019

Referente ao número de pessoas que afirmaram não terem contato durante o curso com os modelos representacionais denominados híbridos de ressonância é instigante, já que, aparentemente, nem o híbrido de ressonância mais comum foi cogitado; o híbrido de ressonância do benzeno. (Ver Figura 3). Diante disto, é necessário fazer considerações ao modelo pictórico híbrido de ressonância, especificamente do benzeno; se os participantes não o compreendem como sendo um híbrido de ressonância, por que o desenham? Supõe-se que, além dos estudantes desconhecerem o que é o híbrido de ressonância, escolhem, no caso do benzeno, desenhar o híbrido por conta da facilidade em desenhá-lo, já que desenhar um círculo no centro de um hexágono é mais simples do que desenhar retas conjugadas. Entretanto, há estudantes que desenham o híbrido para o benzeno sem sequer entender qual o significado do híbrido de ressonância e, conseqüentemente, não compreendem o que representa o círculo no centro do hexágono.

O MEP é uma ferramenta em potencial para explicar a deslocalização eletrônica junto ao híbrido de ressonância, embora esta não seja sua principal função. Entretanto, quase a metade dos participantes nunca tiveram contato com o modelo representacional durante a graduação, embora, em alguns livros de ensino superior de edições mais recentes apareçam os MEP's das moléculas em suas páginas, o modelo ainda é pouco utilizado, até mesmo para indicar a reatividade de

determinada molécula. Dos 18 participantes que afirmaram não conhecer os MEP's, 10 acertaram a questão 7, que consistia na interpretação do MEP do caliceno. Este dado pode suportar a ideia de que a análise do MEP ocorre, em alguns casos, de forma intuitiva repleta de algum tipo de raciocínio identificável na metodologia utilizada no trabalho. Assim como há os que disseram desconhecer o modelo representacional e acertaram, há quem disse que conhecia, mas escolheu a opção errada na questão 7. Sendo assim, é possível afirmar que conhecer é diferente de compreender e as cores estão suscetíveis a interpretações pessoais repletas de credences e intuições.

De modo similar, quando questionados no diagnóstico sobre ter acesso durante a graduação com modelos representacionais de hibridização de orbitais atômicos, exceto para o átomo de carbono, alguns estudantes afirmaram não ter feito contato com estes. A complementação – não incluir a hibridização do átomo de carbono – a essa opção no diagnóstico serviu para, além de expandir o conceito e estudo de hibridização de orbitais atômicos a outros tipos de átomos, mostrar que, de modo corriqueiro, o fenômeno de hibridização está intrinsecamente atrelado ao átomo de carbono, como se fosse uma particularidade deste átomo. Esta hipótese se concretiza ao analisar que a questão 4 foi apontada como uma das mais difíceis (Ver Gráfico 1), pois trata da hibridização de orbitais atômicos do átomo de nitrogênio e, dentre as justificativas dadas referentes às dificuldades na realização do questionário (ver Tabela 2), houve estudantes que afirmaram não compreender o fenômeno de hibridização de orbitais atômicos.

Por esta questão do diagnóstico pode-se perceber o quão particular é o processo de aprendizagem. Alguns tipos de raciocínios que determinado aluno utiliza para resolução de resposta pode ser completamente sem sentido para outro aluno. Não há como dissociar o conhecer científico de um homem com suas intuições e concepções alternativas, mas existe a possibilidade de identificar quais são estas concepções ingênuas, permeadas de raciocínios não coerentes para o mundo científico, para que se possa contorná-las e confrontá-las com o saber científico.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O questionário foi aplicado aos diversos alunos visando contemplar o objetivo principal da pesquisa, o levantamento das concepções sobre dois fenômenos estudados em química, a hibridização e a ressonância, através de seus modelos representacionais. Entretanto, devido a extensão do questionário, a complexidade das questões e o diagnóstico que possibilitava o aluno fazer suas considerações, outras concepções puderam ser analisadas sobre outros conteúdos em química revelando outras dificuldades dos alunos. Estes equívocos revelados são provenientes dos conceitos que deveriam estar assimilados para que os conceitos exigidos no questionário fossem respondidos de modo adequado, mas, observou-se, na realidade, uma propagação de erros originados de uma incompreensão inicial.

Foram mais de 280 respostas analisadas e 41 diagnósticos respondidos para confirmar algo cogitado desde o início da pesquisa: os alunos possuem conhecimento superficial e generalista sobre os objetos da pesquisa e deficiências em interpretação textual, implicando em equívocos conceituais e dificuldades na resolução dos problemas. Os alunos, de modo geral, possuem defasagem conceitual sobre os fenômenos de ressonância e hibridização de orbitais atômicos e objeção a interpretação dos modelos representacionais habituais para expressar a teoria. Conceitos considerados essenciais para a compreensão destes fenômenos, como reconhecer as contribuintes de ressonância de uma mesma molécula, manipular estruturas de Lewis e cargas formais, caracterizar e fundamentar o motivo da hibridização de orbitais atômicos e indicar hibridizações assumidas por outros átomos mostraram-se mal compreendidos pelos alunos e acarretando em diversas concepções alternativas.

Para que sejam combatidas estas concepções incoerentes aos fenômenos algumas atitudes poderiam ser tomadas. Grande parte das respostas analisadas apresentaram características descritivas pertinentes à ciência clássica. Tais descrições usaram de proposições remetentes a ideia mecanicista e foram mais recorrentes nas respostas dadas pelos estudantes de engenharia do que os da licenciatura, devido ao objetivo diferente de formação profissional dos cursos. Diante disto, iniciar a readequação das palavras usadas para explicar as teorias seria o primeiro passo a ser dado, pois ao descrever um conceito, modelos mentais são

constantemente criados e modificados na mente dos alunos de acordo com o relato verbal dado. Portanto, descrições que remetem ideias mecanicistas e estacionárias, convenientes a ciência clássica são responsáveis por modelos mentais estagnados e incoerentes quando os conceitos ensinados fazem parte de uma perspectiva diferente da usual. A química e os conceitos pertinentes a ela, requerem um abandono da visão cartesiana e determinista das coisas, por isso a necessidade de reformulação de pensamento e apuração do vocabulário.

Outro obstáculo encontrado são as dificuldades dos alunos em interpretar os modelos considerados tradicionais alusivos aos fenômenos. Tal informação requer que pensamos em substituintes para expressar e representar a teoria ou que os modelos já utilizados ganhem sentido e significado. A inserção de novos modelos para fundamentação das teorias poderia ser feita de forma gradativa, sem ter que abster-se da utilização dos modelos já estabelecidos. Se as contribuintes de ressonância não dão conta de explicar alguns conceitos em química, por passar a ideia de alternância entre as estruturas, o híbrido de ressonância poderia ser abordado para fundamentar tais conceitos. Logo, o uso de MEP poderia justificar-se para explicação e confirmação do híbrido de ressonância, pois é baseado em medidas experimentais.

Utilizar estes modelos acima citados contemplaria as ideias iniciais e básicas da química quântica, como dualidade onda-partícula, o Princípio da Incerteza, deslocalização eletrônica, entre outros, reduzindo a ideia de que química é algo difícil e impossível de se entender devido ao rigor matemático sendo uma parte da física/química restrita aos gênios da ciência. Medidas devem ser tomadas para que sejam evitadas cada vez mais as segregações da ciência e distanciamento das partes que a compõem. É lastimável ver como os objetos da pesquisa foram intimamente associados às disciplinas de orgânica, julgando as concepções colhidas como sendo de responsabilidade dos professores destas matérias.

Os conceitos hibridização de orbitais atômicos e a ressonância estão sendo explicados de forma superficial e restritiva a alguns exemplos, por isso, a diversidade das concepções, majoritariamente, equivocadas. A metodologia utilizada deve adaptar-se a abstração e a complexidade destes fenômenos. Recursos como *softwares* podem passar a ser utilizados, mas deve haver criticidade ao escolher estes recursos, para que os mesmos estejam coerentes ao fenômeno.

Em face destas concepções, espera-se que os pesquisadores, docentes e futuros docentes percebam melhor a diversidade de conhecimentos e as profundidades destes para que possam ajudá-los a superar os obstáculos e as dificuldades.

REFERÊNCIAS

BACHELARD, G. A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento. Tradução Estela dos Santos Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BATISTA, I. L.O ensino de teorias físicas mediante uma estrutura histórico-filosófica. **Ciênc. educ.** Bauru, São Paulo. On-line. 2004, vol.10, n.3, pp.461-476. ISSN 1516-7313. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-73132004000300010>. Acesso em mar 2019.

BATHISTA, A.L.B., & NOGUEIRA, J. S. Breve Discussão da Mecânica Quântica: História e Formalismo Matemático. **IX Encontro de Iniciação Científica**, Cuiabá, UFMT. 2001 Disponível em: http://www.geocities.ws/andre bathista/mecanica_quantica_ufmt.pdf. Acesso em 17/11/2018. Acesso em mai 2019.

BRUCE, P. Y. Química Orgânica, vol.1, 4 ed. São Paulo, Pearson, 2006.

CAREY, F. A.; Química Orgânica, 7ª ed.; AMGH Editora: São Paulo, 2011.

DRIVER, R. Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencias. **Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas**. v.6, n.2, p.109-120, 1988. On-line. Leeds, Inglaterra. Disponível em: <https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/51075/92742>. Acesso em mar 2019. ISSN 0212-4521, ISSN-e 2174-6486.

FONTANA, R. A. C. A elaboração conceitual: a dinâmica das interlocuções na sala de aula. In: SMOLKA, A. L. B.; GÓES, M. C. R. de (Orgs.). **A linguagem e o outro no espaço escolar**. São Paulo: Papyrus, 1993.

GRECA, I. M; DOS SANTOS, F. M. T. Dificuldades da generalização das estratégias de modelação em ciências: o caso da física e da química. **Investigações em Ensino de Ciências** – V10(1), pp. 31-46, 2005. Porto Alegre, Rio Grande do Sul. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/521/pdf>. Acesso em mar 2019.

HANSON, R., SAM, A., & ANTWI, V. Misconceptions of undergraduate chemistry teachers about hybridisation. **African Journal of Educational Studies in Mathematics and Sciences** Vol. 10, 2012. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/283452888_Misconceptions_of_undergraduate_chemistry_teachers_about_hybridisation. Acesso em mai 2019

HERBERT, B. E; The role of scaffolding student metacognition in developing mental models of complex, Earth and environmental systems. Em: International Workshops on Research and Development in Mathematics and Science Education, Washington D.C., 2003

JOHNSON-LAIRD, P.N. Mental models: towards a cognitive science of language, inference, and consciousness. 6 ed. Harvard University Press.1983. ISBN 0674568818, 9780674568815

KERBER, R. C. If It's Resonance, What is Resonating? **Journal of Chemical Education**. Vol. 83 No. 2 February 2006, New York.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M.. Técnicas de pesquisa: elaboração e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisas, elaboração, análise e interpretação de dados. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

MCMURRY, John. Química Orgânica. vol. 1 e 2. 6 ed. Cengage Learning, 2005.

MEDEIROS, E. A., AMORIM, G. C. C. Análise textual discursiva: dispositivo analítico de dados qualitativos para a pesquisa em educação. **Laplace em Revista**, Sorocaba. Vol. 3 n. 3, set-dez, 2017, p. 247-260. Disponível em:<https://doi.org/10.24115/S2446-6220201733385p.247-260>. Acesso em mai 2019. ISSN:2446-6220

MORAES, R., GALIAZZI, M.C. Análise Textual Discursiva: Processo Reconstutivo de Múltiplas Faces. *Ciência e Educação*, Vol. 12, NO. 1, p. 117-128, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v12n1/08.pdf>. Acesso em mai 2019.

_____. Análise Textual Discursiva. 3 Ed. UNIJUI. 2016.

MORGAN, M. S.; MORRISON, M. Model as Mediating instruments. In: MORGAN, M; MORRISON, M. **Models as Mediators: Perspectives on Natural and Social Science**. Cambridge University Press, New York, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511660108.003>. Acesso em mar 2019

ORNEK, F; Models in Science Education: Applications of Models in Learning and Teaching Science. **International Journal of Environmental & Science Education**,

3 (2), p. 35 - 45, 2008. Disponível em: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ894843.pdf>. Acesso em mai 2019

PEREIRA, C. F. C., DA ROCHA, A. B., TAMIASSO-MARTINHON, P., ROCHA A. S., SOUSA, C.. Contextualização Histórico-Filosófica de Orbitais Atômicos e Moleculares. **História da Ciência e Ensino**.Vo. 16, 2017, p. 18-35. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/index.php/hcensino/article/view/33034>. Acesso em mai 2019.

PIAGET, J.. A epistemologia genética. Petrópolis: Vozes, 1971.

POZO, J.I. & CRESPO, M.A.G. Por que os alunos não aprendem a ciência que lhes é ensinada?. In: **A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimentos científico**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009, p. 15-28. Disponível em: <http://docente.ifrn.edu.br/mauriciofacanha/ensino-superior/disciplinas/instrumentacao-para-o-ensino-de-quimica-i/pozo-j.-i.-crespo-m.-a.-g.-a-aprendizagem-e-o-ensino-de-ciencias-do-conhecimento-cotidiano-ao-conhecimento-cientifico.-5.-ed.-porto-alegre-artmed-2009/view>. Acesso em mar 2019.

SANT'ANNA, C.M. R. Métodos de Modelagem Molecular para Estudo e Planejamento de Compostos Bioativos: Uma Introdução. **Revista Virtual de Química**, V. 1, No. 1 ,p 49-57, 2009. Disponível em: <http://rvq.s bq.org.br/imagebank/pdf/v1n1a07.pdf>. Acesso em mai 2019

SAYÃO, L. F. Modelos teóricos em ciência da informação – abstração e método científico. **Ciência da Informação**., Brasília, v. 30, n. 1, p. 82-91. Janeiro a Abril. 2001. Disponível em: <http://revista.ibict.br/ciinf/article/view/941>. Acesso em mar 2019.

SILVA JR, J. N., BARBOSA, F. G, LEITE JR, A. J. M., EDUARDO, V. M. Ressonância: desenvolvimento, utilização e avaliação de um software educacional. **Química Nova**. Vol. 37, No 2, 373-376 2014. Disponível em: <http://www.quimicanova.s bq.org.br/imagebank/pdf/v37n2a29.pdf>. Acesso em mai 2019.

SHRIVER & ATKINS. **Química Inorgânica**. 4 ed. Guanabara Koogan, 2008.

SMOLKA, A.B. A concepção de linguagem como instrumento: um questionamento sobre práticas discursivas e educação formal.**Periódicos Eletrônicos em Psicologia PEPSIC**. On-line. Ribeirão Preto, São Paulo. Temas em psicologia vol.3

no.2. Agosto 1995. Disponível em:
http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-389X1995000200003. Acesso em mar 2019.

THE NOBEL PRIZE. Erwin Schrödinger – Biographical. NobelPrize.org. Nobel Media AB 2019. Disponível em:
<https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1933/schrodinger/biographical/>. Acesso em mai 2019.

THE NOBEL PRIZE: Linus Pauling – Facts. NobelPrize.org. Nobel Media AB 2019. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1954/pauling/facts/>. Acesso em mai 2019.

TRIVIÑOS, A. N. S. Introdução à Pesquisa em Ciências Sociais: a pesquisa qualitativa em educação. São Paulo: Atlas, 1987.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Diagnóstico aplicado após o questionário.

DIAGNÓSTICO

I - Quais das questões você sentiu dificuldade para responder? Enumere em ordem crescente para dificuldades:

- Questão 01;
- Questão 02;
- Questão 03;
- Questão 04;
- Questão 05;
- Questão 06;
- Questão 07.

II. Por que você teve dificuldade em responder estas questões? Você pode escolher mais de uma opção:

- Desconheço o conceito científico por trás das questões.
- Nunca tive contato com estes modelos representacionais.
- Não lembro de ter visto estes assuntos no curso.
- Conheço os conceitos, mas não consegui responder as questões, pois _____

_____.

- Outros:

_____.

III. Assinale qual desses modelos representacionais você já teve contato no curso:

- Híbrido de ressonância.
- Mapa de potencial eletrostático.
- Orbitais híbridos; (não incluir a hibridização do átomo de carbono).