

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

ANGELO SIGUEMURA SOUZA

**A internet como fonte de estudos e a utilização de *sites*
como recurso para aprender Velocidade de Reação**

RIO DE JANEIRO

2023

ANGELO SIGUEMURA SOUZA

**A internet como fonte de estudos e a utilização de *sítes* como recurso para
aprender Velocidade de Reação**

Dissertação apresentada ao final do curso de Mestrado Profissional em Ensino de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito final a obtenção do título de Mestre em Ensino de Química.

Orientadores: Prof. Dr. Antonio Carlos de Oliveira Guerra
Prof. Dr. Guilherme Cordeiro da Graça de Oliveira

RIO DE JANEIRO

2023

FICHA CATALOGRÁFICA

ANGELO SIGUEMURA SOUZA

**A internet como fonte de estudos e a utilização de *sites* como recurso para
aprender Velocidade de Reação**

Dissertação apresentada ao final do curso de Mestrado Profissional em Ensino de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito final a obtenção do título de Mestre em Ensino de Química.

Aprovada em:

Antônio Carlos de Oliveira Guerra, Doutor, DQI – IQ/UFRJ

Guilherme Cordeiro da Graça de Oliveira, Doutor, DFQ – IQ/UFRJ

Rodrigo Volcan Almeida, Doutor, DBQ – IQ/UFRJ

Anita Ferreira do Valle, Doutora, DBQ – IQ/UFRJ

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que nos momentos mais difíceis foi o meu amparo.

Aos meus Pais pelo constante apoio e por toda ajuda e carinho ao longo de toda minha vida.

Aos meus tios paternos: Magno Carlos e Mauro Souza que sempre me inspiraram a estudar e a acreditar na educação.

A minha sobrinha Valentina por simplesmente existir e por todo seu carinho.

Aos meus Orientadores: Antônio Guerra e Guilherme Cordeiro por toda a ajuda e por todo apoio ao longo de todo este trabalho e por nunca me abandonarem e me fazer acreditar que seria possível chegar ao fim. Sem suas ajudas, seus conhecimentos e toda atenção, jamais conseguiria ir até o fim. Sou eternamente grato por tudo.

A professora Rosane San Gil por todo apoio e contribuições a este trabalho.

A todos os professores do PEQUI que me ajudaram em minha formação intelectual, moral e ética.

RESUMO

SOUZA, Angelo Siguemura. **A internet como fonte de estudos e a utilização de sites como recurso para aprender Velocidade de Reação**. Rio de Janeiro, 2023. Dissertação (Mestrado profissional em Ensino de Química)--Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

O presente trabalho tem como objetivo fazer uma análise crítica de 20 *sites* disponíveis na *internet* que tratam do tema Velocidade de reação, a luz da epistemologia de Gaston Bachelard e avaliar a confiabilidade da *internet* como fonte de pesquisa. A motivação desta pesquisa é a expansão da internet nos últimos 30 anos e a revolução nas formas de comunicação e acesso às informações, que tiveram grandes impactos em todos os campos sociais, em especial na educação. O grande número de informações disponíveis na rede permite que qualquer pessoa tenha acesso ao conhecimento de algum tema de interesse em apenas poucos segundos. Portanto, qualquer estudante pode acessar conteúdos na internet acerca do tema velocidade de reação. A análise dos 20 *sites* foi feita por meio de um Instrumento de Avaliação composto por 13 tópicos avaliativos. A criação e a aplicação do Instrumento de avaliação foram feitas pelo próprio autor da pesquisa. Os resultados revelaram, além de equívocos conceituais, lacunas em relação à abordagem do tema velocidade de reação e a presença de vários obstáculos epistemológicos, o que indica ser recomendável uma avaliação prévia, por um professor ou profissional da área de química, dos conteúdos de velocidade de reação, disponíveis na *internet*, antes de sua utilização como material de estudo. Como produto educacional, foi proposto um livreto sobre o tema velocidade de reação para orientar os professores a ensinar esta disciplina aos estudantes do Ensino Médio.

Palavras-chave: Cinética Química, Ensino de Química, Obstáculos Epistemológicos.

ABSTRACT

The present work aims to make a critical analysis of sites available on the internet and dealing with the topic of reaction speed, within the field of chemical kinetics studies, in the light of Gaston Bachelard's epistemology and to evaluate the reliability of the internet as a source of research on this topic. The motivation of this research is the expansion of the internet in the last 30 years and the revolution in the forms of communication and access to information, which had great impacts on all social fields, especially in education. The large number of information available on the network allows anyone to have access to knowledge of any topic of interest in just a few seconds. Therefore, any student can access content on the internet on the subject of reaction speed. Based on this, this research evaluated 20 sites available on the internet on the subject of reaction speed, through the direct search in the *Google* chromer browser using the command "reaction speed". The analysis of the first 20 sites considered relevant to this research was done through an Evaluation Instrument composed of 13 evaluative topics. The application of the Evaluation Instrument was done by the author of the research, through the direct reading of the contents of each site and, subsequently, the completion of the Evaluation Instrument. The first six evaluation topics aimed to evaluate some conceptual part of the reaction rate theme and the last 7 topics aimed to address how the site approached the reaction rate theme.

The results reveal, in addition to conceptual misconceptions, gaps in relation to the approach of the reaction speed theme and the presence of several epistemological obstacles and allow us to conclude that it is recommended a previous evaluation, by a teacher or professional in the field of chemistry, to the contents of reaction speed, available on the internet, before its use as study material to ensure that the site used as a source of studies does not have conceptual errors, which hinder the learning of its users.

Keywords: Chemical Kinetics, Chemistry Teaching, Epistemological Obstacles.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Índice de indivíduos com 10 anos ou mais que acessaram à Internet. Dados: CGI, 2015.....	23
Figura 2 - Instrumento de avaliação desenvolvido no Google forms	61
Figura 3 - Trecho do site S1	106
Figura 4 - Trecho do site S3 com erros de notação.....	106
Figura 5 - Trecho do site S4	107
Figura 6 - Trecho do site S12 com erro de ortografia	108
Figura 7 - Trecho do site S13 com erro de notação	108
Figura 8 - Trecho do site S14 com erro esdrúxulo de notação	108
Figura 9 - Trecho do site S18 como erro de notação na lei de velocidade	109
Figura 10 - Trecho da videoaula com erro conceitual.....	110
Figura 11 - Trecho do site S2 com erro conceitual	111
Figura 12 - Exemplo de estado de transição	112
Figura 13 - Trecho do site S13 com perguntas não respondidas	113
Figura 14 - Trecho do site S15 com erro conceitual	113
Figura 15 - Trecho do site S18 com erro conceitual	114
Figura 16 - Definição da regra de Van't Hoff utilizada pelo site S1.....	121
Figura 17 - Trecho do site S6 com definição incorreta da lei de velocidade.....	123
Figura 18 - Gráfico da variação das espécies A, B e C	124
Figura 19 - Exercício do site S3 com erro na resposta.....	128

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Link dos sites consultados com seus respectivos domínios	55
Quadro 2. Tópicos utilizados no instrumento de avaliação	58
Quadro 3. Abordagens dos sites em relação à ordem de reação.....	77
Quadro 4. Resultados obtidos da análise dos 20 sites pelo Tópico T2	82
Quadro 5. Resultados obtidos da análise dos 20 sites pelo Tópico T4	91
Quadro 6. Resultados obtidos da análise dos 20 sites pelo Tópico T5	93
Quadro 7. Resultados obtidos da análise dos 20 sites pelo Tópico T7	99
Quadro 8. Resultados obtidos da análise dos 20 sites pelo Tópico T11	116
Quadro 9. Resultados obtidos da análise dos 20 sites pelo Tópico T12	118

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Leis de velocidade típica	32
Tabela 2. Tabela adaptada do site S1	78
Tabela 3. Dados cinéticos	126

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CGI	Comitê Gestor da <i>Internet</i>
ENEM	Exame Nacional do Ensino Médio
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ITA	Instituto Tecnológico da Aeronáutica
FTP	<i>File Transfer Protocol</i>
L1	Livro 1
L2	Livro 2
NTIC	Novas Tecnologias da Informação e Comunicação
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostragem de Domicílios
SN ₁	Substituição Nucleofílica 1
SN ₂	Substituição Nucleofílica 2
S1	<i>Site 1</i>
S2	<i>Site 2</i>
S3	<i>Site 3</i>
S4	<i>Site 4</i>
S5	<i>Site 5</i>
S6	<i>Site 6</i>
S7	<i>Site 7</i>
S8	<i>Site 8</i>
S9	<i>Site 9</i>
S10	<i>Site 10</i>
S11	<i>Site 11</i>
S12	<i>Site 12</i>
S13	<i>Site 13</i>
TDIC	Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
T1	Tópico 1
T2	Tópico 2
T3	Tópico 3
T4	Tópico 4
T5	Tópico 5

T6	Tópico 6
T7	Tópico 7
T8	Tópico 8
T9	Tópico 9
T10	Tópico 10
T11	Tópico 11
T12	Tópico 12
T13	Tópico 13
UEM	Universidade Estadual de Maringá
UFJF	Universidade Federal de Juiz de Fora
URL	<i>Uniform Resource Locator</i>
USP	Universidade Estadual de São Paulo
WWW	<i>World Wide Web</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	18
2.1	OBJETIVO GERAL	18
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
3.1	AS DIFICULDADES E MUDANÇAS NOS PARADIGMAS DA APRENDIZAGEM DE QUÍMICA.....	19
3.2	A HISTÓRIA DA INTERNET ATÉ OS DIAS ATUAIS.....	22
3.3	AS TECNOLOGIAS DIGITAIS DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO.....	25
3.4	CONCEITOS DE VELOCIDADE DE REAÇÃO.....	28
3.4.1	Molecularidade	29
3.4.2	Leis de velocidade e ordem de reação	30
3.4.3	Constante de velocidade	33
3.4.4	Reações não elementares e mecanismos de reação	36
3.4.5	Fatores que afetam a velocidade de reação	39
3.5	A EPISTEMOLOGIA DE GASTON BACHELARD.....	42
3.5.1	A experiência primeira	47
3.5.2	O conhecimento geral	48
3.5.3	O obstáculo verbal	49
3.5.4	O obstáculo animista	50
3.5.5	O obstáculo do conhecimento quantitativo	51
4	METODOLOGIA	54
4.1	BASES CONCEITUAIS UTILIZADAS NA AVALIAÇÃO DOS <i>SITES</i>	63
4.1.1	Bases conceituais e objetivo do tópico T1	63
4.1.2	Bases conceituais e objetivo do tópico T2	65
4.1.3	Bases conceituais e objetivo do tópico T3	66

4.1.4	Bases conceituais e objetivo do tópico T4	67
4.1.5	Bases conceituais e objetivo do Tópico T5	69
4.1.6	Bases conceituais e objetivo do Tópico T6	72
4.1.7	Bases conceituais e objetivo do Tópico T7	72
4.1.8	Bases conceituais e objetivo do tópico T8	73
4.1.9	Bases conceituais e objetivo do tópico T9	74
4.1.10	Objetivos para o tópico T10	74
4.1.11	Objetivos para o tópico T11	75
4.1.12	Objetivos para o tópico T12	75
4.1.13	Objetivos para o tópico T13	75
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	76
5.1	RESULTADOS PARA O TÓPICO T1 - NO SITE É DISCUTIDA A LEI DE VELOCIDADES EM TERMOS DE UMA LEI EMPÍRICA, NA QUAL O PARÂMETRO ORDEM DE REAÇÃO É OBTIDO EXPERIMENTALMENTE?.....	76
5.2	RESULTADOS PARA O TÓPICO T2 - NO SITE É DISCUTIDA A CONSTANTE DE VELOCIDADE EM TERMOS DE:	82
5.3	Resultados para o Tópico T3 – No site é abordada a relação entre mecanismos de reação com a ordem de reação e a equação de velocidade?	86
5.4	RESULTADOS PARA O TÓPICO T4 – NO SITE SÃO ABORDADOS QUAIS SÃO OS FATORES QUE AFETAM A VELOCIDADE DE REAÇÃO?	90
5.5	RESULTADOS PARA O TÓPICO T5 – NO SITE É DEIXADO DE ABORDAR ALGUM TÓPICO DO TEMA VELOCIDADE DE REAÇÃO?	93
5.6	RESULTADOS PARA O TÓPICO T6 – NO SITE É FEITA ALGUMA CORRELAÇÃO ENTRE A TERMODINÂMICA E OS CONCEITOS ESTUDADOS EM VELOCIDADE DE REAÇÃO?	98
5.7	RESULTADOS PARA O TÓPICO T7 – NO SITE É FEITO USO DE RECURSOS VISUAIS QUE FACILITEM A COMPREENSÃO DO ESTUDANTE COM O CONTEÚDO VELOCIDADE DE REAÇÃO E QUE POSSA FACILITAR A APRENDIZAGEM DO TEMA?	99

5.8	RESULTADOS PARA O TÓPICO T8 – NO SITE É FEITO USO DE EXEMPLOS PRÁTICOS E COTIDIANOS SOBRE O TEMA VELOCIDADE DE REAÇÃO, UTILIZANDO-SE DE EXEMPLOS SOBRE A APLICAÇÃO DO TEMA NAS INDÚSTRIAS, NA VIDA DOMÉSTICA, NA SAÚDE, NA ECONOMIA, ETC;	103
5.9	RESULTADOS PARA O TÓPICO T9 – NO SITE É ABORDADO O ASSUNTO VELOCIDADE DE REAÇÃO COM LINGUAGEM APROPRIADA DA QUÍMICA?	105
5.10	RESULTADOS PARA O TÓPICO T10 - NO SITE SÃO ENCONTRADOS ERROS CONCEITUAIS OU CONCEITOS INCOMPLETOS?	110
5.11	RESULTADOS PARA O TÓPICO T11 – NO SITE SÃO MENCIONADOS PARA QUAL PÚBLICO-ALVO OS CONTEÚDOS SÃO DIRECIONADOS?	116
5.12	RESULTADOS PARA O TÓPICO T12 – NO SITE SÃO CITADAS REFERÊNCIAS AO CONTEÚDO PUBLICADO?	117
5.13	RESULTADOS PARA O TÓPICO T13 - COMENTÁRIOS EXTRAS SOBRE O SITE AVALIADO.....	119
5.14	PRINCIPAIS OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS IDENTIFICADOS ..	120
5.14.1	Uso de termos verbalistas	120
5.14.2	Uso de generalização	121
5.14.3	Uso incorreto de uma lei para definir outra	122
5.14.4	Obstáculo epistemológico do conhecimento quantitativo	127
5.14.5	Atribuição de termos animistas	129
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES	130
6.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS	130
6.2	CONCLUSÕES	131
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	133
8	ANEXO A – Lista de <i>sites</i> pesquisados	140

1 INTRODUÇÃO

De maneira geral e no senso comum, a ciência química é encarada com preconceito e complexidade. É parte do imaginário popular o estereótipo do químico de cabelos desgrenhados, guarda-pó carcomido e portando um tubo de ensaio na mão. A química escolar, por sua vez, é vista pela maioria dos estudantes, como uma disciplina muito abstrata por abranger conceitos de difícil assimilação e visualização. Apesar de tudo a nossa volta ter alguma ligação com a química, a maioria dos estudantes não consegue correlacionar os conceitos abordados nas aulas com a realidade da vida cotidiana e com questões práticas.

Por outro lado, a expansão da internet proporcionou amplo compartilhamento das informações que circulam em nível global, com grandes impactos na sociedade brasileira, o que possibilitou consultas instantâneas a respeito de qualquer assunto. Isso permitiu que os estudantes tivessem acesso rápido e em grande quantidade de qualquer assunto sobre química, assim como os professores também passaram a escrever e disponibilizar materiais didáticos acerca dos conteúdos por eles ministrados.

No atual contexto em que vivemos, a Internet se tornou uma fonte inesgotável de pesquisa, porém, cabem as seguintes questões: até que ponto a internet é um recurso confiável de pesquisa, ensino e aprendizagem dos conceitos da química? Seria possível realmente substituir os livros, enciclopédias ou outras fontes que são classicamente fontes confiáveis de pesquisa pelos conteúdos disponibilizados na Internet? Como garantir que o que lemos em *sites* disponíveis na internet e outras fontes de pesquisa na rede não contêm erros conceituais ou distorções?

Baseado nesta inquietação, este trabalho visa avaliar os conteúdos sobre o tema velocidade de reação, disponíveis de forma gratuita em *sites* na internet e identificar possíveis equívocos associados aos obstáculos epistemológicos formulados segundo o filósofo francês Gaston Bachelard. Para isso, foi elaborado um Instrumento de avaliação com 13 tópicos que visam analisar partes específicas do tema velocidade de reação, assim como avaliar a forma de abordagem nos *sites* pesquisados.

Os tópicos de natureza conceitual visam comparar a abordagem conceitual proposta nos *sites* pesquisados com aquela tratada em dois livros clássicos de Química Geral utilizados nos cursos de graduação: Princípios de Química -

Questionando a vida moderna e o meio ambiente, de Atkins e Jones; e Química Geral, de Rozemberg (ATKINS, 2006; ROZENBERG, 2002). Como Produto Educacional, foi elaborado um livreto sobre Velocidade de reação à luz da epistemologia de Gaston Bachelard, que visa ajudar estudantes do Ensino Médio e de graduação a entender e vencer os possíveis obstáculos epistemológicos na aprendizagem dos conceitos àquele tema, tendo como base os dados observados nos *sites* pesquisados.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Investigar a pertinência e adequação conceitual de *sites* educacionais que disponibilizam conteúdos relacionados à velocidade de reação, bem como a geração de obstáculos epistemológicos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver um mecanismo de avaliação de *sites*, por meio de um Instrumento de avaliação de criação do autor que permita avaliar conteúdos do tema “Velocidade de reação” disponível na internet;
- Comparar os conceitos utilizados por *sites* com aqueles estabelecidos na literatura, disponíveis em dois livros de graduação que abordam o tema velocidade de reação;
- Avaliar, segundo a epistemologia de Gaston Bachelar, possíveis obstáculos epistemológicos presentes nos *sites*, que possam dificultar a compreensão dos conteúdos sobre velocidade de reação.
- Propor como produto educacional um livreto sobre o tema velocidade de reação para auxiliar professores da educação básica na abordagem dos conceitos estudados neste tópico da química, assim como também ser um material permanente de consulta ao tema velocidade de reação.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para o presente trabalho será realizada uma revisão da literatura sobre: as dificuldades e mudanças nos paradigmas da aprendizagem de química, a história da internet até os dias atuais, a disponibilidade da internet para os estudantes; e o surgimento das Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC) e sua diferenciação do conceito de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), refletindo sobre seus impactos nas novas formas de ensinar química. Como referencial teórico, será utilizada a epistemologia histórica do filósofo francês Gaston Bachelard, em especial os conceitos de obstáculos epistemológicos abordados no livro “A formação do espírito científico”.

Segundo Bachelard (1996), a procura da humanidade pelas condições psicológicas necessárias para definirmos o progresso do conhecimento científico deve ser colocada em termos de obstáculos. Não se trata apenas de considerar estes obstáculos como externos aos sujeitos que avaliam a complexidade e fugacidade da fenomenologia observada e nem de observar os próprios fatores internos inerentes a natureza humana, como a fragilidade dos sentidos e de nosso espírito. Para Bachelard (1996), é durante o contato do sujeito com o próprio fenômeno e na tentativa de entendê-lo, aprendê-lo que surgem obstáculos, que nunca torna o real conhecimento do fenômeno algo imediato. O conceito de obstáculo epistemológico pode ser estendido para a prática educacional, uma vez que os conhecimentos empíricos dos alunos, derivados de seu cotidiano, além de outras dificuldades que os mesmos podem apresentar ao terem um primeiro contato com conceitos e fenômenos químicos, muitas vezes abstratos e de natureza microscópica, que podem gerar obstáculos na aprendizagem.

3.1 AS DIFICULDADES E MUDANÇAS NOS PARADIGMAS DA APRENDIZAGEM DE QUÍMICA

Grande parte das dificuldades apresentadas pelos estudantes do ensino médio e do nível superior em relação à química também são consequências da má estruturação do modelo educacional brasileiro. Há quase três décadas, Giesbrecht (1994) já reportava que o modelo educacional no Brasil, desde os pilares iniciais do ensino primário, é pouco evoluído, pois não existe uma valorização da importância

da educação na construção e formação para a cidadania. Isto tem reflexos nos índices de analfabetismo que políticas públicas não conseguem erradicar. Além disto, o Brasil apresenta outros problemas sociais, como, por exemplo, uma saúde pública precária, o que impacta na qualidade de vida da população e reflete na dificuldade de aprendizagem dos estudantes.

Outros autores também condenam as metodologias tradicionais de ensino baseadas apenas na aplicação de fórmulas. Segundo Bedin (2019), muitas metodologias apenas se concentram em cálculos matemáticos, sem a discussão dos fenômenos envolvidos, além de aulas que usam apenas o livro didático com o conteúdo sendo transmitido de forma expositiva, com ausência total de experimentos e aulas diversificadas, o que direciona os estudantes à passividade e sem uma reflexão aos fenômenos científicos.

Políticas públicas, como as estabelecidas em documentos como os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), apontam para a necessidade do Ensino de Química pautar-se no desenvolvimento de conhecimento científico no aluno, permitindo-o a compreensão do mundo e a possibilidade de interferência na interpretação do universo químico que nos cerca. Porém, o alcance deste objetivo só será possível quando a abordagem da química for feita de maneira contextualizada e pautada no cotidiano dos estudantes (BRASIL, 1999).

O ensino dos conceitos químicos exige uma compreensão dos fenômenos químicos que ocorrem em nível submicroscópico, assim como uma compreensão a nível macroscópico, além do domínio da linguagem simbólica que representa tais fenômenos nestas duas dimensões (SOUZA, 2008). Muitos estudantes possuem dificuldades de desenvolver o pensamento abstrato, para compreender a correlação existente entre os fenômenos a nível micro e macroscópicos com a linguagem simbólica que os representa, uma vez que a própria interpretação das notações usadas na química exige dos estudantes a capacidade de abstração, o que tem como conseqüências grandes dificuldades de aprendizagem dos conceitos químicos (GHIRARDI et al., 2014).

A interpretação do mundo químico é sempre uma dialética entre a teoria e a sua parte experimental, pensamento e realidade que são transcodificadas por meio do sistema representacional da química. Contudo a valorização apenas dos aspectos representacionais pode ocasionar barreiras epistemológicas ao entendimento no universo microscópico da química.

Diante disso, uma sistematização dos conteúdos químicos poderia auxiliar professores e estudantes em suas tarefas de ensino e aprendizagem. Na tentativa de superar as dificuldades apresentadas pela maioria dos estudantes em correlacionar as propriedades macroscópicas e submicroscópicas na compreensão sobre a matéria, o professor escocês Alex Johnstone (1930-2017) propôs um triângulo, chamado de triângulo de Johnstone, ou em inglês, *Chemical Triplet*, o qual divide o conhecimento químico em três níveis de abrangência: macroscópico, submicroscópico e simbólico (JOHNSTONE, 2000).

Segundo MORTIMER (2000), a química também pode ser compreendida através da divisão em três dimensões, em analogia ao triângulo de Johnstone, nos níveis Fenomenológico, Teórico e Representacional. No entanto, pode-se perceber que a maior parte dos livros didáticos abrange prioritariamente a dimensão representacional em detrimento as dimensões Fenomenológica e Teórica (LIMA, 2000).

Dessa forma, é necessário ter um olhar mais sensível a como é feita a transmissão de conhecimento em sala de aula. Quando isso ocorre de forma estagnada, sem reflexão e sem exemplos práticos, resta aos professores apenas ensinar a mera memorização de informações, sendo pouco aproveitados a potencialidade que estes conhecimentos poderiam proporcionar aos estudantes e seu valor social que teriam para a sociedade (YAMAMOTO, 2016).

Por outro lado, as transformações tecnológicas das últimas décadas sofreram mais avanços do que toda a história da humanidade, o que tem ocasionado reflexos em todos os campos da vida humana, com fortes reflexos no campo educacional (DIAS, 2021). Os últimos 60 anos foram marcados pelo surgimento e evolução da internet, que permitiu a virtualização da informação.

Todas as transformações que dela decorreram tiveram como consequência o surgimento de mudanças culturais e sociais, nas quais os indivíduos desta época vivem imersos em uma nova comunidade chamada de Cibercultura. O espaço no qual todas essas novas formas culturais de interação humana ocorrem é chamado de ciberespaço, ou rede, que surge da interconecção de computadores (LEVY, 1999).

Segundo Moran (2000), a internet é uma ferramenta que tem grande potencial de motivar os estudantes, por ser uma fonte inesgotável de pesquisa e capaz de criar uma relação de confiança entre professor e educando durante o processo de

ensino e aprendizagem. A internet é capaz de desenvolver nos estudantes a intuição, a flexibilidade mental e a adaptação a ritmos diferentes.

3.2 A HISTÓRIA DA INTERNET ATÉ OS DIAS ATUAIS

A idéia inicial da internet foi desenvolvida em meados dos anos 60 por um grupo de programadores e engenheiros eletrônicos contratados pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos para o desenvolvimento de uma ferramenta de comunicação militar que pudesse ser utilizada durante um conflito nuclear (MONTEIRO, 2001). O principal objetivo do projeto foi desenvolver uma rede sem controle central, na qual pacotes de informações pudessem ser transmitidos com rapidez, flexibilidade e tolerância a erros, em uma rede que cada computador pudesse ser apenas um ponto, ou nó, que não impossibilitaria o fluxo de informações mesmo que um computador não funcionasse (MONTEIRO, 2001).

No início dos anos 90, o cientista inglês Tim Berners-Lee foi o responsável pelo desenvolvimento da Web e até o ano de 1994 somente o detentor do endereço de um *site* poderia disponibilizar informações na rede por meio da Web e a produção de conteúdos era limitada aos detentores dos conhecimentos de códigos de programação. A possibilidade de disponibilização de conteúdos na Web era praticamente infinita, porém limitadas de forma unidirecional dos programadores, Webmasters e Web Designers, para os usuários (RAVACHE, 2006).

Atualmente, a internet permite que qualquer usuário acesse, a partir de um computador, seja em espaços físicos diferentes ou não, por meio de um protocolo de comunicação comum, informações e conteúdos das mais diversas formas. Vale ressaltar que a Internet e a Web (World Wide Web) ou *www* não são sinônimos. A Web é definida como uma plataforma de interface amigável que permite a troca de informações multimídia – textos, som, gráficos e vídeos – através da estrutura da internet. A Web é um caminho de emprego da internet, assim como o e-mail e o FTP (File Transfer Protocol) ou outros de conhecimento menos corriqueiros (MONTEIRO, 2001).

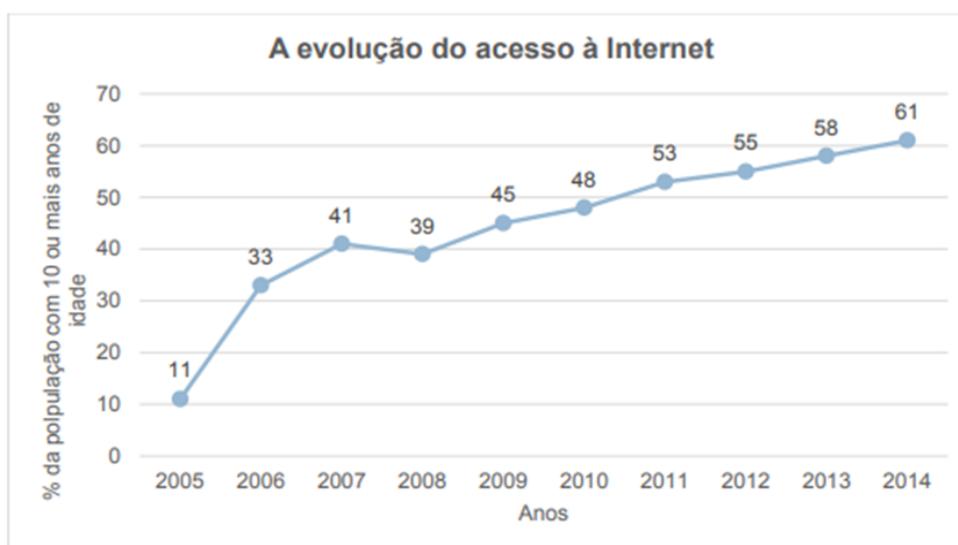
De fato, a internet tem ocasionado mudanças na forma como a informação é transmitida entre as pessoas. Pode-se afirmar que os indivíduos desta geração digital estão diante de novas ferramentas e possibilidades de aprendizagem, uma

vez que os métodos tradicionais de ensino-aprendizagem tornam-se desinteressantes e obsoletos frente a imensidão de possibilidades proporcionada pela internet (DIAS, 2021).

Uma questão surge em relação à internet e que impacta o acesso da população a ela. A última pesquisa realizada pelo IBGE em 2014 aponta, conforme os dados da Pesquisa Nacional por Amostragem de Domicílios (PNAD), que 49% dos domicílios brasileiros possuem computadores disponíveis. Além do mais, 78% das pessoas residentes destes domicílios com mais de 10 anos possuem algum tipo de telefone móvel de uso pessoal (IBGE, 2015).

Uma pesquisa realizada pelo Comitê Gestor da Internet no Brasil (CGI), no período entre março de 2014 a março de 2015, aponta que 61% dos indivíduos com 10 anos ou mais já acessaram a internet. A pesquisa do CGI teve como foco o acesso da população brasileira às tecnologias digitais. É possível observar na Figura 1 a evolução do acesso à internet no período de 2005 a 2014.

Figura 1 - Índice de indivíduos com 10 anos ou mais que acessaram à *Internet*. Dados: CGI, 2015



Apesar das projeções indicarem crescimento no acesso à internet entre 2005 e 2014, a pesquisa revela que ele é ainda muito baixo e tem como causas fatores tais como, custo elevado na aquisição de computadores, baixa cobertura de internet em várias regiões do país, baixo investimento de políticas públicas para melhorar o acesso da população à internet (CGI, 2015). Todos esses fatores afetam a inclusão

digital dos indivíduos e partes do equacionamento deste problema passam por políticas públicas de ampliação e oferta da internet no Brasil.

Diante deste fato, surgiu um novo problema: A exclusão digital, que separa a população entre aqueles que possuem acesso à internet e conseqüentemente as informações disponibilizadas na rede e aqueles que são “Excluídos digitais” e não possui acesso à internet. Governos municipais passam a ter a necessidade de elaborar políticas públicas para a Inclusão digital de suas respectivas regiões de abrangência através de ações estratégicas de promoção do desenvolvimento local (PEREIRA, 2020).

Do ponto de vista educacional, a internet é considerada a tecnologia mais promissora por apresentar uma mídia aberta que permite a seus usuários criarem conteúdos de acesso público e gratuito. Mais e mais pessoas ao redor do mundo criam na internet conteúdos de diversos tipos (revistas, emissoras de rádio e televisão), assim como diversos tipos de aplicações educacionais são possíveis, tais como: criação de *home pages* com conteúdos educacionais desenvolvidos por professores e alunos, pesquisa de assuntos diversos da qual é possível obter informações, imagens, textos e outros tipos de dados. Tudo isso, sem a necessidade de pedir licença aos Estados e aos setores econômicos tradicionais (MORAN, 1997).

Também é possível reconhecer a importância da internet para as pesquisas científicas e sua divulgação e, particularmente, estudos relacionados à área de ensino de química. Artigos, trabalhos científicos e descobertas eram até pouco tempo divulgados apenas em revistas científicas. Com a expansão da internet, estes trabalhos vêm sendo disponibilizados e anunciados na rede, o que facilita o seu acesso e torna dispensável acessar diversos locais físicos onde ocorriam tais publicações (MORAIS, PAIVA, 2015).

O acesso rápido a uma imensa quantidade de informação integrada auxilia o professor, permitindo-lhe uma melhor planificação das suas aulas e possibilitando ao aluno efetuar pesquisas sobre as descobertas recentes, aplicações ou implicações relacionadas com os conteúdos curriculares, envolvendo-o ativamente na compreensão do modo como as ciências evoluem. A facilidade de comunicação com pessoas em todas as partes do mundo é outro aspecto do qual o ensino das Ciências pode tirar benefícios. Atualmente, assiste-se a um aumento da utilização da Internet no processo de ensino-aprendizagem.

Para Valente (2014), a internet permitiu a disponibilização de muitos materiais com livre acesso, além de cursos que permitem a aprendizagem a partir de qualquer lugar e a qualquer tempo. Nesta nova perspectiva, a escola tradicional e meramente conteudista, na qual o professor permanece a figura central na transmissão de conhecimentos, já não faz sentido em uma época que o acesso à informação se tornou instantâneo. Por outro lado, não temos um modelo educacional bem-sucedido de aprendizagem por meio da internet, o que torna necessário repensar o modelo de escola no mundo atual e altamente conectado.

3.3 AS TECNOLOGIAS DIGITAIS DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO

Junto com as transformações ocorridas na era da informática, surgiram as Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC), que podem ser definidas como ferramentas, tais como, computadores, softwares educativos, a própria internet, jogos interativos didáticos, games, que são utilizadas como auxiliares no ensino pelos professores (GONÇALVES, 2016).

Muitos autores utilizam o termo Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) para se referir aos instrumentos tecnológicos, que incluem computador, internet, tablet e smartfone. Porém o termo TIC abrange tecnologias analógicas mais antigas como a televisão, o jornal e o mimeógrafo. Atualmente pesquisadores têm utilizado o termo: Novas Tecnologias da Informação e Comunicação – NTIC – (KENSKI, 2012) ou Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação – TDIC – (BARANAUSKAS; VALENTE, 2013), ambas para se referirem às tecnologias digitais (COSTA; DUQUEVIS; PEDROZA, 2015).

Apesar de serem semelhantes, é importante diferenciar os termos TIC da TDIC. Estas duas terminologias se diferenciam através dos seguintes conceitos: a TIC engloba qualquer tecnologia capaz de mediar os processos informacionais e comunicativos. Do ponto de vista de sua evolução, as TIC se dividem em geração textual e geração analógica. A geração textual engloba as ferramentas de comunicação em formato físico, tais como os livros, as revistas e as cartas, enquanto a geração analógica engloba os recursos audiovisuais analógicos, tais como a televisão, o rádio, o telefone e o fax (KENSKI, 2012).

Já as TDIC são marcadas pela introdução do termo digital e referem-se a mudança do sistema analógico para o digital. Nas TDIC as informações são

transmitidas através de mídias digitais, na qual a informação faz uso da informática e da internet para fins de transmissão e recepção de dados, o que permite a circulação das mais diferenciadas formas de informação, com muito mais velocidade, o que permite que a comunicação seja instantânea (KENSKI, 2012).

Além disso, as NTIC permitem a articulação de telefones celulares, computadores, televisores, satélites, e por eles, transmitir conteúdos em diversos formatos (imagens, áudios, vídeos, textos). Isso permitiu viver em uma sociedade conectada, na qual as barreiras espaço-temporais já não são significativas, uma vez que os ambientes e indivíduos interligam-se agora por uma rede virtual (KENSKI, 2012).

As TDIC permitem novas perspectivas educacionais o que tem provocado mudanças na maneira como nos comunicamos e nos interagimos, modificando as práticas tradicionais de ensino. Contudo, não podemos acreditar que uma nova tecnologia por si só irá resolver todos os problemas educacionais existentes e aumentará o desempenho na aprendizagem. É necessário entender que as TDIC trazem valores positivos e negativos (LEITE, 2015).

As TDIC também se destacam em vários outros setores da sociedade, além da educação, como Indústria, Economia e Agricultura. Nesta perspectiva, as TDIC deveriam estar disponíveis para todos os cidadãos, em especial, os educandos, como direitos básicos a uma educação mais inclusiva e de qualidade, uma vez que as TDIC têm a capacidade de aproximar diferentes grupos sociais e culturas distintas (BRASIL, 2013).

Os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) também destacam a importância de diretrizes e políticas públicas no intuito de inserir o uso de recursos tecnológicos, através do uso de TDIC para atividades de natureza exploratória e investigativas com os educandos, o que pode ter reflexos na sua percepção social sobre a realidade e melhorar a linguagem expressiva e comunicativa dos alunos. Para isso, educadores devem inserir o uso de TDIC em suas práticas pedagógicas (PCN, 1998, p.46).

Alguns trabalhos científicos vêm sendo desenvolvidos no intuito de avaliar o uso da internet como ferramenta para o estudo da química, por estudantes dos diferentes níveis, tanto para o tema de cinética química, quanto para qualquer outro conteúdo de química. No artigo intitulado: "O uso de recursos da internet no ensino da química: um estudo com Professores e Alunos do ensino médio", os autores

Carvalho, Costa e Nunes (2003) realizaram uma pesquisa com estudantes e professores de duas escolas do Ensino Médio do Maranhão, denominadas de A e B, através da aplicação de questionários para avaliar a intensidade que os indivíduos desta comunidade escolar fazem uso de *sites* de ensino de química disponíveis na internet.

Como resultado, estes autores descobriram que 62,47% dos membros da Escola A e 66,75% dos membros da Escola B “às vezes” fazem uso de *websites* de ensino de química, enquanto 28,7% dos membros da escola A e 19,92% dos membros da escola B fazem uso de *websites*. Além disso, 8,83% e 13,33% dos membros das escolas A e B, respectivamente, não fazem uso de *websites*. O resultado desta pesquisa permite demonstrar uma mudança de comportamento de alunos e professores, no que diz respeito ao uso da internet para estudar química, em detrimento ao uso de bibliotecas como local de pesquisa.

Estudos científicos com o intuito de aprimorar a construção de *websites* vêm sendo desenvolvidos como forma de melhorar a interface entre os conteúdos disponibilizados e os usuários destes *sites*. Costa et al. (2003) sugerem que o desenvolvimento de *sites* para fins educacionais utilize os seguintes critérios: topologia; uso de várias mídias; grau de segmentação do conteúdo; forma de abordagem do conteúdo; e navegabilidade. Segundo aqueles autores, a topologia é a forma como os conteúdos estão organizados.

O segundo critério – uso de várias mídias - referem-se aos recursos disponibilizados pela plataforma do *site* que devem ser explorados em vez de apenas se reproduzir o conteúdo escrito feito para o material físico. O terceiro critério – grau de segmentação do conteúdo – diz respeito à forma como os conteúdos estão divididos no *site*, que podem ser em grandes ou poucos blocos de informação ou em pequenos e vários blocos de informação. O quarto critério – forma de abordagem do conteúdo – está relacionado com o grau de profundidade que o conteúdo é abordado e o grau de detalhamento do conhecimento, se o *site* permite uma ampliação de visão de mundo ou não. Por fim, a navegabilidade avalia quantos links são utilizados pelos *sites* e o grau de liberdade que estes links permitem ao usuário.

3.4 CONCEITOS DE VELOCIDADE DE REAÇÃO

Dois problemas fundamentais norteiam o campo de estudo da físico-química em relação à estrutura e o comportamento da matéria, assim como suas reações. A primeira questão fundamental está relacionada à posição do equilíbrio químico entre os componentes de um sistema e são objetos de estudo da termodinâmica clássica. Já a segunda questão fundamental busca compreender as relações temporais necessárias para se alcançar estes equilíbrios, que é o objeto de estudo da cinética química (MOORE, 1976). Apesar de a termodinâmica fazer previsões acerca da direção e da extensão de muitas reações químicas e o equilíbrio das substâncias envolvidas, ela nada consegue prever acerca do caminho reacional e sobre a velocidade que estas reações ocorrem (ATKINS, 2006).

A cinética química é o ramo da química responsável por estudar as velocidades das reações e os fatores que a influenciam. Várias reações ocorrem tão rapidamente, que aparentam ocorrer de forma instantânea, enquanto outras podem levar horas, dias ou anos para se completarem (CONSTANTINO, 2014). O termo “cinética” é tradicionalmente aplicado para designar a ideia de “movimento”. Um exemplo do uso deste termo dentro do estudo da química é a teoria cinética dos gases, em que a palavra cinética se relaciona ao fato das propriedades dos gases dependerem do movimento das moléculas. Em relação à cinética química, este termo relaciona à ideia de movimento com as variações de concentração com o tempo, em decorrência das reações químicas (LATHAN, 1974).

Dentro do estudo da cinética, as reações químicas são classificadas em duas categorias, de acordo com o meio reacional. Esta divisão tem o objetivo de facilitar a compreensão do sistema em análise. O primeiro grupo é o das reações homogêneas, as quais os reagentes se apresentam em uma única fase e a composição do sistema permanece uniforme. O segundo grupo é o das reações heterogêneas, as quais os reagentes se apresentam em fases distintas e a composição do sistema reacional não é uniforme (MOORE, 1976).

A velocidade de reação é o tópico central do estudo da cinética química e está intrinsecamente relacionada com a rapidez com que os produtos reacionais são formados ou os reagentes são consumidos (RUSSELL, 1994). O primeiro enunciado teórico que relacionou a influência da concentração dos reagentes sobre a velocidade reacional foi proposto por Guldberg e Waage em 1864 e estabelece que

a cada instante do desenvolvimento de uma reação química, a sua velocidade é proporcional ao número de moléculas-grama dos reagentes não convertidos em produtos que permanecem presentes por unidade de volume. Este enunciado leva em consideração o meio reacional como sendo homogêneo e o termo moléculas-grama é atualmente denominado número de mols (ROZENBERG, 2002).

A compreensão precisa do termo “velocidade de reação” não é claramente evidente, pois depende da definição ou em termos dos produtos ou em termos dos reagentes. Quando a velocidade reacional é definida em termos dos produtos, chega-se a dois impasses principais: o primeiro é que a concentração de reagentes varia com o prosseguimento da reação, o que torna as condições variáveis; a segunda questão é que a formação de produtos relaciona-se com a quantidade inicial de reagentes e suas respectivas concentrações e reatividades (LATHAM, 1974).

As dificuldades apresentadas na definição de velocidade de reação em termos dos produtos levaram a definição da mesma em termos dos reagentes, através da diminuição da concentração de um dos reagentes dentro de um determinado tempo. Costumam serem adotadas, para expressar a concentração, as unidades de mol por litro (mol. L^{-1}) (LATHAM, 1974).

Uma compreensão mais profunda de como a velocidade de reação impacta um processo reacional depende de uma análise microscópica da reação química, através do estudo do mecanismo de reação de interesse e as sequências de etapas individuais que conduzem os reagentes aos produtos. A análise dos mecanismos de uma reação só pode ser determinada experimentalmente, ou através de modelos de reações elementares que sejam ratificados experimentalmente (RUSSELL, 1994).

A seguir, definimos alguns conceitos importantes para o estudo da cinética química.

3.4.1 Molecularidade

O conceito de molecularidade é definido em termos do número mínimo de moléculas que participam de uma etapa elementar dentro de um mecanismo reacional ou o número de moléculas de reagentes que participam de uma reação química elementar. Por exemplo, reações monomoleculares são aquelas nas quais uma molécula dá origem a duas ou mais moléculas de produtos. Reações

bimoleculares são aquelas nas quais duas moléculas dão origem a uma ou mais moléculas de produtos, e assim por diante. Deve-se enfatizar que o conceito de molecularidade é atrelado somente a reações elementares, ou seja, aquelas que ocorrem em uma única etapa (LEVENSPIEL, 1974).

3.4.2 Leis de velocidade e ordem de reação

As leis de velocidade ou leis cinéticas são modelos matemáticos teóricos que podem ser aplicados às reações químicas reais e que fornecem, de forma concisa, o desenvolvimento de uma reação específica, a uma temperatura constante, informações sobre tempo de reação e rendimento. As leis de velocidade também estão atreladas ao mecanismo de reação, mesmo que o desenvolvimento reacional seja complexo, e permite sugerir o caminho pelo qual a reação se processa (MOORE, 1976).

A lei de velocidade ou lei cinética pode ser escrita em termos das concentrações de reagentes para uma reação elementar e irreversível, expressa pela equação química hipotética $aA + bB \rightarrow cC + dD$, como sendo descrita pela equação matemática (1) (ATKINS, 2006):

$$V = k[A]^\alpha[B]^\beta \quad (1)$$

Em que:

[A] e [B] são as concentrações dos reagentes A e B;

k é a constante de velocidade;

α e β são as ordens de reação parciais.

Para a determinação da velocidade instantânea, utilizam-se as leis de velocidades escritas sob a forma de equações diferenciais, nas quais este modelo matemático permite uma definição geral e que pode ser facilmente escrito na forma da equação geral a seguir (LATHAN, 1974):

$$\frac{dX}{dt} = k \times f(A, B, C, \dots) \quad (2)$$

Em que $\frac{dx}{dt}$ pode representar a taxa de formação de produtos ou a taxa de consumo de um reagente específico (A, B, C,...), k é a constante de velocidade, e A, B, C,... representam as concentrações dos reagentes representadas por [A], [B], [C],... em um tempo t . A função $f(A,B,C,...)$ representa o produto das concentrações dos reagentes A, B, C,..., cada um destes elevado aos seus respectivos determinados expoentes. Esta relação matemática pode ser facilmente representada por $f(A, B, C, \dots) = [A]^\alpha \times [B]^\beta \times [C]^\gamma \dots$, em que os parâmetros α , β , γ ,... são as ordens de reação.

As velocidades de consumo dos reagentes e a velocidade de formação dos produtos estão relacionadas entre si pela estequiometria da reação. Tanto a velocidade de consumo instantânea quanto a velocidade de formação instantânea são grandezas positivas, porém um sinal negativo é indicado nas velocidades instantâneas de consumo. As velocidades instantâneas da reação $aA + bB \rightarrow cC + dD$ estão relacionadas entre si pela relação (ATKINS, 2010):

$$\frac{1}{d} \frac{d[D]}{dt} = \frac{1}{c} \frac{d[C]}{dt} = -\frac{1}{a} \frac{d[A]}{dt} = -\frac{1}{b} \frac{d[B]}{dt} \quad (3)$$

As ordens de reação parciais são parâmetros obtidos experimentalmente da reação e foram introduzidos na lei de Guldberg e Waage por Tolman e Kassel em 1930 (ROZENBERG, 2002). Matematicamente, o uso do termo “ordem” é designado para classificar o grau das equações diferenciais, tais como equações de 1º ordem, 2º ordem e assim por diante.

Os modelos matemáticos utilizados em cinética química podem apresentar como ordens globais, números inteiros, tais como reações de 1º ordem, 2º ordem, 3º ordem e assim por diante, o caso especial de reações de ordem zero, na qual a cinética não depende de nenhum dos produtos, assim como apresentar ordem com números fracionados (LATHAN,1974).

A Tabela 1 abaixo apresenta alguns exemplos de possíveis leis de velocidade em termos dos reagentes A e B, para uma reação hipotética $A + B \rightarrow$ produtos e suas respectivas ordens globais de reação (LATHAN,1974):

Tabela 1. Leis de velocidade típica

Lei de velocidade	Ordem global
$\frac{dx}{dt} = k[A]^0 = k$	0
$\frac{dx}{dt} = k[A]^1$	1
$\frac{dx}{dt} = k[A]^2$	2
$\frac{dx}{dt} = k[A][B]$	2
$\frac{dx}{dt} = k[A]^2[B]$	3

Fonte: Adaptado de LATHAN,1974, pág. 4

As equações diferenciais da Tabela 1 podem ser resolvidas pelo método da integração direta, para se chegar aos modelos matemáticos que descrevem a cinética química de uma reação, em termos da concentração de um reagente como função do tempo (ATKINS, 2006).

A ordem de reação é um parâmetro obtido experimentalmente através de diversos métodos, tanto do ponto de vista químico, quanto físico-químico, capazes de determiná-la. Para fins de entendimento, serão abordados os métodos de retirada de alíquota e os métodos contínuos (LATHAN,1974).

O método de retirada de alíquotas baseia-se no monitoramento da reação imediatamente após o seu início, tempo zero da reação. A cada período de tempo conhecido são retiradas alíquotas do meio reacional e posteriormente analisadas, determinando-se as concentrações de produtos. Aos dados obtidos do meio reacional, são aplicados alguns modelos matemáticos para reações de 1º ordem, 2º ordem e 3º ordem, para a determinação da constante de velocidade.

Através desses cálculos tenta-se chegar ao modelo que melhor se ajusta aos pontos experimentais e que descreve a cinética real da reação (ROZENBERG, 2002). Muitas vezes também é possível a análise de alguma propriedade física do(s) produto(s), tais como viscosidade e índice de refração. Nestes casos, o estudo cinético ocorre através do monitoramento das propriedades físicas medidas. O tratamento dos dados experimentais, muitas das vezes, necessita de calibragem,

pois as propriedades físicas medidas podem não variar linearmente com a concentração (LATHAN,1974).

Outra possibilidade são os métodos contínuos que também se baseiam na medição de propriedades físicas durante o desenvolvimento reacional, porém a vantagem de não haver a necessidade de retiradas de alíquotas. Este método apresenta uma vantagem maior em relação ao método de retirada de alíquotas, pois não há perturbação ao meio reacional.

Um das premissas para o uso do método contínuo é a existência de proporcionalidade entre a propriedade física medida e a concentração de reagente. Nos casos em que não há esta proporcionalidade é necessário um ajuste da propriedade física à percentagem de reação através de uma curva de calibração, que terão seus resultados utilizados na interpretação dos resultados experimentais (LATHAN,1974).

As principais técnicas utilizadas para o monitoramento da propriedade física de interesse são (LATHAN,1974):

- a) Condutividade elétrica;
- b) Rotação óptica;
- c) Medida de pressão ou do volume de gás liberado;
- d) Dilatometria;
- e) Espectrofotometria;
- f) Potenciometria;
- g) Ressonância magnética nuclear (RNM).

3.4.3 Constante de velocidade

No modelo matemático $V = k[A]^{\alpha}[B]^{\beta}$, está explícito que a velocidade de reação é função das concentrações de reagentes em proporção de suas respectivas ordens de reação. Porém a velocidade também é função de outros fatores, tais como temperatura, condições relacionadas ao estado físico dos reagentes como pressão ou pH do meio reacional (ROZENBERG, 2002). Portanto é intuitivo supor que os demais fatores que afetam a velocidade de reação estejam atrelados a constante de velocidade k .

Para um grande número de reações em meio aquoso, o fator pressão pode ser desprezado, assim como as reações que envolvam os estados gás/líquido, sólido/líquido ou gás/gás podem ter o fator pH desprezado. Portanto o principal fator atrelado a constante de velocidade é a temperatura do meio reacional (MOORE, 1976).

A temperatura está relacionada com a cinética reacional devido ao grau de agitação molecular. Quanto maior for a temperatura de um sistema, maior será a energia cinética das moléculas deste sistema e, portanto, maior será a probabilidade de colisões entre essas moléculas. Contudo, nem todas as colisões são capazes de efetivamente conduzir os reagentes a produtos (MOORE, 1976).

Outro fator é que as reações químicas ocorrem com velocidade finita e dentro de um período de tempo. Enquanto algumas moléculas reagem, as demais permanecem um tempo maior do que o tempo de meia vida da reação, para que possam reagir. Arrhenius, em 1897, propôs que somente as moléculas que atingem um determinado valor crítico de energia, o qual foi definido com o termo “energia de ativação”, possuem condições adequadas para efetivamente reagirem (LATHAN,1974).

Arrhenius deduziu uma expressão matemática, que correlaciona a constante de velocidade com a temperatura. Porém, a interpretação de sua equação esbarrava na seguinte questão: a grande maioria das reações, em temperatura ambiente, tem suas velocidades duplicadas ou triplicadas, para elevações de temperatura do meio reacional de 10 °C, enquanto a energia cinética aumenta somente 3 %, o que mostra que a energia média do sistema não é o fator determinante da cinética reacional (LATHAN,1974).

A equação de Arrhenius pode ser deduzida para uma reação reversível qualquer $A + B + C + \dots \rightleftharpoons D + E + F \dots$, que possui constante de equilíbrio K_{eq} . Pode-se expressar a constante de equilíbrio em termos da constante cinéticas da reação direta k_1 e da constante da reação inversa k_{-1} , por meio da relação (LATHAN,1974):

$$K_{eq} = \frac{k_1}{k_{-1}} \quad (4)$$

Das relações termodinâmicas de equilíbrio químico, tem-se a seguinte relação (LATHAN,1974):

$$\frac{d(\ln K_{eq})}{dT} = \frac{\Delta H}{RT^2} \quad (5)$$

Em que temos:

K_{eq} = Constante de equilíbrio químico;

T = Temperatura;

R = Constante dos gases ideais;

ΔH = Variação de entalpia.

Substituindo a equação $K_{eq} = \frac{k_1}{k_{-1}}$ na equação $\frac{d(\ln K_{eq})}{dT} = \frac{\Delta H}{RT^2}$, tem-se (LATHAN,1974):

$$\frac{d}{dT} \left(\ln \frac{k_1}{k_{-1}} \right) = \frac{\Delta H}{RT^2} = \frac{E_1 - E_2}{RT^2} \quad (6)$$

Em que, $E_1 - E_2$ é a diferença da energia do estado de transição e a energia entre ΔH e o estado de transição (LATHAN,1974):

$$\frac{d}{dT} (\ln k_1) - \frac{d}{dT} (\ln k_{-1}) = \frac{E_1}{RT^2} - \frac{E_2}{RT^2} \quad (7)$$

Observa-se que os efeitos cinéticos independem da direção da reação (direta e oposta), podendo-se reescrever a equação como (LATHAN,1974):

$$\frac{d}{dT} \ln k_1 = \frac{E_1}{RT^2} - I \quad \text{e} \quad \frac{d}{dT} \ln k_{-1} = \frac{E_2}{RT^2} - I \quad (8)$$

Em que I é uma constante. Arrhenius verificou através de experimentos que a constante I era nula, portanto pode-se expressar a constante de velocidade com a temperatura através da expressão matemática (LATHAN,1974):

$$\frac{d(\ln k)}{dT} = \frac{E_a}{RT^2} \quad (9)$$

Em que temos:

k = Constante de velocidade;

T = Temperatura;

E_a = Energia de ativação;

R = Constante dos gases ideais;

ΔH = Variação de entalpia.

Outro modo que relaciona a constante de velocidade com a temperatura é estabelecido através do coeficiente de temperatura da reação (γ). Em muitos casos, as variações de temperatura de grande parte das reações químicas não diferem muito e o coeficiente de temperatura pode ser considerado constante. Basicamente, o coeficiente de temperatura é definido como a razão entre os dois coeficientes de velocidade (k_θ) que apresentem, entre si, diferenças de 10 °C, ou seja, (ROZENBERG, 2002):

$$\gamma = \frac{k_{\theta+10}}{k_\theta} \quad (10)$$

Em geral, o emprego desta equação apresenta bons resultados para um conjunto de reações que não tenham um intervalo de temperatura muito grande e podem ser estabelecidas através da regra de Van't Hoff: "A constante de velocidade de reação é multiplicada por um número compreendido entre 2 e 4, quando a temperatura aumenta 10° C". Contudo, em muitos casos os resultados são imprecisos, quando comparados com a equação de Arrhenius (ROZENBERG, 2002).

3.4.4 Reações não elementares e mecanismos de reação

Muitas reações químicas não ocorrem em uma única etapa e não podem ser descritas por modelos cinéticos de reações elementares. Nestes casos, é necessário recorrer ao estudo dos mecanismos reacionais e os possíveis modelos que tentam descrever os sucessivos estágios elementares com formação de intermediários que não são observados na equação global da reação (LEVENSPIEL, 1974).

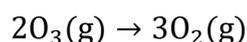
Um mecanismo de reação é um modelo proposto que tenta descrever a realidade da reação química e que deve ser confrontado com os dados cinéticos

adquiridos experimentalmente, através de medidas cinéticas obtidas do monitoramento da reação, principalmente do número de moléculas que estejam envolvidas na etapa determinante, no caso a etapa lenta da reação. Caso a proposta de modelo matemático consiga descrever a cinética da reação obtida pelos dados experimentais, o modelo é aceito como capaz de descrever a realidade (SCHMAL, 2009).

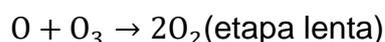
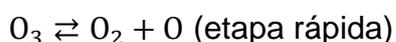
Outras duas interpretações formais para o termo mecanismo de reação são possíveis. A primeira descreve o mecanismo de reação como a sequência de reações elementares que ocorrem de forma a conduzir à transformação química global. A segunda interpreta o mecanismo em termos detalhados de como as ligações químicas nos reagentes se rearranjam para formar o complexo ativado (MOORE, 1976).

Os intermediários que surgem nas etapas elementares do mecanismo podem ser radicais livres, átomos livres, fragmentos moleculares estáveis, íons, substâncias polares, átomos carregados eletricamente, moléculas ou fragmentos moleculares (LEVENSPIEL, 1974).

Um exemplo de mecanismo reacional para as reações de decomposição do gás ozônio em gás oxigênio, ambas as espécies químicas em fase gasosa, é descrita pela equação química balanceada:



A reação acima pode ser escrita através do seguinte mecanismo de reação composto pelas seguintes reações elementares (MOORE, 1976):



As duas reações elementares possuem, respectivamente, as seguintes equações cinéticas (MOORE, 1976):

$$r_1 = k_1[\text{O}_3] - k_{-1}[\text{O}_2][\text{O}] \quad (11)$$

$$r_2 = k_2[\text{O}][\text{O}_3] \quad (12)$$

Pode-se assumir que a velocidade r_1 é muito maior que r_2 , de forma que a etapa rápida pode ser desprezada da determinação da cinética global. Portanto, o mecanismo é determinado apenas pela etapa lenta do mecanismo de forma que podemos escrever a equação global como (MOORE, 1976):

$$-\frac{d[O_3]}{dt} = r_2 \quad (13)$$

$$-\frac{d[O_3]}{dt} = k_2[O][O_3] \quad (14)$$

Podemos expressar a $[O]$ em termos de $[O_2]$, através da relação de equilíbrio químico para a reação elementar $O + O_3 \rightleftharpoons 2O_2$ (MOORE, 1976):

$$K = \frac{[O_2]^2}{[O][O_3]} \quad (15)$$

$$[O] = \frac{[O_2]^2}{K[O_3]} \quad (16)$$

Logo, substituindo $[O] = \frac{[O_2]^2}{K[O_3]}$ em $r = k_2[O][O_3]$, temos (MOORE, 1976):

$$-\frac{d[O_3]}{dt} = k_2 \frac{[O_2]^2}{K[O_3]} [O_3] \quad (17)$$

$$k = \frac{k_2}{K} \quad (18)$$

$$-\frac{d[O_3]}{dt} = k \frac{[O_2]^2}{K[O_3]} [O_3] \quad (19)$$

$$-\frac{d[O_3]}{dt} = k[O_2]^2 \quad (20)$$

Observa-se que a velocidade de decomposição do gás ozônio depende apenas do quadrado da concentração de gás oxigênio e independe da concentração de ozônio (MOORE, 1976).

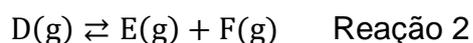
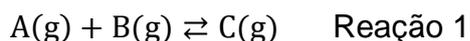
3.4.5 Fatores que afetam a velocidade de reação

As reações químicas se desenvolvem com uma velocidade característica que é função da natureza química dos reagentes e de demais fatores como concentração dos reagentes, temperatura do meio reacional ou fatores atrelados aos estados físicos que as espécies envolvidas se encontram, tais como pressão quando os reagentes estão em estado gasoso, superfície de contato quando um dos reagentes está em estado sólido. Há também a presença de catalisadores, que embora não participem diretamente da reação química, modificam o mecanismo reacional e aceleram a reação (ROZENBERG, 2002).

A temperatura está relacionada com o grau de agitação e com a energia cinética das espécies químicas presentes no sistema reacional em análise. O aumento da temperatura do sistema aumenta o grau de agitação e a energia cinética das moléculas de reagente, o que aumenta a probabilidade de um número maior de moléculas de alcançar a energia de ativação e, com isso, ao colidirem com orientação espacial favorável, converterem-se em produtos. Em resumo, o aumento de temperatura, aumenta a velocidade de reação (ATKINS, 2006).

A pressão também é um fator que pode alterar a constante de velocidade, apesar de sua influência ser pouco relevante para reações químicas que ocorrem em solução. Contudo, a pressão é um fator de extrema relevância para sistemas reacionais em que os reagentes estão em estado gasoso. É possível observar que um sistema que tenha a temperatura e o número de moléculas constantes possui o volume inversamente proporcional à pressão (ROZENBERG, 2002).

Observe os três exemplos hipotéticos abaixo de reações químicas reversíveis e em equilíbrio, em que todas as espécies químicas estão em estado gasoso (SCHMAL, 2009).



No caso da Reação 1, o aumento de pressão do sistema tende a direcionar a reação em equilíbrio no sentido de formação do produto C, pois a diminuição do

volume tem como efeito o aumento na probabilidade dos choques entre as moléculas de reagentes A e B. Como forma de amenizar o efeito de aumento de pressão, a reação se desloca na direção de formação do produto C. Com isso, o sistema que era ocupado por duas moléculas de reagentes, passa a ser ocupado por apenas uma molécula de produto (SCHMAL, 2009).

O mesmo efeito descrito acima é observado na Reação 2. Contudo o aumento da pressão desloca a Reação 2 em equilíbrio na direção da decomposição de produtos e formação de reagentes, pois no sistema em equilíbrio havia uma molécula de produto para duas de reagentes e a perturbação ao sistema ocasionada pela pressão tende a ser compensada pela regeneração de uma molécula de produtos através da decomposição de duas de reagentes (SCHMAL, 2009).

Já a Reação 3 monomolecular e em equilíbrio não sofre efeitos pela variação da pressão, pois independentemente do aumento ou diminuição da pressão, o número de moléculas de reagentes e produtos permanece inalterado (SCHMAL, 2009).

O estado físico dos reagentes também é um fator significativo na velocidade de reação, como já discutido para o caso do estado gasoso. As reações químicas dependem da forma como as moléculas entram em contato, assim como dependem das colisões que ocorrem entre elas. Deste fato, a constante de velocidade também é função dos estados físicos dos reagentes.

O caso que envolve pelo menos um dos reagentes no estado sólido, em contato com reagentes em estado líquido ou gasoso tem sua reatividade atrelada a granulometria das partículas. Por exemplo, uma barra de ferro demora muito mais tempo para reagir do que o ferro em forma de pó. Isso ocorre porque a fragmentação do material sólido para uma granulometria menor aumenta a superfície de contato e, com isso, aumenta a velocidade de reação (ROZENBERG, 2002).

O catalisador é uma substância presente no sistema reacional, que participa da reação de forma a conduzir o processo por um caminho reacional diferente e, com isso, o sistema reacional apresenta uma energia de ativação menor, o que diminuiu a velocidade da reação.

Todos os fatores anteriormente discutidos não conseguem modificar a energia de ativação da reação, somente o catalisador através da modificação do mecanismo

reacional. Após a reação entrar em equilíbrio o catalisador permanece no meio reacional inalterado e regenerado (ATKINS, 2006).

Os catalisadores podem ser divididos em dois grupos que determinam se a catálise é homogênea ou heterogênea, o que depende do estado físico que se encontre os catalisadores (ATKINS, 2006).

Na catálise homogênea, os reagentes e o catalisador se encontram na mesma fase e constituem um sistema homogêneo. Um exemplo deste tipo de catálise é a hidrólise do acetato de etila que é catalisada por um ácido forte em solução aquosa, tais como ácido sulfúrico ou ácido clorídrico, que em conjunto com os reagentes formam uma única fase (ROZENBERG, 2002).

Na catálise heterogênea os reagentes e catalisador estão em fases distintas e o sistema formado apresenta-se de forma heterogênea. Grande parte das reações de interesses para as indústrias ocorrem desta forma e muitos catalisadores encontram-se na forma de metais finamente divididos tais como Pt, Ni, Cu e Fe, assim como também são empregados óxidos metálicos tais como ZnO, Cr₂O₃, CrO e Fe₃O₄ (ROZENBERG, 2002).

Existem também os processos catalíticos biológicos, que utilizam enzimas, as quais podem ser proteínas ou moléculas orgânicas de estrutura muito complexas que são capazes, dentro de um sistema biológico, de acelerar reações químicas, muitas das vezes de alta complexidade (ATKINS, 2006).

No contexto educacional, segundo Lima et al (2000), o ensino dos fatores que afetam a velocidade de reação não deve ser realizado de forma tradicional, por meio de aulas expositivas que valorizam a simples memorização dos fatores e a resolução de exercícios para a fixação dos conteúdos, desconsiderando os conhecimentos prévios dos alunos, pois a velocidade de reação nesta contextualização torna-se distante do cotidiano.

Exemplos práticos sobre velocidade de reação podem ser usados em sala de aula para aumentar o interesse dos estudantes pelo tema. Por exemplo, na aplicação da indústria farmacêutica, a velocidade de reação permite o controle da estabilidade de medicamentos o que evita sua degradação, permite maior tempo de uso e evita efeitos tóxicos decorrentes de produtos de sua degradação (NETZ; ORTEGA, 2002). Apesar de este exemplo parecer complexo, demonstra o quanto o

ensino de velocidade de reação tem se distanciado do mundo real e das aplicações práticas da química no cotidiano.

3.5 A EPISTEMOLOGIA DE GASTON BACHELARD

Para uma melhor compreensão do referencial teórico utilizado neste trabalho, alguns aspectos relevantes acerca da vida e da obra de Gaston Bachelard são apresentados, para que seja feita uma contextualização do período histórico em que este filósofo viveu e quais foram as principais influências de seu tempo que o levaram a escrever a obra “A formação do espírito científico”, que traz grandes contribuições na construção do pensamento científico e, conseqüentemente, na construção das ciências.

Na sequência é realizada uma revisão bibliográfica da obra “A formação do espírito científico” de forma a analisar a contextualização histórica desta obra e com forte ênfase nos conceitos de “Obstáculos epistemológicos”. Busca-se, assim, o entendimento dos principais obstáculos epistemológicos que podem surgir diante de uma má estruturação conceitual, erros conceituais, conceitos abordados de forma incompleta e problemas no uso de notações da linguagem química, durante a abordagem do tema velocidade de reação pelos *sites* pesquisados neste trabalho investigativo sobre a internet, como fontes de pesquisa.

A obra original “A formação do espírito científico” foi publicada em 1938 e a edição adotada nesta análise é a versão da 8ª reimpressão, publicada em 1996, pela editora Contraponto.

Gaston Bachelard foi um dos maiores filósofos franceses do seu tempo e seu pensamento filosófico permanece influenciando a filosofia contemporânea. Sua obra é marcada por uma ruptura de ideias.

Nascido na cidade de Bar-sur-Aube, região da Champagne Francesa, em 27 de junho de 1884, Bachelard vive sua infância em regiões rústicas do campo. O primeiro contato de Bachelard com a ciência foi durante o período em que trabalhou com pesagens de cartas, na administração da empresa de telégrafos e correios, após concluir o ensino secundário. Neste período, Bachelard também já fazia graduação em matemática com o intuito de ingressar posteriormente na faculdade

de engenharia. Com o início da guerra em 1914, Bachelard desiste do sonho de cursar engenharia (SOUZA, 2008).

A carreira de Bachelard como educador começa em 1919, ao concluir a graduação em matemática e começar a lecionar química e física, nas escolas de ensino médio de sua cidade natal, Bar-sur-Aube. Lá permaneceu no magistério por 16 anos (BARBOSA, BULCÃO, 2011). Em 1930, ingressou para lecionar na Universidade de Dijon, onde permaneceu como professor por 10 anos. Posteriormente ingressou na Universidade de Sorbonne, local onde também concluiu o curso de licenciatura em história e filosofia da ciência (REIS, 2015).

A filosofia de Bachelard pode ser dividida em duas categorias: uma diurna e outra noturna e, esta dicotomia é abordada no seu livro “A poética do devaneio”, através das próprias palavras de Bachelard (1988): *“Demasiadamente tarde, conheci a boa consciência, no trabalho alternado das imagens e dos conceitos, duas boas consciências, que seria a do pleno dia e a que aceita o lado noturno da alma”* (BACHELARD, 1988, p.52).

Percebe-se que Bachelard enquadra o mundo dos fenômenos naturais, o mundo físico e suas teorias na parte diurna, enquanto sua obra literária relativa a parte noturna remete ao mundo dos sonhos como observado nos livros desta categoria: A psicanálise do fogo (1938), A água e os sonhos (1942), O ar e os sonhos (1943), A terra e os devaneios da vontade (1947), A terra e os devaneios do repouso (1947), A poética do espaço (1957), A poética do devaneio (1960), A chama de uma vela (1961) e, a última obra inacabada, Fragmentos de uma poética do fogo (1962).

Um aspecto interessante sobre as obras de Bachelard é que este autor nunca escreveu um livro que abordasse especificamente questões educacionais, apesar de citá-las de forma assistemática, e que podem ser observadas quando Bachelard expressa sua preocupação pedagógica e seus obstáculos no tratamento das questões científicas. Grande parte desta preocupação é decorrente de sua grande experiência como docente (LOPES, 1990).

A obra “A formação do espírito científico” representa uma análise crítica sobre a construção científica do século XVIII, além de críticas a muitos livros científicos desta época, que foram escritos por autores renomados, os quais apresentam muitos de seus conceitos enraizados de obstáculos e limitações que contrubuíram para a estagnação do pensamento científico.

Em seu discurso preliminar, Bachelard sustenta a ideia de que a matematização e a geometrização dos fenômenos representa um caminho intermediário entre o concreto e o abstrato, em que o espírito científico tenta conciliar matemática e experiência, leis e fatos. Mesmo com sucesso do cartesianismo e de leis da física como a mecânica de Newton e a óptica de Fresnel, a matematização acaba por revelar-se insuficiente, pois estas relações geométricas escondem relações topológicas menos explícitas com vínculos essenciais mais profundos.

Bachelard cita que a proposta principal de seu livro é “mostrar o grandioso destino do pensamento científico abstrato” (BACHELARD, 1996, pág. 8) para que possa ficar claro que o pensamento abstrato não é uma má conscientização científica, como é sugerida por muitos pensadores, e que a abstração é uma desobstrução do espírito. Contudo, ainda segundo o autor, existem grandes dificuldades no desenvolvimento de um raciocínio que leve a abstrações corretas.

Bachelard enquadra o pensamento científico em três grandes momentos históricos, a fim de demonstrar seu ponto de vista acerca das mudanças de pensamento científico. São eles: O estado pré-científico, que ocorreu na antiguidade clássica e no renascimento; O estado científico, que ocorreu entre o fim do século XVIII até o início do século XX e o terceiro período que iniciou-se em 1905, com o surgimento das teorias da relatividade de Albert Einstein e a deformação de conceitos primordiais que eram considerados como imutáveis.

A grande inspiração para a tese de Bachelard são as mudanças de paradigmas que ocorreram a partir do ano de 1905, juntamente com as profundas mudanças sofridas pela física newtoniana e toda geometrização ligada a ela. A partir desta data surgiram teorias como a mecânica quântica, a mecânica ondulatória de Louis de Broglie, a física das matrizes de Heisenberg, a mecânica de Dirac que foram capazes de contradizer as leis físicas até então tomadas como leis imutáveis e permanentes.

Para Bachelard (1996), o espírito científico passaria por três estágios de mudança que mostram o caminho da compreensão fenomenológica que vai da observação para o sentido da abstração:

1 – O estado concreto, em que o espírito científico tem o primeiro contato com as imagens do fenômeno, que se apóia em uma literatura filosófica que exalta a naureza e toda sua diversidade;

2 – O estado concreto-abstrato, em que o espírito científico acrescenta esquemas geométricos às observações fenomenológicas, através da matematização das relações observadas. Neste ponto o espírito está em uma situação paradoxal, em que se sente mais seguro, quanto mais intuitiva for esta representação;

3 – O estado abstrato, em que o espírito científico capta informações ocultas do espaço real, totalmente desvinculadas da experiência imediata, consideradas como impuras e informes.

Portanto, ficam nítidos os fundamentos do ponto de vista defendido por Bachelard sobre a direção do pensamento científico rumo a busca de um pensamento abstrato desconectado das relações claramente explícitas, das observações primeiras da natureza e sua geometrização temporária presentes no pensamento científico dos períodos anteriores ao novo espírito científico.

Estas primeiras ideias iniciais que Bachelard desenvolve sobre a contextualização histórica da ciência sustentam sua proposta sobre como são construídas a formação do espírito científico e contribuem no entendimento da definição do conceito de obstáculo epistemológico, que ajudam a entender como os problemas científicos devem ser abordados e tratados. Conforme Bachelard:

Quando se procuram as condições psicológicas do progresso da ciência, logo se chega à convicção de que é em termos de obstáculos epistemológicos que o problema do conhecimento científico deve ser colocado. E não se trata de considerar obstáculos externos como a fugacidade dos fenômenos, nem de incriminar a fragilidade dos sentidos e do espírito humano: é no âmago do próprio ato de conhecer que aparecem, por uma espécie de imperativo funcional, lentidões e conflitos. É aí que mostraremos causas de estagnação e até de regressão, detectaremos causas de inércia as quais daremos o nome de obstáculos epistemológicos (Bachelard, 1996, p. 17).

Percebe-se em suas palavras que o conceito de obstáculos epistemológicos é algo inerente ao espírito humano, porém que está além da capacidade de percepção dos sentidos humanos. Percebe-se também que os obstáculos são intrínsecos ao indivíduo e nunca externos a ele e que surgem no exato momento do contato do indivíduo com o próprio objeto a ser estudado e compreendido.

Para Bachelard: “o conhecimento do real é luz que sempre projeta algumas sombras” (BACHELARD, 1996, pág. 17). Esta parábola expressa o quanto a clareza de um fato nunca é pleno e absoluto e Bachelard a completa com a afirmação de que enxergar a verdade dos fatos nunca é uma tarefa imediata e o real nunca será aquilo que se acredita ser, mas sim aquilo que deveria ter sido pensado.

Esta linha de raciocínio de Bachelard leva ao seu entendimento sobre o ato de conhecer. Para ele, todo conhecimento é sempre a desconstrução de conhecimentos anteriores, que foram mal estabelecidos e a reconstrução de novas ideais. Ficam claras que estas concepções de Bachelard são derivadas de como as teorias relativistas conseguiram mudar a visão de mundo sobre a natureza da matéria em detrimento a antigos modelos teóricos.

Bachelard também condena a opinião e sua legitimação como método científico. Para este autor, a opinião é o primeiro obstáculo a ser superado. Em suas ideais, Bachelard afirma que o espírito científico não permite que sejam feitas suposições, em forma de opinião, a cerca de questões que ainda não se tenha compreensão. Na formulação de questões científicas, os problemas não são elaborados de forma espontânea. Todo conhecimento é obtido por uma resposta a uma pergunta bem formulada, que não pode ser tomada como evidente e gratuita. Tudo na ciência é derivado de uma construção (BACHELARD, 1996).

Bachelard também afirma que o conceito de obstáculo epistemológico pode ser aplicado na prática educacional e aborda a noção de obstáculo pedagógico, desconhecida entre os educadores de sua época. Para Bachelard é inconcebível que os professores não consigam entender que os alunos não compreendem, que os estudantes trazem para dentro de sala de aula conhecimentos prévios já constituídos e que a questão central da educação científica deveria girar na “mudança” de uma cultura experimental e não em “adquirir” uma cultura experimental (BACHELARD, 1996).

Como forma de exemplificar seu ponto de vista, Bachelard cita como exemplo as teorias de hidrostática em seu tempo. Naquela época, a explicação do por que um corpo flutua ou afunda em um fluido era atribuída ao objeto, e não ao flúido. Esta concepção dificulta a compreensão do Princípio de Arquimedes. Por isso, torna-se difícil a compreensão de que 2 objetos imersos em um fluído pode apresentar um objeto imerso e outro flutuando e, em ambos os casos, os 2 objetos obedecem a mesma lei atribuída ao fluido.

No presente trabalho são discutidos os conceitos de cinco obstáculos epistemológicos identificados durante as pesquisas aos conteúdos de velocidade de reação. Estes obstáculos podem funcionar como barreiras epistemológicas aos leitores dos conteúdos destes *sites* e prejudicar a aprendizagem conceitual. Os obstáculos epistemológicos identificados neste trabalho são: a experiência primeira; o conhecimento geral; o obstáculo verbal; o obstáculo animista; e o obstáculo do conhecimento quantitativo.

3.5.1 A experiência primeira

A experiência primeira é o primeiro obstáculo epistemológico abordado por Bachelard em sua obra “A formação do espírito científico”. Antes de introduzir um novo conhecimento científico, em sua visão, este obstáculo é o contato inicial do observador com as imagens dos fenômenos da natureza em detrimento da explicação científica. Na experiência primeira ocorre uma supervalorização do objeto da natureza. Podemos observar nas palavras do próprio Bachelard sua visão:

[...] a experiência colocada antes e acima da crítica – crítica esta que é necessariamente, elemento integrante do espírito científico. Já que a crítica não pôde intervir de modo explícito, a experiência primeira não constitui, de forma alguma, uma base segura (BACHELARD, 1996, p. 29).

Observa-se que a construção do pensamento científico não pode ter a crítica superposta pelas ilusões ocasionadas pela beleza dos fenômenos naturais e suas cores. Diante disto, Bachelard define o sentido do espírito científico e as condições necessárias para sua formação. Segundo o autor:

O espírito científico deve formar-se contra a natureza, contra o que é, em nós e fora de nós, o impulso e a informação da natureza, contra o arrebatamento natural, contra o fato colorido e corriqueiro. O espírito deve formar-se enquanto se reforma (BACHELARD, 1996, p. 29).

É possível observar que Bachelard deixa claro que a construção do espírito científico passa por um processo de negação do observador a própria natureza. O contato do homem com o reino animal, vegetal e mineral causa-lhe, a priori, encantamento e admiração e as explicações e descrições do que o homem observa, sem reflexões mais profundas e sem embasamento racional, caracteriza um

obstáculo epistemológico que o impede de enxergar, durante o processo de construção do pensamento científico, a correta explicação dos fenômenos naturais em estudo. Somente é possível aprender com a natureza, quando os fenômenos naturais forem transcodificados e postos em ordem.

Do ponto de vista pedagógico, o obstáculo apresentado pela experiência primeira pode ser evidenciado durante aulas experimentais, em que os estudantes, ao terem um primeiro contato com o fenômeno, podem apresentar deslumbramentos às imagens do fenômeno. Por exemplo, durante uma atividade experimental, podem ocorrer fenômenos como explosões, combustões, mudanças de cor, que podem causar nos estudantes um encantamento as imagens proporcionadas pelo fenômeno, em detrimento a própria teoria envolvida para explicá-lo, o que pode dificultar a aprendizagem (SILVEIRA, 2019).

3.5.2 O conhecimento geral

Segundo Mota (2010), há uma relação de semelhança entre a experiência primeira e o conhecimento geral, porém os demais obstáculos não guardam relações entre si. Na introdução do capítulo III do livro “A formação do espírito científico”, Bachelard (2016, pag. 69) afirma que “*Nada prejudicou tanto o progresso do conhecimento científico quanto a falsa doutrina do geral, que dominou de Aristóteles a Bacon, inclusive, e que continua sendo, para muitos, uma doutrina fundamental do saber*”. Observa-se que Bachelard crítica à ideia de generalização dos conceitos utilizada, durante muitos séculos, como forma de manutenção e perpetuação dos conhecimentos.

Na continuação de sua abordagem, Bachelard faz uma reflexão sobre a anulação das experiências causadas pela “ciência da generalidade”, da qual todo cientista é capaz de produzir sua própria ciência e sobre como a generalização traz em seu âmago um pensamento apressado e fácil, ou simplesmente um pensamento banal. Conforme Bachelard escreve:

Vamos procurar mostrar que a ciência do geral sempre é uma suspensão da experiência, um fracasso do empirismo inventivo. Conhecer o fenômeno geral, valer-se dele para tudo compreender, não será, semelhante a outra decadência, “gozar, com a multidão, do mito inerente a toda a banalidade”? (Bachelard, 1996, pag. 69).

O conhecimento geral é marcado por traços fortemente racionalistas e sucede a experiência primeira, depois de seguidas observações dos fenômenos naturais e no ponto em que não há nada mais a ser observado. Portanto generaliza-se os fatos de forma prematura e fácil, sem uma base científica ou comprovações mais sólidas, o que direciona à imobilização do pensamento. Estes são comportamentos típicos do realismo primeiro, com características acríticas (COSTA, 2015).

3.5.3 O obstáculo verbal

O obstáculo verbal caracteriza-se pelo uso de uma imagem ou de um termo capaz de descrever uma falsa explicação do fenômeno, sem a utilização de um argumento racional. Nas palavras do próprio autor, caracterizam como sendo “hábitos verbais” e que se tornam entraves ao desenvolvimento de um pensamento que seja de fato científico (BACHELARD, 1996). Percebe-se, assim, que é necessário apenas o uso de um termo de natureza verbalista para que toda a construção conceitual seja supostamente desenvolvida. Para exemplificar o conceito deste obstáculo, Bachelard utiliza-se do exemplo do uso da palavra “esponja”, para descrever alguns fenômenos. Bachelard assim inicia sua argumentação:

Aqui, vamos tomar a simples palavra esponja e veremos que ela permite expressar os fenômenos mais variados. Os fenômenos são expressados: já parece que foram explicados. São reconhecidos: já parece que são reconhecidos. Nos fenômenos designados pela palavra esponja, o espírito não está sendo iludido por uma potência substancial. A função da esponja é de uma evidência clara e distinta, a tal ponto que não se sente a necessidade de explicá-la (BACHELARD, 1996, pág. 91).

Na continuação de seu raciocínio, Bachelard utiliza-se do exemplo de um artigo de Réaumur, publicado nas “*Mémoires de l’Académie Royale des Sciences*” em 1731. Pode-se observar de forma clara o verbalismo, quando Réaumur tenta descrever os fenômenos ligados ao ar, quando cita que o ar é semelhante aos corpos esponjosos ou quando Benjamim Franklin tenta descrever os fenômenos elétricos baseado na premissa de que a matéria comum é uma espécie de esponja para o fluido elétrico, que permite o aparecimento do fenômeno elétrico (BACHELARD, 1996).

Nos trabalhos pioneiros da professora Alice Ribeiro Casimiro Lopes (1990), sobre obstáculos epistemológicos em livros didáticos, citam-se vários exemplos de

obstáculos verbais. Um exemplo encontrado é a abordagem dos conceitos de ácido de Arrhenius, quando é mencionado que soluções aquosas “liberam” íons H^+ em um ácido de Arrhenius.

O termo: “liberam” pode causar confusão na correta interpretação do conceito de dissociação em solução aquosa e, portanto, é preciso cuidado ao se utilizar termos científicos e seu significado na linguagem coloquial, pois interpretações equivocadas têm como resultado dificuldades no entendimento de um conceito (LOPES, 1990).

3.5.4 O obstáculo animista

Bachelard inicia a abordagem sobre o animismo através da indagação de como foi possível manter o conceito de vida, restrito ao campo de estudo da biologia e como as ciências físicas conseguiram se reestabelecer como ciência, ao afastar as analogias existentes entre seus objetos de estudos, físicos e fenomenológicos, com conceitos relacionados às características fisiológicas de seres vivos (BACHELARD, 1996).

Nas próprias palavras de Bachelard (1996) é possível aprofundar o entendimento das ciências físicas e seus objetos inanimados se distanciarem destas correlações primitivas de fenômenos puramente fisiológicos:

Os fenômenos biológicos só nos interessarão, portanto, nos campos em que sua ciência falha, em que essa ciência, com maior ou menor garantia, vem responder a perguntas que não lhe são feitas. Em suma, aos entraves quase normais que a objetividade encontra nas ciências puramente materiais, vem juntar-se a uma intuição ofuscante que considera a vida um dado claro e geral (BACHELARD, 1996, pág. 185).

Portanto, os obstáculos animistas surgem quando as ciências biológicas tentam explicar, através de seus conceitos relacionados à vida, conceitos que estão fora de seu escopo de estudo. Em termos mais simples, o animismo é a atribuição de características humanas ou de outros seres vivos a objetos ou fenômenos inanimados, na tentativa fútil de facilitar a explicação. Este obstáculo, segundo Bachelard (1996), pode-se apresentar como entraves quando a vida é colocada em uma perspectiva generalizante.

De fato, o animismo apresenta-se como um obstáculo epistemológico no momento em que a atribuição de características humanas a objetos inanimados bloqueia a capacidade de abstração dos mesmos, e com isso, impede-se a objetividade de construção de um pensamento racional sobre o objeto e os fenômenos relacionados a ele (LOPES, 1991).

Muitos exemplos de animismo utilizados em livros didáticos são apresentados no trabalho pioneiro de Alice Ribeiro Casimiro Lopes em sua dissertação intitulada “Livros didáticos: Obstáculos ao aprendizado da ciência química”, do ano de 1990. Serão citados alguns exemplos deste trabalho para melhor compreensão do conceito do obstáculo animista e que podem ser transpostos para a realidade atual.

Um exemplo abordado por Lopes (1991, pág. 159) é o uso do termo: “adormecidas”, o qual foi dito por Berzelius e citado por Brandão em um livro didático da Reforma Campos para abordar as propriedades catalíticas. No exemplo, Lopes (1991, pág. 159) menciona que o livro se utiliza, para explicar a catálise, da argumentação de que o catalisador acelerava o processo devido a sua presença despertar “afinidades adormecidas”. Percebe-se, portanto, que foi atribuída uma característica fisiológica e predominantemente pertencente a seres vivos ao processo catalítico.

Outro exemplo relevante de animismo abordado por Lopes (1991, pág. 160) é o uso de termos “indiferença” e “preguiçoso” para descrever a baixa afinidade química de alguns elementos químicos. No exemplo analisado por Lopes, o carbono liga-se ao átomo de hidrogênio de maneira que este elemento dificilmente se liberta, pois o carbono é um elemento “preguiçoso” demais para libertar o hidrogênio.

Além do mais o carbono tem uma visão de “indiferença” em relação aos demais elementos químicos. Pode-se notar, assim, que os termos que foram utilizados remetem nitidamente a características predominantemente de natureza humana, sendo impossíveis as espécies químicas como o carbono, hidrogênio ou outros elementos poderem apresentar um comportamento preguiçoso ou possuir um sentimento de indiferença.

3.5.5 O obstáculo do conhecimento quantitativo

Um conhecimento qualitativo que se expressa inicialmente de forma objetiva e com impressões imediatas caracteriza-se por deixar marcas subjetivas de seu

observador sobre o objeto de estudo, o que, prematuramente, transcodifica a realidade como um bem que possui certezas prematuras. Esta superficialização do entendimento fenomenológico traz consigo impressões errôneas a serem retificadas que entravam o avanço do conhecimento científico (BACHELARD, 1996).

Tais conclusões em relação ao conhecimento qualitativo provem da análise dos obstáculos epistemológicas anteriormente discutidos e seria também fantasioso acreditar que o conhecimento quantitativo escape a essas subjetividades do observador. O estudo da grandeza também é subjetivo do ponto de vista do observador que faça tais medições e o afastamento da objetividade surge quando as primeiras medições de um objeto totalmente novo levam a determinações primeiras manipuladas e forçosamente indesejáveis (BACHELARD, 1996).

É possível observar as correlações existentes entre os obstáculos gerados pelas medidas quantitativas e as observações dos fenômenos qualitativos. Uma dessas correções provêm da natureza humana de atribuir uma ordem de grandeza a todos os nossos juízos de valor. Outra correlação pertinente é a busca excessiva do homem pela precisão, que corresponde “ao excesso de suposições pitorescas no reino da qualidade” (BACHELARD, 1996, pág. 261).

Para Bachelard (1996), é possível observar as causas e as dificuldades existentes no mundo das quantidades que levam ao surgimento de obstáculos ao progresso do pensamento científico e a exigência primordial para que se ratifique uma medida como algo que de fato descreva seu objeto:

De fato, uma das exigências primordiais do espírito científico é que a precisão de uma medida refira-se constantemente à sensibilidade do método de mensuração e leve em conta as condições de permanência do objeto medido. Medir exatamente um objeto fulgaz ou indeterminado com um instrumento grosseiro, são dois tipos de operação inúteis que a disciplina científica rejeita linearmente (BACHELARD, 1996, pág. 261).

Observa-se nas palavras de Bachelard a relação antagônica entre o pensamento realista e o pensamento científico. O realista, que acredita possuir o objeto, toma-o em suas mãos; ele o possui e é capaz de descrevê-lo, de forma ilusória e sua medição “esgota-se” até a última casa decimal. Já o cientista, ao construir seu pensamento, parte da premissa de que o objeto é mal definido. Por isso ele, inicialmente, aproxima-se do objeto através de observações. O cientista avalia as condições de medição e a sensibilidade dos instrumentos a serem

utilizados e por fim, é o seu método de medir que o cientista descreve, em detrimento da natureza do objeto medido (BACHELARD, 1996).

Apesar de parecer plausível o raciocínio do cientista, quando comparado com o realista, é necessário ainda alguns aprofundamentos sobre esta questão. A medida obtida pelo cientista nada mais é do que uma descrição da aproximação do método de medida. Neste exato momento, o cientista se aproxima do realista, pois ele acredita fielmente na medida obtida. O cientista, portanto, possui a medida, assim como o realista acredita possuir o objeto. Bachelard então descreve as consequências e relações do objeto com seu método de medida e a ilusão existente entre o cientista e o método obtido:

O objeto pode, então, mudar de natureza quando se muda o grau de aproximação. Pretender esgotar de uma vez só a determinação quantitativa é deixar escapar as relações do objeto. Quanto mais numerosas forem as relações do objeto com outros objetos, mais instrutivo será seu estudo. Mas quando as relações são numerosas, estão sujeitas a interferências e, bem depressa, a sondagem discussiva das aproximações torna-se uma necessidade metodológica (BACHELARD, 1996, pág. 262).

Conclui-se, a partir das palavras de Bachelard, que o aprisionamento do observador perante a determinação quantitativa do objeto em estudo, tem como consequências manipulações dos próprios dados que foram obtidos na medida, o que pode alterar o próprio entendimento da natureza do objeto. Transpondo o pensamento de Bachelard ao ponto de vista pedagógico, o aprisionamento do ensino de um conceito apenas em termos quantitativos pode levar a obstáculos no entendimento da natureza do objeto e seus fenômenos envolvidos, uma vez que o estudante mantém o foco principal no estudo dos dados quantitativos.

4 METODOLOGIA

Segundo critérios descritos por Gil (2008), o delineamento deste trabalho enquadra-se como uma pesquisa bibliográfica. De fato,

Embora em quase todos os estudos seja exigido algum tipo de trabalho desta natureza, há pesquisas desenvolvidas exclusivamente a partir de fontes bibliográficas. Parte dos estudos exploratórios pode ser definida como pesquisas bibliográficas, assim como certo número de pesquisas desenvolvidas a partir da técnica de análise de conteúdo (GIL, 2008, pág. 50)

Uma particularidade da pesquisa bibliográfica, ressaltada por Vergara (2000), é que ela fornece instrumental para qualquer tipo de pesquisa, porém pode esgotar-se em si mesma, isto é, pode se constituir na principal ferramenta da pesquisa.

As fontes de pesquisa empregadas foram 20 *sites* e dois livros de Química Geral de nível de graduação, denotados por livros L1 e L2. Para o acesso aos *sites*, utilizou-se o comando “Velocidade de reação” na barra de pesquisas do *Browser Google Chrome*, disponível no endereço <https://www.google.com.br/> e todos os *sites* pesquisados estão em língua portuguesa e são de acesso gratuito.

O número de *sites* pesquisados levou em consideração o número de *sites* por aba aberta que falassem sobre o tema velocidade de reação de forma relevante. Quando foi percebido que os *sites* dentro de uma aba não tiveram seus conteúdos voltados especificamente para o ensino de velocidade reação, foram finalizadas as pesquisas, o que resultou em um total de vinte *sites* definidos como fontes de pesquisa. Na identificação destes *sites*, utilizou-se a notação S1, S2 até S20.

Os respectivos *links* dos *sites* consultados com seus domínio principal se encontram no Quadro 1 abaixo:

Quadro 1. Link dos sites consultados com seus respectivos domínios

Site (Sn)	Link do site
S1	https://querobolsa.com.br
S2	https://vaiquimica.com.br
S3	https://brasilescola.uol.com.br
S4	https://descomplica.com.br
S5	http://www.marco.eng.br
S6	https://www.coladaweb.com
S7	http://www.iq.usp.br
S8	https://cienciaemacao.com.br
S9	https://www.proenem.com.br
S10	https://rumoaota.com
S11	https://www.todoestudo.com.br
S12	https://www.respondeai.com.br
S13	https://www.alfaconnection.pro.br
S14	https://www.passeidireto.com
S15	https://www.soquimica.com.br
S16	https://www2.ufjf.br
S17	https://www.stoodi.com.br
S18	https://knoow.net
S19	https://ecivilufes.files.wordpress.com
S20	https://pt.wikipedia.org

Fonte. Desenvolvido pelo autor

O endereço completo dos *sites* se encontra no Anexo A.

A pesquisa no *Browser Google Chrome* do tema “velocidade de reação” teve como resposta aproximadamente 465.000 *sites* como resultados. Os critérios utilizados pelo algoritmo de busca do *Google* para estabelecer quais fatores são mais importantes no momento de estabelecer quais *sites* são considerados mais relevantes durante uma busca estão estabelecidos pelo próprio *Google*. Os critérios utilizados levam em consideração: O significado da consulta, a relevância do conteúdo, a qualidade do conteúdo, a usabilidade das páginas da Web e o contexto (<https://www.google.com/intl/pt-BR/search/howsearchworks/how-search-works/ranking-results/>).

Em relação ao significado da consulta, o *Google* cria modelos de linguagem que tem o objetivo de decifrar como as palavras-chave utilizadas na caixa de pesquisa podem corresponder ao conteúdo mais útil que está disponível na rede. O algoritmo de pesquisa do *Google* é capaz de entender as palavras-chave utilizadas e

a intenção da pesquisa, e exibe o conteúdo adequado ao usuário. “Esse sistema levou mais de cinco anos para ser desenvolvido e melhora significativamente os resultados em mais de 30% das pesquisas em vários idiomas” (<https://www.google.com/intl/pt-BR/search/howsearchworks/how-search-works/ranking-results/>).

A relevância do conteúdo é analisada pelo algoritmo do *Google*, que é capaz de avaliar os conteúdos disponíveis na *internet* em termos de relevância, e dessa forma minimizam os resultados da pesquisa. Os resultados também são transformados em sinais que ajudam os sistemas de aprendizado de máquina a uma melhor estimativa da relevância para um determinado usuário da rede. Por exemplo, se no *site* do *Google* for pesquisado a palavra "cachorros", provavelmente não aparecerá à palavra na forma escrita "cachorros" centenas de vezes. Os algoritmos avaliam “se o resultado tem outro tipo de conteúdo relevante além da palavra "cachorros", como imagens de cães, vídeos ou até uma lista de raças” (<https://www.google.com/intl/pt-BR/search/howsearchworks/how-search-works/ranking-results/>).

A qualidade do conteúdo é detectada pelo algoritmo do *Google* através da identificação de sinais que ajudem a determinar tipos de conteúdo que demonstrem especialidade, autoridade e confiabilidade. Um fator utilizado pelo algoritmo do *Google* é a verificação se são encontrados em outros *sites* importantes *links* ou referências ao conteúdo. Este fato é uma comprovação de que as informações são confiáveis. Também são usados *feedbacks* agregados durante o processo de avaliação de qualidade da Pesquisa para um maior refino pelo sistema da classificação e da qualidade das informações (<https://www.google.com/intl/pt-BR/search/howsearchworks/how-search-works/ranking-results/>).

A usabilidade da página é utilizada pelo algoritmo do *Google* quando todos os resultados da pesquisa são muito parecidos. Neste caso, os conteúdos com mais acessos podem apresentar melhor desempenho. Por exemplo, o sistema de algoritmo do *Google* pode avaliar os aspectos de experiência na página, como a exibição do conteúdo em dispositivos móveis. De forma análoga, são avaliados aspectos de rapidez ao acesso do conteúdo, ou seja, se este é carregado de forma rápida no *site* (<https://www.google.com/intl/pt-BR/search/howsearchworks/how-search-works/ranking-results/>).

O contexto e configurações estão relacionados aos aspectos das Informações como sua localização, histórico de pesquisas anteriores e configurações da Busca. São usadas informações do país local e a localização do usuário para exibição do conteúdo relevante para sua área. Por exemplo, se o usuário está em São Paulo e pesquisa "futebol", no *Google* serão mostrados resultados sobre o Corinthians ou o Palmeiras. Se o usuário pesquisar "futebol" em Chicago, o *Google* mostrará resultados sobre futebol americano. “As configurações da Busca também são um indicador importante dos resultados que provavelmente serão úteis, como o idioma preferido ou se o *SafeSearch* (uma ferramenta que ajuda a ocultar resultados explícitos) está ativado ou não” (<https://www.google.com/intl/pt-BR/search/howsearchworks/how-search-works/ranking-results/>).

Foram consideradas como partes integrantes de um *site* (Sn), todas as possíveis abas que puderem ser abertas do *site* matriz através de links e que mantivesse em seu endereço URL o nome do domínio do site matriz. Também foi considerado como partes de um *site* (Sn) vídeos da plataforma Youtube que tiverem sido direcionadas através de *links* disponíveis no *site* matriz, desde que estes vídeos sejam identificados como conteúdos vinculados ao *site* matriz, através da identificação pelo nome adotado pelo *site*.

Os tópicos sobre velocidade de reação foram criados pelo autor deste trabalho para a investigação dos 20 *sites* escolhidos. Os tópicos tiveram como objetivos tanto avaliar tópicos específicos dos conceitos estudados em velocidade de reação, assim como também avaliar a formalidade como estes conceitos foram trabalhados pelos *sites*. Nos tópicos T1, T3, T6, T8, T9 e T10 foram permitidas como respostas os comandos sim ou não; nos tópicos T2, T4, T5, T7, T11 e T12 foram permitidas respostas fechadas; caso no tópico T10 tivesse sido obtido resposta “sim”, os erros conceituais e conceitos incompletos detectados foram anotados de forma descritiva; No tópico T13 foi permitida resposta descritiva por meio de comentários pertinentes sobre questões detectadas e consideradas relevantes para esta pesquisa. Utilizou-se a ferramenta *Google forms* para a elaboração do instrumento de avaliação e os treze tópicos avaliativos.

Quadro 2. Tópicos utilizados no instrumento de avaliação

Tópicos do instrumento de avaliação	
T1	No <i>site</i> é discutida a lei de velocidades em termos de uma lei empírica, na qual o parâmetro ordem de reação é obtido experimentalmente? A – Sim; B – Não.
T2	No <i>site</i> é discutida a constante de velocidade em termos de: A – Uma constante numérica; B – Um parâmetro obtido experimentalmente; C – Função da temperatura; D – Correlacionada com a Energia de ativação; E – Em termos da equação de Arrhenius; F – Não discute.
T3	No <i>site</i> é abordada a relação entre mecanismos de reação com a ordem de reação e a equação de velocidade? A – Sim; B – Não.
T4	No <i>site</i> são abordados quais são os fatores que afetam a velocidade de reação? A – Concentração; B – Temperatura; C – Pressão; D – Estado físico dos reagentes; E – Superfície de contato; F - Catalisadores; G – Não aborda.
T5	No <i>site</i> é deixado de abordar algum tópico do tema Velocidade de Reação? A – Não deixa; B - Lei de velocidade; C – Ordem de reação; D - Constante de velocidade; E – Teoria das colisões; F - Molecularidade; G - Energia de ativação; H - Mecanismos de reação; I - Fatores que afetam a velocidade de reação.
T6	No <i>site</i> é feita alguma correlação entre a Termodinâmica e os conceitos estudados em velocidade de reação? A – Sim; B – Não.
T7	No <i>site</i> é feito uso de recursos visuais que facilitem a compreensão do estudante com o

	<p>conteúdo Velocidade de reação e que possa facilitar a aprendizagem do tema?</p> <p>A – Figuras, desenhos e ilustrações;</p> <p>B – Vídeos;</p> <p>C – Áudio;</p> <p>D – Fotos de exemplos reais;</p> <p>E – Gráficos;</p> <p>G – Não faz.</p>
T8	<p>No <i>site</i> é feito uso de exemplos práticos e cotidianos sobre o tema velocidade de reação, utilizando-se de exemplos sobre a aplicação do tema nas Indústrias, na vida doméstica, na saúde, na economia, etc;</p> <p>A – Sim;</p> <p>B – Não.</p>
T9	<p>No <i>site</i> é abordado o assunto Velocidade de Reação com linguagem apropriada da química?</p> <p>A – Sim;</p> <p>B – Não.</p>
T10	<p>No <i>site</i> são encontrados erros conceituais ou conceitos incompletos?</p> <p>A – Sim;</p> <p>B – Não.</p> <p>Caso possuam erros conceituais ou conceitos incompletos. Quais?</p>
T11	<p>No <i>site</i> são mencionados para qual público-alvo os conteúdos são direcionados?</p> <p>A – Ensino médio;</p> <p>B – Ensino médio voltado para preparatório do vestibular/ENEM;</p> <p>C – Graduação;</p> <p>D – Pós-graduação;</p> <p>E – Não menciona.</p>
T12	<p>No <i>site</i> são citadas referências ao conteúdo publicado?</p> <p>A - Livros de ensino médio;</p> <p>B - Livros de graduação;</p> <p>C - Artigos científicos;</p> <p>D - TCCs ou Dissertações;</p> <p>E - <i>Sites</i> institucionais;</p> <p>F - <i>Sites</i> pessoais;</p> <p>G – Não menciona.</p>
T13	Comentários extras sobre o <i>site</i> avaliado.

Fonte: Desenvolvido pelo autor

A aplicação do Instrumento avaliativo foi realizada pelo autor deste trabalho, através da leitura direta dos conteúdos de um *site* e leitura de todas as possíveis páginas e vídeos no *YouTube*, de acesso livre, por meio de *links* dentro da página

inicial do *site*. Posteriormente a leitura de todos os conteúdos, os tópicos sobre velocidade de reação do Instrumento avaliativo foram avaliados.

Os *sites* pesquisados foram nomeados com a respectiva notação S(1 a 20), de acordo com a ordem que cada um foi lido. Cada um dos doze tópicos teve como objetivo avaliar questões relevantes na aprendizagem dos conceitos de velocidade e buscou responder à questão de pesquisa sobre a confiabilidade da internet como fonte de pesquisa ao tema velocidade de reação.

A escolha pela aplicação do Instrumento de avaliação pelo próprio autor deste trabalho baseou-se no fato de que outros pesquisadores, ao aplicarem o instrumento de avaliação, pudessem cometer os mesmos erros conceituais e obstáculos epistemológicos cometidos pelos autores do *site*. A segunda justificativa baseia-se no fato dos critérios utilizados pelos treze tópicos do Instrumento de avaliação estar embasado em dois livros de graduação, que devem, necessariamente, serem utilizados durante o processo de avaliação pelo autor, evitando-se fugir ao rigor conceitual dessas referências e, com isso, cometer os mesmos erros conceituais ou obstáculos epistemológicos detectados nos *sites*.

Uma vez que se entende que o rigor conceitual dos livros adotados deve ser seguido sistematicamente, não há necessidade de adotar outros sujeitos para a aplicação do Instrumento de avaliação, padronizando-se a coleta e análise de dados da pesquisa.

A Figura 2 mostra um trecho do instrumento de avaliação criado no *Google Forms* para a pesquisa dos conteúdos de velocidade de reação disponibilizados na Internet.

Figura 2 - Instrumento de avaliação desenvolvido no *Google forms*

Formulário para avaliar os conteúdos de velocidade de reação de sites pesquisados na internet.

Descrição do formulário

Link do site pesquisado.

Texto de resposta curta

P1 – O site discute a lei de velocidades em termos de uma lei empírica, na qual o parâmetro ordem de reação é obtido experimentalmente?;

A - Sim;

B - Não.

Neste trabalho, será adotado como base teórica para o estabelecimento dos conceitos que serão considerados como corretos, na investigação dos *sites* pelos tópicos T1, T2, T3, T4, T5, T6 e T10, os conceitos estabelecidos em dois livros de graduação de Química Geral que abordam o tópico velocidade de reação, dentro do capítulo de Cinética Química.

O primeiro livro, estabelecido como L1, denota-se “Princípios de Química. Questionando a vida moderna e o meio ambiente”, 3^o Edição, dos autores Peter Atkins e Loretta Jones. O segundo livro, estabelecido como L2 denota-se “Química Geral” do autor Izrael Mordka Rozenberg, da Editora Blucher Editora BOOKMAN. Publicado em 2006.

Dentre as muitas possibilidades de escolha de dois livros de graduação, o livro L1 - Princípios de Química. Questionando a vida moderna e o meio ambiente foi adotado por ser um livro de uso tradicional nas disciplinas de química geral básica do primeiro ano de graduação.

Este livro possui uma linguagem técnica adequada e de fácil compreensão para os estudantes que acabaram de ingressar no ensino superior de química, o que nos permite utilizar suas definições conceituais na comparação com os conceitos de disponíveis em *sites* para diferentes níveis de público-alvo.

A escolha do livro L2 - Química Geral baseou-se no autor, Izrael Mordka Rozenberg, que é um renomado físico-químico. Sua obra possui maior rigor conceitual quando comparado ao livro L1 e que permite discussões mais profundas dos erros conceituais ou conceitos incompletos que forem detectados nas análises dos *sites*.

O Livro L2 também trás algumas discussões históricas sobre a Lei de velocidade e os parâmetros ordens de reação, que enriquece ainda mais a abordagem do tema e ajuda a desmistificar alguns erros conceituais atreladas a cronologia de como os conceitos foram surgindo, até os dias atuais.

A base conceitual foi estabelecida através da pesquisa bibliográfica de como os livros L1 e L2 abordam os conceitos sobre velocidade de reação avaliada pelos tópicos T1, T2, T3, T4, T5, T6 e T10.

No tópico T1 foi abordada a ordem de reação.

No tópico T2 foram abordadas a constante de velocidade, a energia de ativação e a equação de Arrhenius.

No tópico T3 foram abordados os tópicos mecanismo de reação e ordem de reação.

No tópico T4 foram abordados os fatores que afetam a velocidade de reação.

No tópico T5 foram abordados: A lei de velocidade, a ordem de reação, a constante de velocidade, a teoria das colisões, a molecularidade, a energia de ativação, os fatores que afetam a velocidade de reação.

No tópico T6, foi abordada a correlação entre termodinâmica e cinética química.

No tópico T10, foram abordados os possíveis erros conceituais e conceitos incompletos acerca do tema velocidade de reação em geral.

Nos tópicos T7, T8, T9, T11 e T12 foram avaliados a forma como os *sites* tratam o tema velocidade de reação. Foram discutidos como são utilizados nos Livros L1 e L2 os recursos didáticos avaliados pelos tópicos T7, T8, T9, T11 e T12 ao tratar o tema velocidade de reação.

As respostas obtidas da aplicação do Instrumento avaliativo a cada um dos 20 *sites* utilizados na pesquisa foram analisadas em termos qualitativos e quantitativos de forma a avaliar se os *sites* deixaram de abordar algum tópico do tema velocidade de reação, cometeram erros conceituais, apresentaram obstáculos epistemológicos, deixaram de apresentar referências bibliográficas, utilizaram exemplos práticos e

conseguiram contextualizar o tema. Por fim, avaliar se o *site* apresenta-se com um material que possa ser utilizado como fonte de pesquisa ao tema velocidade de reação.

4.1 BASES CONCEITUAIS UTILIZADAS NA AVALIAÇÃO DOS *SITES*

Nos tópicos de natureza conceitual T1, T2, T3, T4, T5 e T6 do Instrumento avaliativo foram utilizados como bases conceituais os conceitos estabelecidos nos livros L1 e L2. São discutidos como os livros L1 e L2 abordam cada questionamento conceitual e formativo indagados pelos tópicos do Instrumento Avaliativo.

Nos tópicos T7, T8, T9, T11 e T12 foram avaliadas outras características dos *sites* vinculadas a sua forma (utilização de fotos, exemplos reais, linguagem, público-alvo, referências bibliográficas). Pelo fato deste conjunto de tópicos não ter natureza conceitual, não foram utilizados os conceitos abordados nos Livros L1 e L2. Porém, será discutida a forma como os livros L1 e L2 abordam as características indagadas pelos tópicos T7, T8, T9, T11 e T12.

No tópico T10, caso seja identificado algum conceito errado ou incompleto, serão utilizados os livros L1 e L2 como consulta ao que a literatura esboça como válidos, além de detectar qual seria o obstáculo epistemológico atrelado a estes erros conceituais ou conceitos incompletos.

No tópico T13 são utilizados para anotações de observações feitas durante a análise do *site* e que não tenham sido abordadas pelos 12 tópicos anteriores.

A seguir são apresentadas as bases conceituais sobre o tema velocidade de reação que nortearam a presente pesquisa, bem como os objetivos que estruturaram os treze tópicos contidos no instrumento de avaliação dos *sites* pesquisados.

4.1.1 Bases conceituais e objetivo do tópico T1

No tópico T1 foi avaliado se o *site* aborda a lei de velocidade em termos de uma lei experimental, em que os parâmetros ordens de reação são obtidos por métodos experimentais.

No Livro L1 é definida a Lei de velocidade ou equação de velocidade como sendo uma equação matemática que relaciona a velocidade de reação com as

concentrações dos reagentes a, b, c, \dots , que, em linguagem matemática formal, pode ser escrita através da equação diferencial $\frac{dx}{dt} = k \times f(a, b, c, \dots)$. A lei de velocidade somente é válida para descrever a cinética de uma reação química, quando os parâmetros da ordem reacional e a constante de velocidade são determinados por métodos experimentais, que se busca, através de medidas das variações de concentração de reagente, entender a ordem de variação da velocidade da reação com o decorrer do tempo.

Dentre os métodos experimentais possíveis, há os métodos de retirada de alíquotas que monitoram em tempos estabelecidos a variação de reagentes consumidos, além de métodos contínuos que se baseiam na medida de propriedades físicas do meio reacional, sem a necessidade de perturbá-lo.

No Livro L2 é estabelecida a Lei de velocidade em termos históricos. Primeiro, define a influência das massas de reagentes sobre a velocidade de reação através da definição dada por Guldberg e Waage em 1864, através do enunciado da Lei da ação das massas, o qual estabelece que em meio homogêneo, a velocidade de reação é, a cada instante, proporcional ao número de moléculas-gramas dos reagentes não transformados presentes por unidade de volume. Ou em termos mais práticos, proporcional às molaridades dos reagentes presentes.

Quando a Lei da ação das massas foi proposta, não era conhecido ainda o conceito de Ordem de reação, que foi estabelecido por Tolman e Kassel em 1930. Segundo estes dois autores, para uma reação genérica $\nu_1 S_1 + \nu_2 S_2 + \dots \rightarrow \nu'_1 S'_1 + \nu'_2 S'_2 + \dots$, a velocidade de reação pode ser escrita como $v = k[S_1]^{p_1}[S_2]^{p_2}[S_3]^{p_3}$, em que p_1, p_2 e p_3 são as ordens de reação.

O Livro L1 define que a ordem de reação é a soma dos expoentes $p_1 + p_2 + p_3$ da lei de velocidade e que a reação genérica $\nu_1 S_1 + \nu_2 S_2 + \dots \rightarrow \nu'_1 S'_1 + \nu'_2 S'_2 + \dots$ é considerada de ordem parcial p_1 em relação ao reagente S_1 , ordem parcial p_2 em relação ao reagente S_2 e assim sucessivamente.

No Livro L2 também é definido o conceito de molecularidade e sua correlação com a ordem de reação. A molecularidade é definida por L2 como sendo o número mínimo de moléculas de reagentes em uma determinada reação química que é necessária para que ela ocorra. Reações com uma única molécula de reagente são monomoleculares, reações com duas moléculas de reagentes são bimoleculares.

O Livro L2 aborda que uma reação de molecularidade n , ou n -molecular, em que n moléculas participam da reação, pode apresentar velocidade de reação que não seja influenciada por todas as moléculas presentes e, neste exato momento, diferencia-se os conceitos de molecularidade e ordem de reação. Em alguns casos a molecularidade e a ordem de reação coincidem, mas na maioria dos casos isso não acontece.

No Livro L1 é distinguido o conceito de ordens de reação do conceito de molecularidade que é atrelado a análise estequiométrica da reação e, portanto, sendo necessário recorrer à experiência para a determinação dos parâmetros ordem de reação. São então abordados três métodos químicos e físico-químicos para sua determinação experimental, o que ratifica o caráter experimental daqueles parâmetros.

Nos livros L1 e L2, ao ser citada a Lei de velocidade, deixaram de forma clara que, para uma determinada reação química, ela é um modelo matemático, cujos parâmetros cinéticos, ordem de reação e velocidade específica, só podem ser obtidos por métodos experimentais. Mesmo os modelos teóricos de mecanismos de reação devem ter seus parâmetros cinéticos teóricos ratificados por métodos experimentais. Conclui-se, portanto, que as ordens de reação, assim como a velocidade específica, são confirmadas por métodos experimentais.

4.1.2 Bases conceituais e objetivo do tópico T2

No tópico T2 é avaliado o nível de aprofundamento do *site* ao abordar o parâmetro constante de velocidade e a capacidade do *site* discutir este parâmetro cinético além da característica de constante de proporcionalidade.

No Livro L1 é definido que o coeficiente de velocidade, ou velocidade específica, mede a velocidade da reação para condições bem especificadas, pois a determinação experimental da constante de velocidade, para uma reação química particular, permite mostrar que a constante de velocidade possui um valor determinado para um valor de temperatura fixado. Ou seja, a constante é função da temperatura. Além disso, é abordado o efeito da temperatura através da equação de Arrhenius, modelo matemático que descreve a velocidade específica como uma

função da temperatura e a energia de ativação como uma constante fixa, cujo valor depende da reação química em análise.

No livro L2 é abordada a constante de velocidade em termos da influência da temperatura e define que as velocidades das reações são sempre afetadas por mudanças na temperatura. Estas relações são descritas pelo modelo matemático proposto por Svante Arrhenius através da equação de Arrhenius $\frac{k_2}{k_1} = E_a \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$. Este modelo define que cada temperatura possui um valor específico de velocidade de reação e que a energia de ativação é sempre um valor fixo e característico para uma reação química particular. Os valores de constante de velocidade também podem ser obtidos experimentalmente.

O livro L2 também correlaciona a constante de velocidade com a temperatura em termos do coeficiente de temperatura. Para muitas reações, o coeficiente de temperatura permanece praticamente constante, quando ocorrem variações pequenas na temperatura. Estas correlações foram estabelecidas pela regra de Van't Hoff e possuem o seguinte enunciado: "A constante de velocidade de reação é multiplicada por um número compreendido entre 2 e 4, quando a temperatura aumenta 10° C." A Regra de Van't Hoff é uma aproximação para os casos de variação de temperatura não superiores a 10 °C e seus resultados são menos precisos que as estabelecidas pela Equação de Arrhenius.

Conclui-se, portanto, que em ambos os livros é correlacionada a constante de velocidade com um parâmetro obtido experimentalmente, função da temperatura, e correlacionada com a energia de ativação através do modelo matemático da equação de Arrhenius.

4.1.3 Bases conceituais e objetivo do tópico T3

No tópico T3 é avaliado se o *site* discute os mecanismos de reação como métodos teóricos para propor os possíveis valores do parâmetro cinético ordem de reação, para os respectivos reagentes em análise e, dessa forma, correlacionar mecanismo de reação com um modelo teórico para a lei de velocidade.

No livro L1 é definido o conceito de mecanismo de reação como sendo uma sequência de reações elementares que descrevem as possíveis modificações que se acredita ocorrerem durante a reação química. Cada reação elementar descreve

um evento específico, que em termos práticos pode ser entendido como uma colisão entre moléculas e que ocorre com uma determinada velocidade.

A etapa ou etapas lentas do mecanismo definem a etapa determinante da cinética da reação, uma vez que as etapas rápidas ocorrem de forma quase instantâneas, quando comparadas com a etapa lenta. O mecanismo de reação é um modelo que pode ser confrontado através de medidas realizadas em estudos cinéticos das variações de reagentes que permitem validá-lo.

A correlação entre mecanismo de reação e ordem de reação surge quando os dados experimentais são capazes de confirmar a validade das ordens de reação obtidas do modelo teórico do mecanismo de reação proposto para uma determinada reação de interesse. No livro L1 também é definido que as equações elementares que descrevem as etapas de um mecanismo, por definição, não podem ser escritas com os estados físicos dos reagentes e produtos envolvidos, porque o objetivo principal de cada reação é mostrar como ocorrem os eventos de colisão entre as espécies.

No livro L2 não é discutido o tópico mecanismos de reação.

4.1.4 Bases conceituais e objetivo do tópico T4

O tópico T4 tem o objetivo de avaliar se o *site* deixa de discutir algum dos fatores que afetam a velocidade de reação.

O livro L1 não possui um tópico específico sobre fatores que afetam a velocidade de reação, porém discute a influência da temperatura no tópico 13.11 - efeito da temperatura e discute a influência da temperatura na velocidade através da equação de Arrhenius. Discute que, em regra, o aumento de temperatura aumenta a velocidade das reações. No tópico 13.14 – Catálise, o Livro L1 discute a influência dos catalisadores e os define como substâncias que aumentam a velocidade de reação sem serem consumidos na reação.

Isso ocorre porque os catalisadores alteram o mecanismo reacional através de um novo caminho e, com isso, alteram a energia de ativação através de sua diminuição. No livro L1 são definidas as classificações de catalisador homogêneo e heterogêneo. Catalisador homogêneo é aquele que se encontra na mesma fase dos reagentes, formando um sistema reacional homogêneo, enquanto o catalisador heterogêneo é aquele que se encontra em fase diferente dos reagentes.

No livro L2 são abordados os fatores que afetam a velocidade em termos da concentração, da temperatura, da pressão, dos estados físicos dos reagentes, e dos catalisadores. A abordagem em termos da concentração é descrita pela lei de Guildberg e Waage, já abordada nos critérios avaliativos do tópico T1. Basicamente, esta lei cita que a velocidade é proporcional ao número de moléculas-gramas de reagentes, ou seja, o aumento da concentração aumenta a velocidade da reação.

A lei de Guildberg e Waage para sistemas gasosos pode ser compreendida em termos da teoria cinética dos gases. Nesta teoria, admite-se que as moléculas de gases estão em constante agitação e a ocorrência da reação depende do número de colisões entre estas. Nem todas as colisões entre as moléculas são eficazes e capazes de direcionar a uma reação química.

Esta teoria também pode ser expandida para sistemas líquidos, pois neste sistema, as moléculas ou íons dissolvidos têm comportamentos muito semelhantes às moléculas de gases. A discussão sobre o estado sólido é abordada ao se discutir os estados físicos dos reagentes.

A influência da temperatura sobre a velocidade de reação já foi previamente discutida nos critérios para o tópico T2, ao abordar as relações entre constante de velocidade, temperatura e energia de ativação. Contudo, no livro L2 é mencionada que a velocidade de reação sofre considerável influência da temperatura e seu aumento ocasiona um aumento na velocidade da reação.

A influência da pressão é abordada em relação aos reagentes e produtos em estado gasoso. Neste caso a pressão está atrelada a estequiometria da reação e ao número de espécies presentes. Caso o número de moléculas nos produtos seja menor do que o número de moléculas nos reagentes, o aumento de pressão desloca a reação na direção dos produtos, como forma de amenizar o aumento de pressão.

Caso o número de moléculas nos reagentes seja menor do que o número de moléculas nos produtos, ocorre o efeito contrário e o aumento de pressão desloca a reação na direção dos reagentes. No caso de reagentes e produtos terem estequiometricamente o mesmo número de moléculas, a pressão não exerce influência.

O conceito de catalisador é definido em termos da catalise, como sendo um fenômeno causado por uma substância no meio reacional que altera a velocidade da reação, sem que esta substância participe dela. Esta substância, o catalisador, é capaz de modificar a energia de ativação, diminuindo-a (catalisador positivo) ou

aumentando-a (catalisador negativo). As catálises são divididas em dois tipos. Catálise homogênea em que reagentes e catalisador encontram-se no mesmo estado físico e catálise heterogênea em que reagentes e catalisador encontram-se em estados físicos diferentes.

4.1.5 Bases conceituais e objetivo do Tópico T5

No livro L1 são abordadas as seguintes respostas ao tópico T5: B - Lei de velocidade, C – Ordem de reação, D – Constante de velocidade, E – Teoria das colisões, F - Molecularidade, G – Energia de ativação e H – Mecanismo de reação. Em relação à resposta, I – Fatores que afetam a velocidade de reação, o livro L1 aborda a influência da temperatura e dos catalisadores.

Os conceitos adotados pelo livro L1 para as opções de resposta B, C e H já foram discutidos nos tópicos anteriores e, portanto, são abordados os conceitos para as opções de respostas E, F e G.

No livro L1 é citado que o conceito de teoria das colisões é um modelo que explica como as reações químicas ocorrem em nível molecular. Este modelo é dependente da temperatura e consegue demonstrar a influência da energia de ativação no processo.

Para a construção deste modelo, no livro L1 são adotadas as reações em fase gasosa, por serem mais simples que em fase líquida, e parte da suposição de que as moléculas assumem formas aproximadas de bolas de bilhar e que podem apresentar colisões entre si que podem levar ao rompimento de ligações químicas (colisão efetiva) ou ao rompimento de ligações químicas (colisões não efetivas).

Quando a colisão entre moléculas ocorre com energia abaixo da energia de ativação, nada ocorre. Contudo, quando as moléculas colidem com energia igual ou superior a energia de ativação, as ligações químicas podem se romper e levar a formação de novas ligações.

O livro L1 também aborda, em termos quantitativos, a frequência de colisão entre as moléculas de reagentes, supondo hipoteticamente dois reagentes A e B, conforme o seguinte modelo matemático:

$$\text{Frequência de colisão} = \sigma v_{rel} N_A^2 [A][B] \quad (21)$$

Em que:

N_A = Constante de Avogadro;

v_{rel} = Velocidade média relativa;

A velocidade média relativa é uma estimativa da velocidade média que o conjunto de moléculas do meio reacional possui e é calculada pela multiplicação de cada velocidade molecular possível pela fração de molécula que as possui. Quando o meio reacional possui temperatura T e as massas moleculares de A e B são M_A e M_B , podemos calcular a velocidade relativa através da equação:

$$v_{rel} = \left(\frac{8RT}{\pi\mu} \right)^{1/2} \mu = \frac{M_A \times M_B}{M_A + M_B} \quad (22)$$

Em que:

R = Constante dos gases ideais;

μ = Seção de choque de colisão;

Nas equações (21) e (22) são mostradas que a frequência de colisão tende a ser maior quando ocorre aumento da velocidade relativa das moléculas, o que ocorre quando a temperatura do meio reacional aumenta. Outro fator é que a velocidade relativa cresce proporcional à raiz quadrada da temperatura.

No livro L1 é definido o conceito de molecularidade de uma reação como sendo “o número de moléculas ou átomos ou íons de reagentes envolvidas em uma reação elementar específica” (ATKINS, 2006, pág. 595). Quando uma equação possui uma molécula de reagente e duas de produtos, a reação é unimolecular em termos do reagente e bimolecular em termos dos produtos.

Quando a reação possui duas moléculas de reagente e uma de produto, a reação é bimolecular. A grande maioria das reações ocorre com mecanismos, em que possuem duas ou mais etapas elementares e a molecularidade tem como função indicar quantas espécies, principalmente de reagentes, estão envolvidas em cada uma destas etapas.

No livro L1 é definida a energia de ativação como sendo um parâmetro de Arrhenius que surge no modelo matemático da equação de Arrhenius e que é

determinado experimentalmente. Além disso, cada reação química tem sua energia de ativação e este valor é sempre fixo independentemente da variação da temperatura ou das concentrações de reagentes. Pode-se afirmar que a energia de ativação é única para uma determinada reação em estudo.

A equação de Arrhenius indica que a constante de velocidade varia com a variação da energia de ativação. Quanto maior a energia de ativação, maior será a constante de velocidade. Como consequência, reações com energia de ativação alta são mais dependentes da temperatura do que reações com baixa energia de ativação. Em termos práticos, uma reação com energia de ativação baixa ocorre mais facilmente.

No Livro L1 também é abordada outra característica importante. Reações endotérmicas possuem energia de ativação direta maiores do que a energia de ativação inversa. Com isso, estas reações são mais sensíveis a temperatura e um aumento de temperatura desloca o equilíbrio da reação na direção dos produtos. Para as reações exotérmicas, a energia de ativação direta é menor do que a energia de ativação inversa e o aumento de temperatura tende a deslocar a reação na direção dos reagentes.

No livro L2 não há um tópico específico que aborde teoria das colisões. No livro L2 é definido o conceito de molecularidade para uma reação como sendo “o número mínimo de moléculas de seus reagentes, necessárias ao seu processamento” (ROZENBERG, 2022, pág. 524). Reações que possuem apenas uma molécula de reagente são ditas monomoleculares. Reações que possuem duas moléculas de reagentes são bimoleculares.

No Livro L2 é distinguido o conceito de molecularidade em relação ao conceito de ordem de reação, ao citar que uma reação hipotética com n moléculas de reagentes possui molecularidade n , porém nem todas as n moléculas de reagentes podem influenciar na velocidade de reação. A influência que cada reagente tem sobre a velocidade de reação é dada pela ordem parcial de reação de cada reagente, enquanto a molecularidade indica o número de espécies presentes em termos estequiométricos.

No livro L2 é definido o conceito de energia de ativação de forma parecida com o livro L1 e cita que “somente as moléculas ativadas, isto é, possuidoras no momento da colisão do necessário excesso de energia, podem participar efetivamente das reações químicas” (ROZENBERG, 2002, pág. 540).

4.1.6 Bases conceituais e objetivo do Tópico T6

No livro L1 é feita a correlação entre a termodinâmica e a velocidade de reação na introdução do capítulo de Cinética Química, através da explicação do nível de alcance de cada um destes dois tópicos da química. O campo de estudo da termodinâmica é capaz de prever a direção e a extensão das reações químicas, contudo não é capaz de fornecer informações sobre o tempo necessário para isso e nem o caminho percorrido pelos reagentes para serem convertidos nos produtos.

A termodinâmica pode indicar se um processo químico é espontâneo ou não e indicar os estados iniciais e finais deste processo, mas nada é capaz de informar sobre o caminho entre reagentes e produtos. Porém, o campo de estudo da cinética química estuda as velocidades de reações, através de modelos cinéticos e faz previsões do caminho percorrido entre reagentes e produtos, através de modelos de mecanismos de reação.

No livro L1 é abordada também a correlação entre termodinâmica e velocidade de reação no tópico 13.10 do capítulo de cinética, em que estabelece a correlação matemática entre velocidade de reação e o equilíbrio químico, através da relação entre a constante de equilíbrio químico e as constantes de velocidade da reação direta e da reação inversa. O livro L2 não faz essa correlação.

4.1.7 Bases conceituais e objetivo do Tópico T7

A análise das figuras, fotos de exemplos reais e gráficos do Livro L1 permitiram identificar 18 figuras, 8 fotos de exemplos reais e 24 gráficos utilizados como recursos visuais, entre as páginas 578 e 616. Conclui-se que a primeira referência adotada como base teórica para a avaliação dos *sites*, o Livro L1, traz uma riqueza de recursos visuais.

A leitura completa do capítulo de cinética permitiu concluir que as figuras, fotos reais e gráficos estão conectadas a todo tempo com as respectivas explicações conceituais e as complementam com informações relevantes. Os gráficos permitem uma interpretação clara dos modelos matemáticos da lei de velocidade e de comportamentos cinéticos e permitem interpretações químicas importantes, o que tornam mais claros os comportamentos cinéticos para as reações de 1^o, 2^o e ordem zero.

Esta mesma análise permitiu identificar oito gráficos utilizados no Livro L2, entre as páginas 519 e 554, do capítulo de Cinética química, que foram capazes de acrescentar informações relevantes aos conceitos abordados, em especial o comportamento da velocidade de reação com a temperatura e a variação de energia de reações, tanto exotérmicas quanto endotérmicas, com a coordenada de reação.

O Livro L1 é uma literatura científica mais atual e utiliza-se de recursos digitais, tais como gráficos em 3D gerados em computadores e imagens bem ilustrativas também geradas por meio de recursos computacionais, enquanto o Livro L2 é uma literatura científica publicada pela primeira vez em 2002 e reimpressa, sem atualizações de seus conteúdos, além de ser uma literatura mais robusta em termos conceituais e com um nível de aprofundamento histórico e matemático mais rigoroso do que o livro L1.

Portanto, concluiu-se que a riqueza de recursos visuais adotadas no livro L1 contribuem para o entendimento conceitual e o uso apenas de oito gráficos e o não uso de recursos de imagens ou fotos pelo Livro 2 não descredibiliza esta literatura, uma vez que suas abordagens teóricas possuem um grande peso conceitual.

4.1.8 Bases conceituais e objetivo do tópico T8

No Livro L1 foi abordado que a cinética química, em nível macroscópico, permite a modelagem de sistemas complexos como o corpo humano e a atmosfera, o desenvolvimento de catalisadores para acelerar reações químicas, além de grandes aplicações em indústrias químicas e na solução de problemas reais, como a fome no mundo e o desenvolvimento de novos combustíveis (ATKINS, 2006, pág. 578). No Livro L1, são encontrados dois quadros, 13.1 e 13.3, respectivamente nas páginas 580 e 612, 613, que abordam exemplos reais de aplicação dos conceitos de cinética química, em nível aprofundado.

No quadro 13.1, página 580, é abordado como é possível saber o que acontece com os átomos durante reações químicas e como rastreá-los, tais conhecimentos possuem grandes aplicações na medicina e no rastreamento de doenças, além de aplicações em diferentes métodos de análises instrumentais que permitem melhorar a análise da qualidade de produtos.

No quadro 13.3 é abordada a aplicação da velocidade de reação no desenvolvimento de modelos capazes de rastrear a decomposição da camada de

ozônio, e com isso desenvolver estratégias para sua proteção, o que tem grande impacto na proteção do meio ambiente a nível global.

Foi percebido que os dois exemplos abordados nos quadros 13.1 e 13.3, pelo livro L1, trazem discussões importantes sobre a aplicação da velocidade de reação em dois temas atuais e de grande interesse público. A melhoria das técnicas utilizadas na medicina atual para a melhoria da qualidade de vida e a proteção do meio ambiente, para a manutenção da vida no planeta terra.

As abordagens utilizadas tiveram, além da discussão teórica sobre os fenômenos atômicos e os fenômenos do efeito estufa, discussões sobre estudos atuais, desenvolvimentos de técnicas e o papel central que os conceitos inerentes ao tema velocidade de reação têm dentro do desenvolvimento científico destes dois problemas sociais (saúde pública e meio ambiente).

No Livro L2 não foram utilizados exemplos práticos e cotidianos em suas abordagens sobre Velocidade de reação.

4.1.9 Bases conceituais e objetivo do tópico T9

Nos livros L1 e L2 é adotada, com rigorosidade, uma linguagem técnica da química utilizada em cursos de nível superior de química, licenciatura em química, engenharia química, engenharia de alimentos, farmácia ou outras áreas do saber que possuam disciplinas de química.

Além disto, a linguagem adotada nos livros L1 e L2 é também adotadas por profissionais em atividade da área da química e campos correlatos, como bioquímicos, engenheiros, farmacêuticos, físicos, nutricionistas, etc... Portanto, a forma adotada pelos livros L1 e L2 para a descrição dos termos utilizados para definir conceitos, modelos matemáticos, moléculas, gráficos, teorias, etc, estão de acordo com as convenções da IUPAC e serviram de base na presente pesquisa.

4.1.10 Objetivos para o tópico T10

O tópico T10 teve como objetivo avaliar se o *site* apresenta erros conceituais e conceitos incompletos sob a luz da epistemologia de Gaston Bachelard. Caso tenha, serão discutidos quais foram os erros cometidos e quais conceitos estão

incompletos e os prováveis obstáculos epistemológicos atrelados a estas deficiências conceituais.

4.1.11 Objetivos para o tópico T11

O tópico T11 teve como objetivo avaliar para qual público-alvo o conteúdo do *site* é direcionado, através de informações que o *site* disponibilize sobre esta informação. A citação pelo *site* de qual público-alvo seu conteúdo é direcionado pode facilitar para o leitor se o *site* de fato satisfaz as suas necessidades.

Um leitor que esteja no Ensino médio irá encontrar obstáculos em sua aprendizagem, ao utilizar um conteúdo voltado para a graduação, assim como um conteúdo voltado para o preparatório de vestibular, não contribuirá na aprendizagem de um leitor que esteja cursando uma graduação.

4.1.12 Objetivos para o tópico T12

O tópico T12 teve como objetivo avaliar quais foram às referências bibliográficas utilizadas pelo *site* e se são citadas as fontes utilizadas.

4.1.13 Objetivos para o tópico T13

O tópico T13 teve como objetivo permitir anotar alguma observação relevante detectada durante a análise do *site* ou alguma questão relevante que foi observada e que não foi abarcada pelos doze tópicos anteriores.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir deste ponto, serão apresentados os resultados da pesquisa, cuja análise e discussão serão embasadas, sempre que possível, nos pressupostos dos obstáculos epistemológicos de Gaston Bachelard. Além disso, serão apontados os principais equivocados conceituais identificados, os motivos pelo qual utilizá-los torna-se um obstáculo na compreensão conceitual e, sempre que possível, serão apontadas sugestões de como deve ser abordado o conceito do Tópico em análise.

Os seguintes resultados foram obtidos na aplicação do Instrumento de avaliação aos 20 sites S1, S2,... , S20:

5.1 RESULTADOS PARA O TÓPICO T1 - NO SITE É DISCUTIDA A LEI DE VELOCIDADES EM TERMOS DE UMA LEI EMPÍRICA, NA QUAL O PARÂMETRO ORDEM DE REAÇÃO É OBTIDO EXPERIMENTALMENTE?

Em 25% dos *sites* pesquisados (S5, S6, S12, S13 e S18) a resposta ao tópico 1 foi NÃO. Nos demais *sites* (S1, S2, S3, S4, S7, S8, S9, S10, S11, S14, S15, S16, S17, S19 e S20), que corresponderam a 75%, obtiveram-se como resposta SIM. Nos *sites* S11 e S14 apenas foi citado que a ordem de reação é obtida experimentalmente, enquanto nos demais *sites* foram citados o caráter empírico da ordem de reação e discutidos como ocorrem estas relações empíricas, que permitem correlacionar o comportamento da velocidade de reação com a concentração de reagentes e determinar a ordem de reação.

Obsevou-se também a discussão baseada em métodos experimentais que, permitem determinar dados cinéticos sobre estas relações. Três caminhos metodológicos possíveis de discussões foram observados:

1. Em alguns *sites* foi discutido o comportamento da velocidade de reação em relação a variação da concentração de reagentes e as possíveis potências que as concentrações de reagentes podem indicar (ordens de reação);
2. Em alguns *sites* foram utilizados dados cinéticos em tabelas de velocidade de reação por concentração de reagentes e foi explicado o método de obtenção

da ordem de reação através do comportamento da velocidade de reação em relação a variação da concentração de reagentes;

3. Em alguns *sites* foram exemplificados alguns métodos experimentais utilizados na determinação de dados cinéticos.

No quadro 3 abaixo são mostrados quais abordagens foram utilizadas pelos *sites* que discutiram a lei de velocidade como uma lei empírica e quais *sites* correlacionaram a ordem de reação como um parâmetro obtido experimentalmente:

Quadro 3. Abordagens dos *sites* em relação à ordem de reação

<i>Site</i>	Apenas como parâmetro obtido experimentalmente	Comportamento da velocidade de reação em relação à variação da concentração	Uso de exemplo de obtenção da ordem de reação através de dados cinéticos	Exemplos de métodos para a obtenção de dados cinéticos
S1	X	X	X	-
S2	X	X	X	-
S3	X	X	X	-
S4	X	X	X	-
S7	X	X	X	X
S8	X	X	X	-
S9	X	X	-	-
S10	X	-	X	-
S11	X	X	-	X
S14	X	-	-	-
S15	X	X	-	-
S16	X	X	X	X
S17	X	-	-	-
S19	X	X	X	-
S20	X	-	-	-

Fonte. Desenvolvido pelo autor

Pelo fato da abordagem metodológica citada no item 2 englobar as mesmas discussões do item 1, ambas serão discutidas em conjunto, nas discussões dos *sites* em que foram detectados o uso de exemplo de obtenção da ordem de reação através de dados cinéticos (abordagem metodológica do item 2.).

Nos *sites* S1, S2, S3, S4, S7, S8, S10, S16 e S19 foram utilizados exemplos de obtenção da ordem de reação através de dados cinéticos em tabelas e adotados, basicamente, a mesma metodologia explicativa. A seguinte forma de abordagem foi observada: Nos *sites* eram apresentadas uma reação química global e uma tabela contendo dados cinéticos de velocidade de reação por concentração de reagentes.

Dentro deste conjunto de dados, havia sempre dois dados de velocidade de reação em que os respectivos dados de concentração, para um mesmo reagente, apresentavam valores de concentração constante.

Desta forma, a análise era feita sendo avaliada a ordem de variação da velocidade de reação, quando a concentração de um dos reagentes era alterada em proporções inteiras (dobrada, triplicada, quadruplicada, etc...) e os demais reagentes eram mantidos com a concentração constante. A mesma análise era feita para cada um dos reagentes e observando o efeito que a variação de cada reagente individualmente tinha sobre a variação da velocidade. Para fins de melhor compreensão da abordagem utilizada pelos *sites*, será demonstrado o exemplo abordado pelo *site* S1.

No *site* S1 foi explicado que a determinação da equação matemática (Lei de velocidade) que representa a variação da velocidade de uma reação com a concentração dos reagentes deve ser baseada somente em dados experimentais e foi citada a reação global $2A + 3B \rightarrow C$. Os seguintes dados cinéticos, com valores experimentais da variação da velocidade em termos da concentração dos reagentes, foram apresentados pelo *site* S1, conforme indicado na Tabela 2 abaixo:

Tabela 2. Tabela adaptada do *site* S1

	[A] mol/L	[B] mol/L	$v \frac{mol}{L \times min}$
Primeira experiência	0,3	0,1	0,5
Segunda experiência	0,6	0,1	1,0
Terceira Experiência	0,6	0,2	4,0

Fonte: Adaptado do *site* S1

Na sequência, foi citado pelo *site* S1 que a possível lei de velocidade baseada na reação global poderia ser o modelo $v = [A]^2[B]^3$ e explicou que este modelo é inadequado, pois a “equação de velocidade” deve ser deduzida dos dados experimentais.

No *site* S1, a lei de velocidade foi definida de forma genérica, no início de sua abordagem sobre Leis de velocidade, como sendo $v = [A]^X[B]^Y$ e, em analogia ao modelo genérico de Lei de velocidade, foi afirmado que os seguintes argumentos foram utilizados na determinação de X e Y:

1 – “Comparando a primeira experiência com a segunda, vemos que a concentração de B permaneceu constante enquanto que a concentração de A dobrou. Conseqüentemente, a velocidade da reação também dobrou” (*SITE S1*);

2 – “Comparando a segunda experiência com a terceira, vemos que a concentração de A permaneceu constante enquanto que a concentração de B dobrou. Conseqüentemente, a velocidade da reação quadruplicou” (*SITE S1*).

Baseado nestes dois argumentos, foram concluídos que a velocidade de reação varia com a primeira potência de [A] e com a segunda potência de [B] e o único modelo matemático que descreve esta Lei de velocidade é a equação $v = [A][B]^2$. A análise dos dados da Tabela 1 foi correta em termos matemáticos, mas não foi observada a indicação da temperatura em que estes dados foram obtidos. Nos *sites* S2, S4, S7, S8, S10 também não foi informada a temperatura relativa aos dados por eles apresentados.

Nos *sites* S9, S11 e S15 que somente foi adotada a metodologia de avaliação do comportamento da velocidade de reação em relação a variação da concentração (abordagem metodológica do item 2.), os argumentos que foram utilizados foram muito próximos aos argumentos descritivos adotados no *site S1* para a determinação das ordens de reação X e Y.

Porém as discussões não necessitaram partir de dados experimentais e apenas basearam-se no comportamento de variação dos reagentes e seus reflexos na variação da velocidade de reação. Para tornar mais nítida como foram feitas estas discussões, será abordado um exemplo genérico de discussão para uma reação química $A + B + C \rightarrow D + E$, e os possíveis comportamentos para a ordem de reação:

1. Caso a velocidade de reação dobre, quando a concentração de um dos reagentes é dobrada, mantendo-se constante a concentração dos demais reagentes, tem-se que esta reação é de 1º ordem em termos deste reagente;
2. Caso a velocidade de reação quadruplica, quando a concentração de um dos reagentes é dobrada, mantendo-se constante a concentração dos demais reagentes, tem-se que esta reação é de 2º ordem em termos deste reagente;

3. Caso a velocidade de reação mantenha-se constante, quando a concentração de um dos reagentes é dobrada, mantendo-se constante a concentração dos demais reagentes, tem-se que esta reação é de ordem zero em termos deste reagente;

Nos *sites* S7, S14 e S16 que foram adotados o uso de exemplos de métodos para a obtenção de dados cinéticos foi feitas as seguintes discussões:

- No *site* S7 foram utilizados modelos de equações diferenciais na abordagem da Lei de velocidade e foi citado o método de retirada de alíquotas e métodos instrumentais de análise, tais como absorvância, viscosidade, densidade, condutância elétrica como métodos de determinação de dados cinéticos;
- No *site* S14 somente foi citado que os expoentes sobre as concentrações dos reagentes são os coeficientes da Lei de velocidade e que esta “relação” é obtida experimentalmente;
- No *site* S16 foi discutido o método do isolamento como método experimental para obtenção de dados cinéticos e a determinação das ordens de reação.

Em termos de discussões, somente nos *sites* de domínio de Universidades públicas, S7 da USP e S16 da UFJF, foram observadas discussões que abrangessem as quatro abordagens apresentadas no Quadro 3 (concentração, temperatura, pressão, estado físico dos reagentes, superfície de contato e catalisadores). Nos demais *sites*, foram observadas falhas nas discussões conceituais que podem tornar-se obstáculos epistemológicos aos leitores destes conteúdos. Algumas observações serão pontuadas a fim de demonstrar que algumas discussões conceituais podem enriquecer a abordagem sobre o parâmetro cinético ordem de reação.

Os dados cinéticos de velocidade de reação por variação de concentração de reagentes são obtidos experimentalmente para uma determinada temperatura. Caso esta condição seja alterada, os dados obtidos modificam-se. Portanto, qualquer discussão de dados cinéticos, como os apresentados em tabelas pelos *sites* S1, S2, S3, S4, S7, S8, S10, S16 e S19 devem estar atreladas as indicações das condições físico-químicas, nas quais os experimentos foram realizados.

Como estas condições, muitas das vezes, está relacionado aos estados físicos dos reagentes, determinado parâmetro físico-químico pode ganhar maior relevância na determinação dos dados cinéticos. Por exemplo, nas reações em estado gasoso, as condições de análise dependem da temperatura e da pressão do sistema, enquanto em sistemas líquidos a temperatura possui maior relevância, enquanto a pressão possui pouca influência. Em alguns casos, o pH do meio reacional, em sistemas líquidos, pode também influenciar na medição dos dados cinéticos.

A discussão sobre os possíveis métodos utilizados na determinação de dados cinéticos, assim como a discussão sobre os parâmetros físico-químicos que são monitorados nestas medições (absorvância, pressão, condutividade elétrica, etc...) para serem traduzidos em informações que permitem a determinação dos parâmetros cinéticos da Lei de velocidade enriquecem a discussão conceitual sobre a ordem de reação e contribuem na formação do espírito científico do leitor do *site*.

A limitação da discussão apenas através da indicação de que a ordem de reação é obtida experimentalmente faz com que a abordagem deste parâmetro caia no senso comum e caracterize-se como um conhecimento a priori.

Uma discussão interessante e que não foi abordado nos *sites* pesquisados é a natureza numérica do parâmetro ordem de reação. As discussões sempre giram em torno de números inteiros (1º ordem, 2º ordem e ordem zero) e nunca se discute que este parâmetro pode ser descrito por um número fracionário (1/2, 2/3, etc...).

A limitação dos exemplos abordados a casos de 1º, 2º e ordem zero pode ocasionar um obstáculo epistemológico da generalização, uma vez que o leitor pode interpretar que todos os demais casos sempre irão cair em algum destas três ordens de reação.

O preço do uso de um matematismo simples como forma de simplificar a explicação teórica é sempre um obstáculo epistemológico da generalização. Muitas reações reais que tiveram seus dados cinéticos determinados experimentalmente possuem ordens de reação fracionárias e, portanto, há uma grande gama de exemplos que podem ser citados, com o objetivo de ampliar a visão de mundo do leitor do *site*.

5.2 RESULTADOS PARA O TÓPICO T2 - NO SITE É DISCUTIDA A CONSTANTE DE VELOCIDADE EM TERMOS DE:

O Quadro 4 mostra quais tópicos do tema constante de velocidade foram citados nos *sites* consultados, em que: A = Uma constante numérica, B = Um parâmetro obtido experimentalmente, C = Função da temperatura, D = Correlacionada com a Energia de ativação, E = Em termos da equação de Arrhenius, F = não discute.

Quadro 4. Resultados obtidos da análise dos 20 *sites* pelo Tópico T2

Site	A	B	C	D	E	F
S1	X	-	X	-	-	-
S2	X	-	X	-	-	-
S3	X	-	X	-	-	-
S4	X	-	X	-	-	-
S5	-	-	-	-	-	-
S6	X	-	X	-	-	-
S7	X	-	X	-	-	-
S8	X	-	-	-	-	-
S9	X	-	X	-	-	-
S10	X	-	X	X	X	-
S11	X	-	-	-	-	-
S12	-	-	-	-	-	-
S13	X	-	X	-	-	-
S14	X	-	X	-	-	-
S15	X	-	-	-	-	-
S16	X	X	X	X	X	-
S17	X	-	X	-	-	-
S18	-	-	-	-	-	-
S19	X	X	-	-	-	-
S20	X	-	-	-	-	-

Fonte: Desenvolvido pelo autor

Nos *sites* S8, S11, S15 e S20, que corresponderam a 20% dos *sites* pesquisados, a constante de velocidade foi discutida somente como uma constante numérica. Nos *sites* S1, S2, S3, S4, S6, S7, S9, S13, S14 e S17, que corresponderam a 50%, a constante de velocidade foi discutida em termos de uma constante numérica e função da temperatura.

No *site* S10, que correspondeu a 5%, a constante de velocidade foi discutida em termos de uma constante numérica, função da temperatura, correlacionada com a energia de ativação e em termos da equação de Arrhenius.

No *site* S16, que correspondeu a 5%, a constante foi discutida em termos de uma constante numérica, um parâmetro obtido experimentalmente, função da

temperatura, correlacionada com a energia de ativação e em termos da equação de Arrhenius.

No *site* S19, que correspondeu a 5% dos *sites* pesquisados, a constante de velocidade foi discutida em termos de uma constante numérica e um parâmetro obtido experimentalmente.

Os *sites* S5, S12, S18, que corresponderam a 15% dos *sites* pesquisados, não discutiram a constante de velocidade.

Individualmente, foram obtidas as seguintes discussões acerca da constante de velocidade:

No *site* S2, foi citado que a constante de velocidade é característica para uma determinada reação.

No *site* S3, foi citado que a constante de velocidade é um parâmetro que só depende do valor da temperatura.

No *site* S4 foi citado que cada reação possui sua constante de velocidade e que o valor deste parâmetro depende apenas da temperatura.

No *site* S6, foi citado que a constante de velocidade é específica para cada temperatura.

No *site* S7, foi citado que a constante de velocidade para uma reação entre reagentes A e B possui valor fixo para todas as concentrações de A e B a uma dada temperatura.

No *site* S8, foi citado que a constante de velocidade é característica de cada reação. Na terceira videoaula do *site* S8, foi citada que a constante de velocidade é uma constante de proporcionalidade da Lei de velocidade.

No *site* S9, foi citado que a constante de velocidade só depende da temperatura.

No *site* S10, foi discutido que a constante de velocidade pode depender de outros fatores, tais como a temperatura. No *site* S10, também foi discutido o uso da equação de Arrhenius para o cálculo da constante de velocidade, para uma determinada temperatura de interesse e, com isso, conseguiu correlacionar a constante de velocidade com a energia de ativação e a equação de Arrhenius.

Nos *sites* S11, apenas foi citado que a constante k é a constante de velocidade.

No *site* S13, foi citada que a constante de velocidade é uma constante de proporcionalidade e que o aumento de temperatura aumenta o valor da constante de velocidade.

No *site* S14, foi citada que a constante de velocidade é uma constante de proporcionalidade, específica para uma reação em uma determinada temperatura e que este valor modifica-se conforme a temperatura varia.

No *site* S14, também foi citado que as unidades da constante de velocidade dependem da soma dos expoentes do termo de concentração na expressão da lei de velocidade.

Nos *sites* S15, apenas foi citado que a constante k é a constante de velocidade.

No *site* S16, foi citado que a constante k é uma constante de proporcionalidade e é abordada a dependência da temperatura com a constante de velocidade através da equação empírica de Arrhenius.

No *site* S16, também foi citado que a lei de velocidade é determinada experimentalmente e citou que a constante de velocidade pode ser calculada após as ordens de reação ser determinadas experimentalmente.

No *site* S16, não foi citado diretamente que a constante de velocidade é determinada por métodos experimentais e, portanto, não se considerou discutida a constante de velocidade em termos experimentais.

No *site* S17, somente foi citado que k é a constante que depende da temperatura.

No *site* S19, somente foi citado que k é a constante de velocidade e que é determinada experimentalmente.

No *site* S20, foi citado que a constante de velocidade é derivada da determinação experimental das taxas de reação, porém não é mencionado diretamente que este parâmetro é determinado experimentalmente.

Estes resultados mostram que o *site* S16 foi o único, em que foram discutidas todas as correlações do Tópico T2. Este resultado era de certa forma esperado, uma vez que este material da Universidade Federal de Juiz de Fora provavelmente é voltado para um público-alvo do Ensino Superior, apesar desta informação não ter sido mencionada.

Era esperada que no *site* S7 de domínio da USP, tivesse sido detectada uma abordagem próxima da adotada pelo *site* S16, de domínio da UFJF, pelo fato do *site* S7 ser um material vinculado a uma Universidade Pública Estadual.

Estes resultados também indicam que no *site* S10 foi discutida a correlação entre a constante de velocidade com a temperatura e a energia de ativação, através da equação de Arrhenius. Porém, não foi discutido que a energia de ativação é sempre um valor fixo, independentemente da variação de temperatura e que o único fator possível de alterá-la é a presença de catalisador, que a modifica através da mudança do caminho reacional.

Também não foi discutido que a constante de velocidade, assim como o parâmetro ordem de reação, é obtida experimentalmente. Estas discussões trazem um enriquecimento conceitual na abordagem da constante de velocidade.

Para os demais *sites* que discutiram a constante de velocidade. Os resultados obtidos mostram que essa discussão foi concentrada em termos de uma constante numérica e como função da temperatura (*sites*: S1, S2, S3, S4, S6, S7, S9, S13, S14 e S17).

Em metade dos *sites* pesquisados, foram detectadas discussões que apenas mencionaram a relação entre a constante de velocidade e sua natureza como parâmetro matemático e como parâmetro dependente da temperatura, assim como também foram detectadas discussões, em que nos *sites*: S8, S11, S15 e S20, a constante de velocidade foi apenas mencionada como constante numérica.

Em relação ao parâmetro k , como constante matemática, a Lei de ação das massas de Guldberg e Waage (1864) estabelece uma relação de proporcionalidade entre a velocidade de reação e as concentrações de reagentes. Qualquer relação matemática de proporcionalidade, por exemplo, $A \sim B$, para ser transformada em uma igualdade matemática, deve ter uma constante inserida, após o sinal de igualdade, como forma de estabelecer uma relação de proporção entre as incógnitas A e B , transformando-se, portanto, em $A = kB$. Esta seria uma discussão interessante para abordar a constante de velocidade como constante numérica.

Em termos da constante como função da temperatura, é possível correlacioná-la com um exemplo abordado por Bachelard (1996), páginas 70 e 71, sobre como a generalização de uma discussão conceitual restringe o alcance de seu entendimento e como isto pode tornar-se um obstáculo epistemológico na aprendizagem. Bachelard (1996) cita que o pensamento do período pré-científico

tentou estabelecer “verdades absolutas” através de generalizações “bem colocadas” (Bachelard, 1996, pág. 70).

Por exemplo, no estabelecimento da lei gravitacional, o pensamento pré-científico estabeleceu que “todos os corpos caem”, e isto seria o suficiente para determinar a lei gravitacional. Bachelard (1996) aborda como é possível enriquecer conceitualmente uma discussão ao tomar como exemplo os experimentos em aulas de físicas sobre queda de corpos no vácuo, com ajuda de tubos de Newton. Estas experiências permitiram a elaboração de uma lei mais rica: “No vácuo, todos os corpos caem à mesma velocidade” (Bachelard, 1996, pág. 71).

Fica clara que a discussão da constante de velocidade apenas como função da temperatura, em analogia com a abordagem de Bachelard sobre a concepção pré-científica da gravitação, é uma discussão limitada e que pode tornar-se um obstáculo epistemológico para o leitor do *site*, uma vez que a discussão termina ao ficar estabelecido que a constante de velocidade é função da temperatura e ponto final.

Portanto, uma discussão mais rica sobre este parâmetro deve passar tanto pelas discussões em termos matemáticos, quanto em termos da sua natureza experimental, de sua relação matemática com a Lei de Arrhenius e da discussão de sua relação com a energia de ativação.

5.3 Resultados para o Tópico T3 – No site é abordada a relação entre mecanismos de reação com a ordem de reação e a equação de velocidade?

Nos *sites* S1, S3, S4, S8, S10, S16, S20 foi obtida a resposta SIM, o que correspondeu a 35 % dos *sites* pesquisados. As seguintes discussões conceituais foram identificadas para esse conjunto de *sites*:

No *site* S1, foi definido o conceito de mecanismo de reação e foi utilizado um exemplo, através da reação genérica $2A + B \rightarrow A_2B$, para diferenciá-la das etapas lenta ($A + A \rightarrow A_2$) e rápida ($A_2 + B \rightarrow A_2B$), de um mecanismo e foi citado diretamente o modelo da Lei de velocidade que a descreve ($v = k[A]^2$), sem ser aprofundadas as discussões sobre as etapas lenta e rápidas do mecanismo. Apesar da discussão incompleta, pode-se perceber a correlação do mecanismo com a ordem de reação.

No *site* S3, foi utilizado um exemplo com dados experimentais para explicar que a ordem de reação é obtida experimentalmente e, na sequência, foi abordado que o modelo da Lei de velocidade precisa ser explicado por um modelo de mecanismo de reação que o sustente. Então, foi utilizado um exemplo de mecanismo para abordar que a etapa lenta é a etapa determinante do processo e a correlação entre esta etapa do mecanismo de reação e ordem de reação.

No *site* S4, foi utilizada a mesma abordagem do *site* S3 na correlação entre mecanismo de reação e ordem de reação.

No *site* S8, foi utilizado o recurso de uma vídeo-aula, porém a mesma abordagem utilizada no *site* S3 para explicar a correlação entre mecanismo de reação e ordem de reação.

O *site* S10, é um material preparatório para o vestibular do ITA e neste *site* foi abordado de forma clara a relação entre o mecanismo de reação e a lei de velocidade. No *site* 10 também foi utilizada a resolução de exercícios para melhor elucidar esta relação.

No *site* S16, foi observada a correlação entre o mecanismo de reação e a ordem de reação com linguagem e nível de aprofundamento de nível de graduação e foi o *site* que melhor abordou este tópico.

No *site* S20, foi observada a definição descritiva e de forma correta entre a correlação do mecanismo de reação e da ordem de reação.

Estes resultados mostram que a grande maioria dos *sites* não discute a correlação entre mecanismo de reação e ordem de reação, e não aprofundam a questão do modelo da lei de velocidade, onde sua natureza empírica precisa ser corroborada por modelos teóricos que expliquem como as moléculas de reagentes convertem-se nas moléculas de produtos.

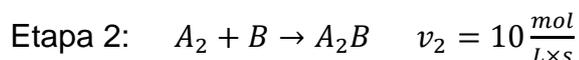
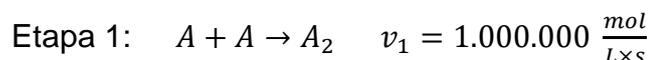
Nos *sites* S1, S3, S4, S8 e S10 foram observados o uso de exemplos de modelos de mecanismo de reação na explicação teórica da determinação da ordem de reação através das supostas etapas elementares e pela diferenciação entre a etapa lenta e determinante da reação em detrimento a etapa rápida. Porém, neste conjunto de *sites* não foram discutidos conceitos importantes como a molecularidade das reações envolvidas nas etapas elementares, ou ainda, que os mecanismos de reação são modelos teóricos, suposições que tentam explicar a realidade do que ocorre durante uma reação química.

Outro ponto observado foi às discussões sobre as etapas lenta e rápida de mecanismos de reação. Nos *sites* S1, S3, S4, S8 e S10 foram mencionadas que a etapa determinante é sempre a etapa mais lenta, o que é correto, mas não determinam quais foram às condições matemáticas necessárias para se chegar a esta aproximação. Novamente é observado o obstáculo epistemológico da generalização de uma regra, por meio de “verdades absolutas”.

Determina-se para este caso como verdade absoluta que a etapa lenta define a cinética da reação e ponto final, então o obstáculo epistemológico do conhecimento quantitativo surge para o leitor do *site* como uma segunda opção de dificuldade no entendimento conceitual do que é de fato a definição conceitual de uma etapa lenta.

Bachelard (1996, p 260) cita que: “como os obstáculos epistemológicos andam aos pares, até no reino da quantidade vemos opor-se um matematismo demasiado vago, a atração por um matematismo demasiado preciso”. Neste caso, a pouca discussão sobre as escalas dos valores para as velocidades de reação obtidas em cada etapa elementar do mecanismo de reação torna a regra: “a etapa determinante é sempre a etapa mais lenta”, uma lei pobre em termos de discussões matemáticas. Observe o seguinte exemplo para que este ponto de vista fique claro. Se no exemplo do *site* S1, o mecanismo da reação $2A + B \rightarrow A_2B$ fosse abordado desta forma:

Considere o seguinte mecanismo para a reação $2A + B \rightarrow A_2B$:



Observa-se que a velocidade da etapa 1 é cerca de 100 mil vezes maior do que a velocidade da etapa 2. Portanto, podemos considerar que a velocidade da etapa 1 ocorre muito mais rapidamente, quando comparada com a velocidade da etapa 2. Deste modo, a etapa 1 tem pouca influência na velocidade global, quando a comparamos com a etapa 2. Com isso, podemos desprezar a etapa 1 por considerá-la como uma etapa muito rápida do processo e considerar a etapa 2 como a etapa lenta e determinante da reação.

Observa-se no exemplo acima que a discussão quantitativa e explicativa em termos numéricos enriquece conceitualmente a definição de etapa lenta e mostraria com mais clareza ao leitor do *site* que a determinação da cinética por meio de mecanismos reacionais está atrelada ao quão veloz cada uma das etapas elementares se desenvolvem, além de mostrar que o conceito de lento é relativo e comparativo entre as reações elementares que compõem o mecanismo em análise.

Nos *sites* S16 e S20 foram apresentadas discussões mais aprofundadas e foram capazes de discutir conceitos como a molecularidade das etapas elementares e modelos cinéticos mais complexos, que envolvem intermediários ou reações reversíveis.

No *site* S16 foi discutido o mecanismo de reações reversíveis e discutida a relação entre as constantes cinéticas e a constante de equilíbrio.

No *site* S20 foram aprofundadas as discussões sobre o estado de transição, por meio da equação de Eyring e o estudo do Efeito do Isótopo na Cinética. No *site* S20, os modelos matemáticos que foram discutidos possuíam linguagem para um público-alvo em nível de graduação com uso de equações diferenciais.

Algumas discussões sobre mecanismo de reação teriam trazido um enriquecimento maior e uma maior conexão entre os tópicos estudados dentro de velocidade de reação. Por exemplo, os *sites* poderiam ter discutidos que na construção dos modelos de velocidade de reação deve-se levar em conta os dados experimentais.

Uma vez feito estudos cinéticos acerca de uma reação de interesse, discutidos os possíveis métodos experimentais em medidas cinéticas e obtidos os valores dos parâmetros ordem de reação, o modelo, ou modelos, de mecanismo são propostos e os valores do parâmetro ordem de reação teórica, obtida por este caminho, devem coincidir com os valores obtidos através dos dados cinéticos.

Desta forma, ficaria claro para o leitor do *site* que os dados cinéticos obtidos por métodos experimentais têm por objetivo ratificar o modelo, ou modelos, teóricos de mecanismo de reação.

Outras discussões conceituais sobre o conceito de mecanismo de reação a luz da epistemologia de Bachelard ampliam a visão de mundo sobre a ideia de modelo adotada nas ciências. Bachelard (1996, p 17) cita que: “O conhecimento do real é luz que sempre projeta algumas sombras. Nunca é imediato e pleno”. Bachelard completa este raciocínio com as seguintes afirmações: “As revelações do

real são sempre recorrentes”; “O real nunca é o que se poderia achar, mas é sempre o que se deveria ter pensado”. Fica nítida nas palavras de Bachelard que a construção do conhecimento é sempre recorrente após novos fatos que desconstróem um pensamento anteriormente elaborado.

Partindo-se desta premissa, uma abordagem mais enriquecedora do conceito de mecanismo seria mencionar que um mecanismo de reação nunca será uma verdade absoluta. “As informações cinéticas podem somente apoiar um mecanismo proposto. Elas não podem, nunca, provar que um mecanismo é correto” (ATKINS, 2006, pág. 595). O entendimento de que o mecanismo é um modelo que pode ser provisório e substituído por outros que possam estar mais próximos da realidade contribuem para a formação do espírito científico do leitor do *site*.

A discussão de que cada etapa elementar do mecanismo representa um evento distinto da forma como as moléculas ou espécies intermediárias colidem entre si, demonstram as possíveis modificações que ocorrem a nível molecular (ATKINS, 2006, pág. 595) e enriquecem as discussões a nível microscópico. Outra discussão interessante é mencionar que é uma convenção estabelecida o não uso de coeficientes estequiométricos nas reações elementares, assim como a não especificação dos estados físicos das espécies químicas envolvidas em cada etapa elementar do mecanismo de reação (ATKINS, 2006, pág. 596).

5.4 RESULTADOS PARA O TÓPICO T4 – NO SITE SÃO ABORDADOS QUAIS SÃO OS FATORES QUE AFETAM A VELOCIDADE DE REAÇÃO?

No Quadro 5 abaixo são mostrados quais fatores que afetam a velocidade de reação foram abordados pelos *sites*.

Quadro 5. Resultados obtidos da análise dos 20 *sites* pelo Tópico T4

<i>Site</i>	Concentração	Temperatura	Pressão	Estado físico dos reagentes	Superfície de contato	Catalisadores
S1	X	X	-	X	X	X
S2	X	X	X	-	X	X
S3	X	X	X	X	X	X
S4	X	X	-	-	X	X
S5	X	X	-	-	X	X
S6	X	X	-	-	X	X
S7	X	-	-	-	-	-
S8	X	X	-	-	X	X
S9	X	X	-	-	X	X
S10	X	X	-	-	-	-
S11	X	X	-	-	X	X
S12	X	X	X	-	X	X
S13	X	X	-	-	-	-
S14	X	X	X	-	-	X
S15	X	X	X	-	X	X
S16	-	-	-	-	-	X
S17	X	X	X	-	X	X
S18	X	X	X	-	X	X
S19	X	X	X	-	X	X
S20	X	X	X	X	X	X

Fonte: Desenvolvido pelo autor

A escolha dos fatores que afetam a velocidade de reação que foram avaliados pelo tópico T4 baseou-se na metodologia utilizada pelo livro L2. O único *site* em que foram detectados todos os fatores abordados pelo tópico T4 foi o S3. Outro resultado interessante, diz respeito a abordagem do fator estado físico dos reagentes. Apenas nos *sites* S1, S3 e S20, que correspondem a 15%, foi abordado este fator sobre esta perspectiva, enquanto na grande maioria foram abordados em termos da pressão, para sistemas gasosos, e superfície de contato, para sistemas sólidos.

Praticamente em quase todos os *sites* foram encontradas discussões sobre a concentração, com exceção do *site* S16, e a temperatura, com exceções dos *sites* S7 e S16. O *site* S7, de domínio da USP, não abordou um tópico sobre fatores que afetam a velocidade de reação. Porém, mencionou que a concentração afeta a velocidade, ao discutir a construção do modelo de Lei de velocidade. No *site* S16, de domínio da UFJF, também não foi abordado o tópico fatores que afetam a velocidade de reação, porém abordou um tópico sobre catalisadores e mencionou que eles afetam a velocidade de reação.

Em relação a concentração, no *site* S16 foi mencionado que “A velocidade pode depender da concentração das espécies intermediárias ou catalisadores (*SITE*

S16)”, e foi considerado que no *site* S16 o fator concentração não foi abordado, uma vez que não foi citada diretamente esta relação, assim como foi citada no *site* S7.

Nos *sites* S4, S5, S6, S8, S9 e S11, que corresponderam a 30% dos *sites* pesquisados, discutiram os fatores Concentração, Temperatura, Superfície de contato e Catalisadores. Outro fator interessante é em relação às discussões acerca da pressão e da superfície de contato. Estes dois fatores estão dentro do estado físico dos reagentes. Contudo foi observado que apenas nos *sites* S2, S3, S12, S14, S15, S17, S18, S19 e S20 foram discutidos o fator pressão (45%), enquanto os *sites* S1, S2, S3, S4, S5, S6, S8, S9, S11, S12, S15, S17, S18, S19 e S20 discutiram a superfície de contato (75%).

Alguns resultados interessantes foram observados, tais como a abordagem de outros fatores que afetam a velocidade de reação, além daqueles que foram investigados e que não foram analisadas pelo tópico T4. No *site* S3, foram mencionados que a eletricidade e a luz são fatores que interferem em reações específicas. Não foram citados exemplos destes tipos de reação.

De forma análoga, no *site* S15 foi citado que a presença de luz é um fator que pode acelerar a velocidade de reação. No *site* S18 foi citado que algumas reações químicas na presença de luz ocorrem mais rapidamente.

No *site* S8, foram abordados os fatores que afetam a velocidade de reação, por meio de vídeo-aula e o conteúdo escrito não apresentou discussões.

Nos *sites* S3, S18, S19 e S20 foi citado que a natureza dos reagentes é um fator que afeta a velocidade de reação. A discussão foi relacionada com o número de ligações químicas que as espécies químicas de reagentes podem possuir. Quanto maior a quantidade de ligações e quanto mais forte estas forem, mais difícil será quebrá-las e, portanto, mais lenta será a reação.

No *site* S20 também foi citado a presença de inibidores, como um fator que desacelera a velocidade de reação. As discussões sobre a presença de inibidores foi feita em comparação ao papel oposto dos catalisadores. No caso dos inibidores, estes atuam na diminuição da velocidade das reações por meio do aumento da energia de ativação necessária para a reação se iniciar.

5.5 RESULTADOS PARA O TÓPICO T5 – NO SITE É DEIXADO DE ABORDAR ALGUM TÓPICO DO TEMA VELOCIDADE DE REAÇÃO?

No Quadro 6 abaixo são mostrados quais tópicos do tema Velocidade de reação deixaram de ser abordados nos *sites* consultados, em que: A = Não deixa, B = Lei de velocidade, C = Ordem de reação, D = Constante de velocidade, E = Teoria das colisões, F = Molecularidade, G = Energia de ativação, H = Mecanismos de reação e I = Fatores que afetam a velocidade de reação.

Quadro 6. Resultados obtidos da análise dos 20 *sites* pelo Tópico T5

Site	A	B	C	D	E	F	G	H	I
S1	-	-	-	-	-	X	-	-	-
S2	-	-	-	-	-	X	-	X	-
S3	-	-	-	-	-	X	-	-	-
S4	-	-	-	-	X	-	X	-	-
S5	-	X	X	X	-	X	-	X	-
S6	-	-	-	-	-	X	-	X	-
S7	-	-	-	-	X	-	X	-	X
S8	-	-	-	-	-	X	-	X	-
S9	-	-	-	-	X	-	-	-	-
S10	X	-	-	-	-	-	-	-	-
S11	-	-	-	-	-	X	-	X	-
S12	-	X	X	X	X	X	X	X	-
S13	-	-	X	-	-	X	-	X	X
S14	-	-	-	-	X	X	-	X	-
S15	X	-	-	-	-	-	-	-	-
S16	-	-	-	-	-	-	-	-	X
S17	-	-	-	-	-	X	-	X	-
S18	-	X	X	X	X	X	X	X	-
S19	-	-	-	-	X	X	X	X	-
S20	X	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Desenvolvido pelo autor

Nos *sites* S1, S2, S3, S5, S6, S8, S11, S12, S13, S14, S17, S18 e S19, que corresponderam a 65%, não foram observadas discussões sobre o tópico molecularidade. Além disso, este foi o tópico menos discutido entre os *sites* pesquisados. Nos *sites* S2, S5, S6, S8, S11, S12, S13, S14, S17, S18 e S19 que corresponderam a 55%, não foram observadas discussões acerca do tópico mecanismo de reação que correspondeu ao segundo tópico menos discutido pelos *sites*.

Nos *sites* S4, S7, S9, S10, S16 e S20 a discussão acerca da molecularidade foi feita, em termos gerais, através da discussão conceitual de que a molecularidade de uma reação é o número de espécies que reagem em uma determinada etapa

elementar. Ou seja, unimolecular quando envolve uma molécula, bimolecular quando envolve duas moléculas, trimolecular quando envolve três moléculas e assim sucessivamente. Obviamente ocorreram algumas variações dentro destas abordagens.

Por exemplo, no *site* S7 foi definida a molecularidade como “o número de moléculas ou íons que participam da etapa determinante da reação” (*SITE* S7), enquanto no *site* S20 foi definida que “a molecularidade é o número de moléculas que tomam parte como reativos em uma reação elementar. Dependendo do número de moléculas que participam, se classificam: Unimoleculares – participa uma molécula; Bimoleculares – participam duas moléculas; Trimoleculares – participam três moléculas, improvável do ponto de vista probabilístico” (*SITE* S20). Em termos gerais, essas abordagens mencionaram que a molecularidade é o número de espécies nos reagentes que participam da reação, seja da etapa determinante ou alguma etapa lenta.

A molecularidade é um conceito importante no estudo sobre mecanismos de reação e está presente no entendimento sobre a relação das ordens de reação com a etapa lenta do mecanismo. Para sua compreensão também é necessário o entendimento do conceito de reação elementar dentro de um mecanismo de reação.

O Livro L1 define que qualquer mecanismo de reação é formado por um conjunto de reações, em que cada uma destas é definida como uma reação elementar. Cada etapa elementar descreve um evento de como as espécies químicas envolvidas interagem, por meio de colisões.

O conceito de molecularidade está diretamente relacionado à quantidade de espécies reagentes presentes em cada uma destas etapas elementares. Para ser mais específico, o Livro L1 define molecularidade como “o número de espécies envolvidas em uma reação elementar específica” (ROZEMBERG, 2022, pág. 595). Desta forma, o conceito de molecularidade é correlacionado as etapas elementares, de forma mais clara.

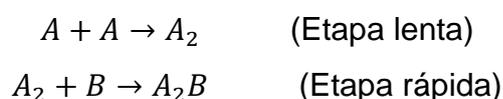
Em termos da reação global, a definição de molecularidade se dá baseada na etapa determinante. Algumas literaturas trazem esta definição de forma mais clara. Por exemplo, Lathan (1974), define que a molecularidade de uma reação química é o número de moléculas ou íons que participam da etapa determinante da velocidade (etapa lenta).

A abordagem dos conceitos de molecularidade torna-se mais enriquecedora quando são discutidas em conjunto com os conceitos de reação elementar e mecanismo de reação. Desta forma, fica mais claro para o leitor que a molecularidade estabelece o número de espécies químicas envolvidas nas etapas elementares do mecanismo, principalmente a etapa determinante da reação (Etapa lenta).

Além disso, também fica nítida que a ordem de reação da reação global é diretamente relacionada com a molecularidade da etapa lenta, por meio da interpretação do significado da ordem em termos de espécies químicas envolvidas nesta etapa.

Suponha o seguinte exemplo que ilustra como a abordagem do conceito de molecularidade relacionada com os conceitos de reação elementar, mecanismo de reação e ordem de reação enriquecem a explicação conceitual.

Suponha o seguinte exemplo bem simples de mecanismo para a reação genérica $2A + B \rightarrow A_2B$:



A reação $2A + B \rightarrow A_2B$ possui duas reações elementares em seu mecanismo. A molecularidade da reação elementar da etapa lenta é bimolecular, pois há a participação de duas moléculas e a molecularidade da reação elementar da etapa rápida também é bimolecular, pois há a participação das espécies A_2 e B.

A molecularidade da reação global $2A + B \rightarrow A_2B$ é determinada pela etapa lenta do mecanismo, e, portanto, é bimolecular, em função da espécie A. Caso a Lei de velocidade desta reação, dada por $v = k[A]^2$, tivesse sido obtida por dados experimentais, a ordem de reação poderia ser interpretada em termos da molecularidade.

A molecularidade é uma grandeza teórica que necessita do conhecimento do mecanismo de reação, porém a ordem de reação pode fornecer informações acerca da etapa determinante. A 2^o (segunda) ordem do reagente A indica que duas moléculas do reagente A participam da etapa lenta da reação. A ordem zero do reagente indica que este não possui participação ativa na cinética da reação. Qualquer alteração de B resulta em modificações desprezíveis na cinética da

reação, quando comparado com as alterações de A. Isto ocorre porque B somente participa da etapa rápida da reação.

Nos *sites* S4, S7, S9, S12, S14, S18 e S19, que corresponderam a 35%, não foram detectadas discussões acerca do tópico teoria das colisões. Nos *sites* S4, S7, S12, S18 e S19, que corresponderam a 25%, não foram encontradas discussões acerca do tópico energia de ativação.

Nos *sites* S1, S2, S3, o conceito de teoria das colisões teve a mesma abordagem e foi discutido em termos de que as reações químicas ocorrem por meio de choques entre as partículas de reagentes e foram abordados os possíveis tipos de choques, efetivos e não efetivos, que podem ocorrer.

Em síntese, o conceito de colisões adotado por estes *sites* estabeleceu que para a ocorrência de uma reação química é necessário uma colisão entre as partículas de reagentes com orientação espacial favorável, energia suficiente e capaz de romper as ligações entre as moléculas de reagentes e formação de novas moléculas nos produtos. Este tipo de colisão é uma colisão efetiva e a condição para que ela aconteça é que as moléculas de reagentes possuam este mínimo de energia chamado de energia de ativação.

Portanto, é possível observar que uma abordagem do tópico Teoria das colisões torna-se mais esclarecedora quando são abordadas em conjunto com o conceito de energia de ativação e através de discussão da construção do modelo a nível atômico da teoria das colisões.

Nesta abordagem em que as moléculas são aproximadas a partículas sólidas, bolas de bilhar, por exemplo, em detrimento aos modelos atômicos mais atuais, é preciso esclarecer ao leitor que esta extrapolação de modelo atômico é feita apenas para facilitar o entendimento do conceito de colisão e que os modelos atômicos atuais sobre a realidade de átomos e moléculas se distanciam da concepção de modelo atômico de Dalton.

Também é importante a discussão da teoria das colisões como modelo dependente da temperatura, uma vez que a energia cinética das moléculas está diretamente relacionada com a temperatura do sistema. Quanto maior a temperatura de um sistema, maior será o grau de agitação das espécies presentes, átomos, moléculas ou íons, e, portanto, maior será a probabilidade destas espécies colidirem de forma efetiva.

O estudo do tópico teoria das colisões tem relevância no entendimento de como as moléculas interagem a nível molecular, por meio de colisões que ocorrem durante a reação e os possíveis intermediários de reação que podem ser formados nas etapas elementares do mecanismo de reação. Em termos gerais, a teoria das colisões é um modelo que explica como a reação química ocorre e sua dependência com a energia de ativação e a temperatura do sistema.

Em relação à lei de velocidade e seus parâmetros cinéticos, apenas nos *sites* S12 e S18 não foram discutidas a lei de velocidade, assim como nos *sites* S12, S13 e S18 não foi discutido o parâmetro ordem de reação e também nos dois *sites* S12 e S18 não foi discutido o parâmetro constante de velocidade.

No *site* S12, apenas parte de seu conteúdo está disponibilizado e o acesso ao conteúdo completo só pode ser feito por meio de pagamento para assinatura do *site*.

No *site* S13, apenas é citada a lei de velocidade e o parâmetro constante de velocidade. No *site* S18, é discutida apenas a velocidade média.

As discussões sobre como foram abordados a lei de velocidade e seus parâmetros cinéticos já foram feitas nas discussões dos tópicos T1 e T2.

Nos *sites* S2, S5, S6, S8, S11, S12, S13, S14, S17, S18 e S19, que corresponderam a 55%, não foram observadas discussões acerca do tópico mecanismo de reação.

As abordagens conceituais de mecanismo de reação que foram discutidos pelos *sites* apresentaram três caminhos metodológicos possíveis, sendo estes:

- 1 – Apresentação conceitual da definição de mecanismo de reação e apresentação de exemplos de possíveis mecanismos;
- 2 – Apenas a apresentação conceitual da definição de mecanismo de reação;
- 3 – Apenas a abordagem de exemplos de mecanismos de reação.

A seguinte definição de mecanismo de reação foi utilizada por praticamente todos os *sites*: “Mecanismo de reação é uma sequencia de reações em etapas que transformam os reagentes em produtos. Dentro deste conjunto, existem etapas que são lentas e etapas que são rápidas”.

Nos *sites* S1, S4, S10, S16 e S20, foi utilizado o caminho metodológico 1, no *site* S9 foi utilizado o caminho metodológico 2 e nos *sites* S2, S7 e S15 foi utilizado o caminho metodológico 3. No *site* S7, de domínio da USP, era esperada uma

discussão conceitual mais formal de mecanismo de reação, uma vez que o conteúdo deste *site* é claramente voltado para estudantes de graduação.

As discussões sobre como tornar mais enriquecedora a abordagem do tópico mecanismo de reação já foram feitas nas discussões do tópico T3.

5.6 RESULTADOS PARA O TÓPICO T6 – NO SITE É FEITA ALGUMA CORRELAÇÃO ENTRE A TERMODINÂMICA E OS CONCEITOS ESTUDADOS EM VELOCIDADE DE REAÇÃO?

Somente nos *sites* S16, S18 e S20, que corresponderam a 15%, foram encontradas discussões que correlacionassem a questão central do estudo da termodinâmica com a questão central da Cinética química. Esperava-se com este tópico que nos *sites* fosse feito um paralelo entre os campos de atuação da termodinâmica e da cinética química com a discussão de que a termodinâmica se preocupa em fazer previsões se determinada reação ou processo químico é favorável a ocorrer, porém que ela não é capaz de prever em quanto tempo estas reações ou processos químicos ocorreriam, cabendo à Cinética química, em especial ao tópico sobre velocidades de reação, fazer previsões sobre o tempo que estes processos ocorrem.

Este resultado também revelam as dificuldades de serem feitas, pela grande maioria dos *sites*, correlações entre os conteúdos de velocidade de reação com outros tópicos da química. As correções entre o tema velocidade de reação e outros tópicos da química enriquecem as discussões e contribuem para que os leitores destes *sites* consigam ter uma visão mais ampla de que as divisões da química em tópicos são feitas para facilitar a aprendizagem, mas que de fato os conhecimentos da química estão interligados.

Em analogia com os possíveis obstáculos definidos por Bachelard (1996), as correlações entre os conceitos estudados em velocidade de reação e outros tópicos da química devem ser feitas de forma a não cair em algum dos casos de obstáculos descritos por Bachelard, em que correlações conceituais eram mal elaboradas pelo pensamento pré-científico, através de imagens generalizadas ou uso de um único termo para definir um amplo conjunto de conceitos pela substancialização.

No Livro L1, na discussão inicial do capítulo de cinética química, é feita uma correlação entre velocidade de reação e termodinâmica que contribui para o leitor

situar o campo de estudo destes dois tópicos, além de serem feitas discussões de que os conhecimentos de teoria dos gases e equilíbrio químico são relevantes para o entendimento dos conceitos de Cinética química.

Dessa forma, fica clara a importância da correlação entre termodinâmica e velocidade de reação e, portanto, recomenda-se que esta correlação seja feita pelos autores de *sites* como uma forma de enriquecer a abordagem conceitual e ampliar a visão global do leitor do *site* sobre o escopo de estudo da termodinâmica e qual a contribuição dos conceitos de velocidade de reação no estudo da transformação da matéria.

5.7 RESULTADOS PARA O TÓPICO T7 – NO SITE É FEITO USO DE RECURSOS VISUAIS QUE FACILITEM A COMPREENSÃO DO ESTUDANTE COM O CONTEÚDO VELOCIDADE DE REAÇÃO E QUE POSSA FACILITAR A APRENDIZAGEM DO TEMA?

O Quadro 7 abaixo mostra quais recursos visuais foram identificados nos *sites* consultados:

Quadro 7. Resultados obtidos da análise dos 20 *sites* pelo Tópico T7

Site	Recurso visual					
	Figuras, desenhos e ilustrações	Vídeos	Áudios	Fotos de exemplos reais	Gráficos	Não utiliza
S1	X	X	-	-	X	-
S2	X	-	-	-	X	-
S3	X	X	X	X	X	-
S4	X	-	-	X	X	-
S5	X	-	-	X	X	-
S6	X	-	-	-	X	-
S7	-	-	-	-	X	-
S8	-	X	-	X	X	-
S9	-	-	-	-	-	X
S10	-	-	-	-	X	-
S11	-	X	-	-	X	-
S12	-	-	-	-	-	-
S13	X	-	-	-	X	-
S14	X	-	-	X	X	-
S15	X	-	-	X	X	-
S16	X	-	-	-	X	-
S17	-	X	-	X	-	-
S18	-	-	-	-	-	X
S19	X	-	-	X	X	-
S20	X	-	-	-	X	-

Fonte: Desenvolvido pelo autor

Muitos autores relatam a importância do uso de recursos visuais, tais como figuras, desenhos, ilustrações e fotos reais no ensino de temas científicos, em especial na sua utilização como recurso para explicações conceituais e modelos científicos. Segundo Maia e Schimin (2007), a utilização da imagem, como recurso visual explicativo, tem a capacidade de funcionar como um elemento interativo entre a linguagem escrita e os indivíduos, que exerce influência direta nos sentidos produzidos por eles. Porém, ressalta-se que a imagem não é capaz de traduzir a palavra, mas sim a ideia por trás dela, assim como a palavra quando descreve uma imagem, não é capaz de desvendar seu real valor.

No que tange aos recursos de áudio e áudio-visuais, alguns autores ressaltam sua importância no processo de despertar nos estudantes em geral ou nos leitores de conteúdos científicos, um maior interesse por este campo de estudo. Segundo Arroio e Giordan (2006), a utilização de recursos áudio-visuais, tais como vídeo-aulas, desempenha um papel informativo único, quando é necessário a combinação de elementos auditivos (explicação oral) e visuais (imagens) para que a informação seja melhor compreendida.

Estes recursos também podem ser utilizados como complementares aos conteúdos disponibilizados por *sites* apenas na forma escrita, pois reforçam os conteúdos já lidos pelos leitores dos *sites*.

Além disso, o recurso áudio-visual, como linguagem, possui sua força na capacidade de transmitir mais informações do que o usuário é capaz de captar (GUTIERREZ, 1974 APUD ARROIO E GIORDAN, 2006), além de ser capaz de mexer com o sensorial, o afetivo e as emoções do leitor do *site*, que contribuirão para que ele tenha maior interesse e estímulo pelo assunto abordado, e aprender por meio dos estímulos dos sentidos, e não somente pelas argumentações conceituais no campo racional do usuário (ARROIO E GIORDAN, 2006).

Um bom conteúdo em uma vídeo-aula pode contribuir para a compreensão conceitual de um novo assunto, além de ser veículo incentivador para que o usuário deste conteúdo procure outros meios de aprofundar o tema (FÉRRES, 1996).

As referências citadas ratificam a importância da análise feita pelo tópico T7 acerca da utilização de recursos visuais, de áudio e de áudio-visuais por *sites* que abordem o tema velocidade de reação, como recurso as abordagens conceituais. A utilização destes recursos traz um enriquecimento em termos didáticos e permitem

uma melhor interação entre os leitores e os conteúdos dos *sites*, o que contribui para a construção do conhecimento.

O uso destes recursos deve estar atrelado ao uso correto da linguagem química e ao uso correto dos conceitos estabelecidos na literatura acadêmica e científica acerca do tema velocidade de reação, para que não reproduzam os conhecimentos do senso comum ou para que conceitos apresentados por *sites* não se tornem possíveis obstáculos epistemológicos e, dessa forma, prejudiquem a construção do conhecimento sobre velocidade de reação pelos leitores de *sites*.

Da análise do quadro 7, observa-se que somente nos *sites* S9, S12, S17 e S18 não foram utilizados o recurso de gráfico. Portanto, o percentual de *sites* que utilizaram estes recursos correspondeu a 80%. Em termos gerais, o uso de gráficos foi o recurso visual mais utilizado e este resultado já era esperado.

Da análise dos Livros L1 e L2, observou-se o uso de gráficos em várias partes da abordagem conceitual. De forma análoga, foi observado o uso de gráficos nos *sites*, que em termos gerais, foram utilizados para descrever os comportamentos de concentração de reagentes por tempo e energia potencial por coordenada de reação, para explicar a energia de ativação.

Nos *sites* S1, S2, S3, S4, S5, S6, S13, S14, S15, S16, S19 e S20, que corresponderam a 60%, o uso de Figuras, desenhos e ilustrações foi detectado. O uso deste recurso pelos *sites*, em termos gerais, deu-se através de imagens de moléculas, conforme modelo atômico de Dalton, em diferentes contextos, tais como na explicação da teoria das colisões, na explicação da formação do complexo ativado, na explicação do comportamento cinético das moléculas e na explicação de algumas reações químicas.

Imagens ilustrativas de reações químicas em vidrarias laboratoriais também foram identificadas para explicar o fator superfície de contato na influência da velocidade de reação. Todas as figuras, desenhos e ilustrações identificados nos *sites* foram utilizados como recurso didático explicativo aos conceitos.

A grande dificuldade de se utilizar recursos visuais, tais como figuras, desenhos e ilustrações para descrever os conhecimentos químicos presente na dimensão microscópica do triângulo de Johnstone (1993) estão no fato de que estes recursos não conseguem traduzir, em termos visuais, o que realmente ocorre a nível subatômico com átomos, moléculas e íons. As teorias da mecânica ondulatória proposta em 1924 trouxeram uma nova concepção sobre o comportamento atômico,

em que estas espécies químicas (átomos, moléculas e íons) são mais bem compreendidas em termos de seu comportamento como onda do que como partícula.

Outras teorias atômicas como as descritas pela mecânica quântica, em que tanto os elétrons, como prótons e neutros passaram a ser entendidos como entidades que possuem suas energias de forma quantizada em níveis discretos tornaram os modelos atômicos dos primeiros atomistas gregos e os modelos atômicos de Danton em desuso.

Por outro lado, o modelo de Dalton ainda é utilizado em explicações teóricas como na teoria das colisões e nas explicações dos modelos de cinética dos gases. Também é possível a utilização do modelo atômico de Dalton em explicações da superfície de contato como fator que acelera a velocidade de reação, em sistemas sólidos.

Em todos estes casos, é possível observar, conforme citado por Bachelard, que a reformulação de um conhecimento não acarreta na destruição dos conceitos anteriormente estabelecidos como conhecimentos válidos (LOPES, 1996).

A utilização das figuras, desenhos e ilustrações pelos *sítes* tornar-se-iam mais enriquecedoras se fossem discutidos que a utilização dos modelos de átomos, moléculas e íons, em formato de esferas rígidas, adotada tanto pela teoria das colisões quanto em outros contextos explicativos, baseiam-se na ideia de modelo atômico de Dalton e são utilizadas devido à impossibilidade de serem adotadas outras modelagens capazes de descrever os comportamentos de partículas subatômicas conforme as teorias atômicas mais atuais, baseadas na mecânica quântica.

A própria teoria das colisões parte da premissa que “as moléculas se comportam como bolas de bilhar defeituosas” (ATKINS, 2006, pág. 606). Neste modelo, observa-se que o modelo adotado para as moléculas se aproxima do modelo de átomo adotado por Dalton.

Nos *sítes* S1, S3, S8, S11 e S17, o uso do recurso audiovisual no formato de vídeo foi detectado nas abordagens conceituais de velocidade de reação, que corresponderam a 25% dos *sítes* pesquisados. Nos cinco *sítes* identificados, os recursos de vídeo disponibilizados também permitiam a abertura do vídeo em uma nova aba com o vídeo disponível no *site* do *YouTube*. Todos os vídeos

disponibilizados possuíam a estrutura de vídeo-aula com conteúdos voltados para a preparação de vestibular/ENEM.

Nos *sites* S3, S4, S5, S8, S14, S15, S17 e S19, o uso de fotos de exemplos reais foi detectado, que corresponderam a 40% dos *sites* analisados. Em termos gerais, foram utilizadas nos *sites* fotos da observação macroscópicas de reações químicas, como mudanças de cor, de processos de solubilização em meio aquoso, aplicações gerais dos conceitos de cinética química em objetos criados pelo homem, fenômenos da natureza. As abordagens seguiram três observações principais:

- 1 – Uso aleatório da foto sem afirmações do senso-comum ou explicações teóricas;
- 2 – Uso das fotos com afirmações do senso-comum, sem explicações teóricas;
- 3 – Uso das fotos com explicações teóricas acerca do fenômeno expressado pela imagem.

Nos *sites* S5 e S15, a utilização de fotos foi feita de forma aleatória e sem uso de afirmações do senso-comum acerca da imagem da foto expressa.

Nos *sites* S8, S15 a utilização de fotos foi feita com afirmações do senso-comum acerca do que a imagem da foto expressa. Como exemplos, no *site* S8 foram utilizados três imagens: detonação de um explosivo, formação de ferrugem em peças de ferro e formação do petróleo. Acerca destas três imagens foi afirmado que a detonação do explosivo ocorre de forma instantânea, que a formação da ferrugem ocorre lentamente e que a formação do petróleo leva milhões de anos.

Nos *sites* S4 e S19, a utilização de fotos utilizou-se de explicações teóricas sobre o que a imagem da foto expressa.

No *site* S3, foram observados os três casos de utilização de fotos. Tanto sua utilização de forma aleatória, como também com a utilização de afirmações do senso-comum e explicações teóricas sobre o que a imagem da foto expressa.

5.8 RESULTADOS PARA O TÓPICO T8 – NO SITE É FEITO USO DE EXEMPLOS PRÁTICOS E COTIDIANOS SOBRE O TEMA VELOCIDADE DE REAÇÃO, UTILIZANDO-SE DE EXEMPLOS SOBRE A APLICAÇÃO DO TEMA NAS INDÚSTRIAS, NA VIDA DOMÉSTICA, NA SAÚDE, NA ECONOMIA, ETC;

Nos *sites* S1, S3, S4, S5, S6, S8, S11, S14, S15, S17 e S19, que corresponderam a 55%, foram observados pelo menos um exemplo prático ou cotidiano acerca da aplicação dos conceitos de velocidade de reação. Em termos gerais, nos *sites* que citaram exemplos práticos, foram utilizados exemplos genéricos de aplicações nas indústrias, na medicina, etc. Porém não foram discutidos de fato como os conceitos de velocidade de reação se encaixam nestas aplicações.

Segundo Bachelard (1996) a ciência do período pré-científico e muitos livros escritos nesta época recorriam aos conhecimentos do senso-comum e traziam abordagens inseridas da vida cotidiana do século XVIII, nas explicações científicas. Muitas destas abordagens utilizadas foram caracterizadas por Bachelard como obstáculos epistemológicos.

É claro, que a ciência daquela época não possuía os conhecimentos que a humanidade possui atualmente, mas a questão central permanece a mesma: “O espírito científico deve forma-se enquanto se reforma” (BACHELARD, 1996. p. 29). A busca pela verdade sempre foi o objetivo central da ciência, mesmo que seus modelos científicos consigam, provisoriamente, explicar um fenômeno e sejam substituídos por outros mais próximos da realidade.

De fato, esperava-se com o tópico T8 que, nos *sites* analisados, fossem citados exemplos sobre como a velocidade de reação pode estar inserida no cotidiano e em aplicações práticas reais (Indústria, economia, meio ambiente, etc...), porém esperava-se que estes exemplos fenomenológicos (Porque o ferro enferruja lentamente?), porque um comprimido de antiácido dissolve mais lentamente do que a mesma quantidade deste em forma de pó?, etc...) fossem conectados as explicações teóricas do porquê destes fenômenos possuírem comportamentos cinéticos específicos, baseadas em uma discussão mais profunda e mais afastada do senso comum ou da simples observação a nível macroscópico.

A citação apenas dos fenômenos como exemplos de processos lentos e rápidos não fez evoluir o conhecimento científico e os obstáculos do senso comum ainda permanecem na abordagem dos exemplos citados. Além disso, as abordagens dos *sites* aproximam-se muito das abordagens da ciência pré-científica criticada por Bachelard na obra a formação do espírito científico e apresentam as mesmas naturezas de conhecimentos a priori.

Os exemplos práticos e cotidianos citados pelos *sites* tornar-se-iam mais enriquecedores e sairiam do senso-comum se fossem feitas com explicações teóricas dentro do escopo de estudo da velocidade de reação.

Por exemplo, nos *sites* ao citarem a aplicação da velocidade de reação nas indústrias químicas, poderia apresentar um processo químico e abordar as reações envolvidas e as cinéticas por trás destes. Poderiam ser desenvolvidos os conceitos de velocidade de reação, abordadas as leis de velocidade das etapas do processo químico a partir de um exemplo real aplicado nas indústrias.

Outra abordagem possível é a explicação do conceito de superfície de contato dentro de fatores que afetam a velocidade de reação, a partir do exemplo da formação da ferrugem do ferro. Neste caso é possível explorar o exemplo da formação da ferrugem, a partir de uma abordagem mais complexa, através da demonstração da equação química de formação da ferrugem, $2Fe(s) + \frac{3}{4}O_2(g) + 3H_2O(l) \rightarrow 2Fe(OH)_3(s)$, e através da explicação de que o aumento da área superficial de uma estrutura de ferro permite uma maior possibilidade de ocorrer a reação de oxidação entre ferro e oxigênio.

5.9 RESULTADOS PARA O TÓPICO T9 – NO SITE É ABORDADO O ASSUNTO VELOCIDADE DE REAÇÃO COM LINGUAGEM APROPRIADA DA QUÍMICA?

Nos *sites* S1, S3, S4, S5, S8, S12, S13, S14, 17 e S18, foram identificados usos de linguagem inadequada, tanto verbal, quanto simbólica da química. No *site* S1 foi detectado um erro de notação, na forma como a equação da Velocidade de reação foi escrita, sem que as ordens de reação estivessem em sobrescrito.

Também foram detectadas reações de um mecanismo de reação em que os índices que expressam o número de átomos da molécula não foram escritos em subscrito. Ambos os casos podem funcionar como obstáculos epistemológicos e levar o leitor a uma interpretação conceitual inadequada.

A Figura 3 mostra um trecho do *site* S1 que apresenta o modelo de Velocidade de reação escrito de forma incorreta:

Figura 3 - Trecho do site S1

Para reações que ocorrem em uma única etapa (reação elementar), x e y correspondem aos coeficientes estequiométricos a e b. Logo:

$$v = k [A]^a [B]^b$$

- Ordem da reação em relação a A = a
- Ordem da reação em relação a B = b
- Ordem total da reação = a + b

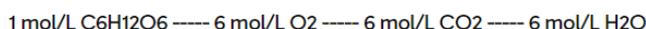
No *site* S3 foram detectados erros de notação na representação de moléculas e reações. A Figura 4 mostra o trecho do *site* S3 com os respectivos erros detectados:

Figura 4 - Trecho do site S3 com erros de notação


Disciplinas > Química > Cinética Química > Exercícios sobre velocidade das reações

Como nós conhecemos as proporções estequiométricas da reação (1 C₆H₁₂O₆ : 6 O₂ : 6 CO₂ : 6 H₂O), podemos descobrir a velocidade de consumo do O₂ e de produção de CO₂ e H₂O.

Observe que a proporção da glicose em relação aos demais é igual:



Com isso, vamos calcular:

- No intervalo de 0 a 6 min, a velocidade de consumo de O₂:

Obs: Como a proporção do consumo de C₆H₁₂O₆ em relação à produção de CO₂ e H₂O é a mesma do consumo de O₂, a quantidade de CO₂ e H₂O produzidos será igual à quantidade de O₂ consumido. Por isso, vamos continuar calculando, para os demais intervalos, a velocidade de O₂, CO₂ e H

As espécies O₂, CO₂, H₂O foram escritas no *site* S3 sem a indicação dos respectivos números de átomos em subscrito. Esta situação configura-se como um erro de notação da química que pode ocasionar nos leitores uma interpretação equivocada de átomos, moléculas e espécies iônicas, assim como induzi-los a confundir o índice que indica o número de átomos de uma espécie química, com o fator estequiométrico e, assim, induzi-lo a um erro conceitual.

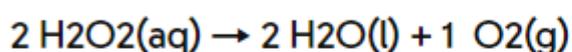
Por exemplo, o leitor ao ler H₂O pode ser induzido a pensar que o 2 é o fator estequiométrico do átomo de oxigênio, em vez de interpretar como sendo o número de átomos de hidrogênio na molécula de água. A posição deste índice em subscrito

já é utilizada para indicar que se refere ao número de átomos que o antecede. Por exemplo, em H_2O o dois indica o número de átomos de H.

No *site* S4, foram detectados dois exemplos de reações químicas, com os mesmos problemas identificados no *site* S3, A Figura 5 mostra a reação de decomposição da água oxigenada com os índices que representam os números de átomos escritos de forma incorreta:

Figura 5 - Trecho do site S4

Exemplo:



Na reação de de decomposição da água oxigenada demonstrada acima um inibidor que pode ser usado é um ácido, pois quando o meio está ácido, a reação se processa de forma mais lenta.

No *site* S5 foi detectado o mesmo erro de notação do *site* S4, na qual não foram colocados em subscrito os dois números 2 que indicam o número de átomos de hidrogênio e oxigênio, respectivamente na molécula de água oxigenada.

No *site* S8 foi detectado o uso de linguagem inadequada em uma videoaula sobre introdução a cinética química. Foram utilizadas expressões verbais tais como “molequinha”, para se referir à dimensão das moléculas, como sendo espécies químicas de dimensões microscópicas. Também foram utilizadas expressões verbais, tais como “eu não gosto de você iodo”, para se referir que o hidrogênio não possuiria afinidade química com o iodo e “eu não gosto de você também hidrogênio”, para se referir que o iodo não possuiria afinidade com o hidrogênio. Ambas as expressões verbais não definem o conceito de raio molecular e nem de afinidade química e são de uso incorreto. No tópico 5.4.5 – Atribuição de termos animistas será abordada o uso destas expressões como Obstáculos epistemológicos na aprendizagem de conceitos de cinética química.

No *site* S12 foi identificado erro de português na ortografia da palavra “catalisadores”, que foi escrita com “z” em vez de “s”. A Figura 6 mostra o erro de ortografia identificado:

Figura 6 - Trecho do *site* S12 com erro de ortografia

Catalizadores

Os **catalisadores**, em sua própria definição, são substâncias que vão acelerar a velocidade da reação. É importante entender que os catalisadores não são consumidos na reação e que os mesmos só **umentam a velocidade da reação**, não alteram o rendimento da mesma.



Nota-se que a palavra “catalisadores” foi escrita três vezes de forma incorreta e escrita duas vezes de forma correta. Erros de ortografia podem não prejudicar a aprendizagem conceitual de um tema, mas não são adequadas. Além do uso correto da linguagem técnica da química, representada por fórmulas, por notações, por símbolos, deve-se utilizar a ortografia correta das palavras que fazem parte do jargão da química.

No *site* S13, foram detectados erros de notação na forma como as equações químicas foram escritas. A reação $O_3(g) + NO(g) \rightarrow O_2(g) + NO_2(g)$ foi escrita de forma incorreta com o uso dos símbolos >>> para substituir a seta (\rightarrow). O mesmo erro se repetiu seis vezes. A Figura 7 mostra um trecho do *site* S13 com o incorreto de notação:

Figura 7 - Trecho do *site* S13 com erro de notação

O que se entende por **reação elementar**?

Reação elementar é aquela em que as moléculas dos produtos se formam após uma única colisão eficaz entre as moléculas dos reagentes.

Exemplo:



No *site* S14 foi identificado um erro de digitação grosseiro na fórmula matemática da Lei de velocidade. A Figura 8 mostra o trecho do *site* S14 com o erro esdrúxulo:

Figura 8 - Trecho do *site* S14 com erro esdrúxulo de notação

Neste caso, vamos supor ainda que os reagentes são representados pelas letras maiúsculas A e B, enquanto as letras P e Q denotam produtos. Por fim, as letras “a, b, p, q” representam os coeficientes estequiométricos da reação. Deste modo, a velocidade de reação (v) é definida como:

$$v = -\frac{1}{a} \frac{dA}{dt} = -\frac{1}{b} \frac{dB}{dt} = +\frac{1}{p} \frac{dP}{dt} = +\frac{1}{q} \frac{dQ}{dt}$$

Obviamente, o erro esdrúxulo na forma como a Lei de velocidade foi escrita pode estar relacionada a um erro de digitação ou programação do autor do conteúdo, que levou a publicação da equação de forma estranha. Provavelmente o autor do conteúdo do material não o quis cometer e os administradores do *site* S14 não verificaram o erro.

O *site* S14 é um *site* de compartilhamento de materiais sobre temas entre seus usuários, o que dificulta o controle dos materiais que ali são publicados. O questionamento maior não é sobre o erro detectado e sim sobre a falta de atenção do autor do material e a falta de fiscalização do que é publicado nestes tipos de *site*, o qual funciona como banco de dados de materiais sobre educação.

De forma análoga aos *sites* S1 e S14, foram identificados no *site* S18 erros na notação da Lei de Velocidade. A figura 9 mostra o erro grosseiro cometido pelo *site* S17.

Figura 9 - Trecho do *site* S18 como erro de notação na lei de velocidade

A equação matemática que representa a **Lei da Cinética Química** para a seguinte reação hipotética: $aA + bB \rightarrow cC + dD$, é:

$$v = k \cdot \alpha \cdot \beta$$

em que:

- v é a velocidade da reação;
- k é a constante que depende da temperatura;
- α e β são expoentes determinados experimentalmente.

Observa-se que a notação da Lei de velocidade utilizada no *site* S18 omitiu as concentrações das espécies A e B e deveria ter sido escrita na forma $V = [A]^\alpha [B]^\beta$. Outra observação interessante é a citação dos termos do modelo da Lei de velocidade utilizada no *site* e descrita abaixo da equação.

Observa-se que foram citados v como a velocidade de reação, k como a constante de velocidade, α e β como as ordens de reação, mas não foram citadas as concentrações de reagentes, no caso $[A]$ para concentração de A e $[B]$ para concentração de B. Ou seja, foram de fato omitidas as concentrações de reagentes na descrição da Lei de velocidade.

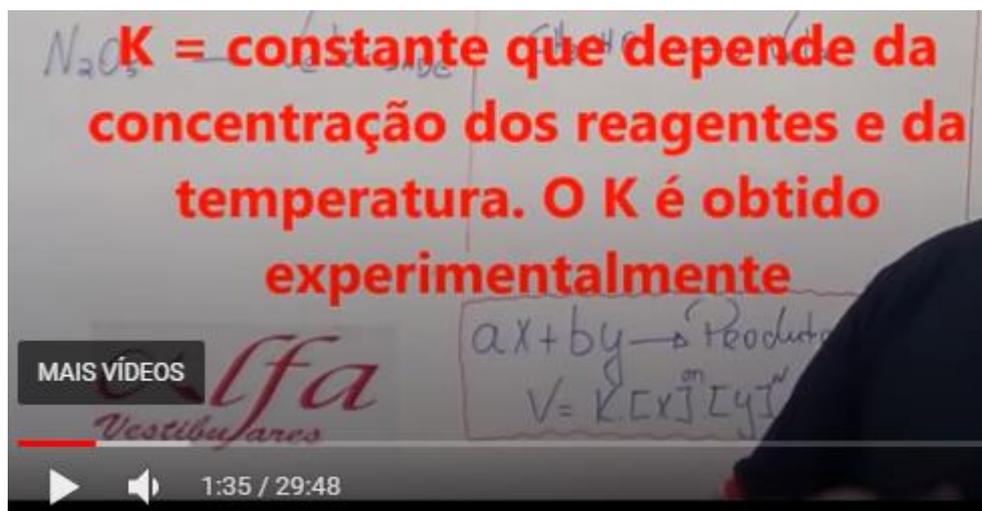
5.10 RESULTADOS PARA O TÓPICO T10 - NO SITE SÃO ENCONTRADOS ERROS CONCEITUAIS OU CONCEITOS INCOMPLETOS?

Nos *sites* S1, S2, S3, S4, S5, S6, S8, S9, S10, S11, S15, S17 e S20 foram identificados erros conceituais que corresponderam a 65 % dos *sites* pesquisados.

Nos *sites* S1, S3, S4, S5, S6, S8, S9, S10, S11, S15, foram identificados obstáculos epistemológicos atrelados aos erros conceituais identificados que serão discutidos no item posterior 5.4 – Principais obstáculos epistemológicos identificados.

No *site* S1 foi detectada uma vídeoaula com erro conceitual acerca da dependência da constante de velocidade em relação a concentração dos produtos. A Figura 10 mostra o trecho da vídeoaula em que é mostrada na tela a afirmação com erro conceitual:

Figura 10 - Trecho da vídeoaula com erro conceitual



A afirmação da vídeoaula está incorreta uma vez que a variação da concentração de reagentes altera a velocidade da reação, mas não é capaz de alterar o valor da constante de velocidade. No Livro L1 é descrito que a velocidade de reação é dependente da temperatura. Além disso, a relação que estabelece a ligação da temperatura com a lei de velocidade ocorre através da Equação de Arrhenius, que relaciona a constante de velocidade como uma função da temperatura, independente das variações de concentração do meio reacional.

Portanto, a afirmação feita no *site* S1 é um erro conceitual em relação a constante de velocidade.

No *site* S2 foi detectado um erro conceitual sobre colisões eficazes em teoria das colisões. A figura 11 mostra o trecho do *site* S2 com a respectiva abordagem conceitual feita de forma incorreta:

Figura 11 - Trecho do site S2 com erro conceitual

Para que uma colisão seja eficaz, é necessário que aconteça com geometria favorável e com uma energia suficiente, uma vez que, no momento da colisão, há uma ruptura parcial das ligações químicas das moléculas dos reagentes e essa ruptura provém do movimento das moléculas.

O erro conceitual está na afirmação feita no *site* S2 de que no momento de uma colisão que seja eficaz ocorre a ruptura parcial das ligações químicas. O uso do termo “rompimento parcial das ligações químicas” pode induzir o leitor do *site* a uma construção errônea do conceito de ligações. Conforme descrito no Livro L1 quando duas moléculas de reagentes colidem com orientação favorável e energia acima da energia de ativação, as ligações químicas podem se quebrar e novas ligações químicas podem se formar.

Quando a colisão ocorre com energia abaixo da energia de ativação, mesmo que a orientação seja favorável, ocorre uma redução na força das ligações químicas das espécies que colidem, mas em nenhum instante as ligações sofrem “ruptura parcial”. Também é preciso destacar que o uso do termo ruptura pode ocasionar um obstáculo no leitor, pois o induz a ideia de quebra da ligação. A ideia de rompimento parcial pode levar a ideia da quebra de uma ligação química em um caso de ligação dupla ou tripla, mas não ajuda a visualizar o que ocorre no caso de uma ligação simples.

Como já discutido, muitas reações ocorrem por meio de mecanismos de reação, em etapas elementares. Em uma determinada etapa, pode ocorrer a formação de intermediários de reação, que são espécies químicas de baixa estabilidade que são formadas em uma etapa elementar e desaparecem na etapa seguinte.

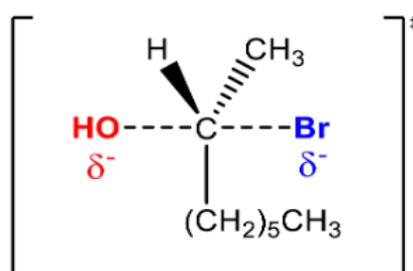
Os intermediários não aparecem na reação global e geralmente é formada pela ruptura total da ligação química, cisão homolítica, que leva a formação de

radicais livres ou por meio da cisão heterolítica, que leva a formação de cátions e ânions. Em ambos os casos ocorre à ruptura total das ligações.

Há também outro grupo de reações, que ocorrem em uma única etapa e sem a formação de intermediários de reação, por meio da formação de um estado de transição. Estas reações são denominadas de reações de substituição nucleofílica (S_N2). Neste modelo, uma espécie química (molécula, átomo ou íon) com um par de elétrons (base de Lewis) se aproxima de outra espécie química de reagente e força a formação de uma ligação parcial, por exemplo, com um átomo de carbono.

À medida que a base de Lewis forma uma ligação parcial com um átomo de carbono da outra espécie química, ocorre a ruptura parcial de uma ligação oposta com outro grupamento químico e ligado ao mesmo carbono central (MCMURRY, 2005). A Figura 12 mostra um exemplo de estado de transição:

Figura 12 - Exemplo de estado de transição



Fonte:

https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Estado_de_transi%C3%A7%C3%A3o_para_a_invers%C3%A3o_de_configura%C3%A7%C3%A3o_da_rea%C3%A7%C3%A3o_de_forma%C3%A7%C3%A3o_do_%28s%29-octan-2-ol.png

Neste caso, observa-se a formação de ligações parciais antes da ocorrência da reação. A abordagem feita no *site* S2 não leva em consideração estes dois modelos possíveis de reações químicas, na qual de fato é possível a formação de ligações parciais na formação do estado de transição.

Outra argumentação errada é a afirmação feita no *site* S2 de que a ruptura provém do movimento das moléculas. A ruptura de uma ligação no modelo da teoria das colisões provém da energia cinética que as espécies de reagentes possuem e da geometria na qual estas espécies colidem. Para que ocorra a ruptura das ligações é preciso que as espécies de reagentes colidam com orientação favorável e energia mínima equivalente a energia de ativação.

No *site* S13 foram detectadas três perguntas feitas e que não foram respondidas pela autora do *site*. A figura 13 mostra o trecho do *site* S13 com indagações não respondidas:

Figura 13 - Trecho do *site* S13 com perguntas não respondidas

Qual é o efeito da temperatura sobre a velocidade sobre a velocidade de reação?

Quanto maior a temperatura maior será a energia cinética das moléculas dos reagentes e portanto maior quantidade de moléculas atingem um valor energético capaz de produzir uma colisão eficaz, acarretando uma maior velocidade de reação.

O aumento de temperatura aumenta o valor da constante k na lei das velocidades.

Qual é o efeito da superfície de contato sobre a velocidade de reação?

O que é um catalisador?

Qual é o efeito do catalisador sobre a velocidade de reação?

Observa-se na Figura 13, que a primeira pergunta foi respondida e as demais 3 perguntas não o foram. Considerou-se nesta situação que os conceitos abordados nas 3 perguntas estão incompletos. Provavelmente, a autora do *site* ou não revisou o conteúdo ou ao revisá-lo permitiu que o *site* fosse publicado com informações incompletas, o que prejudica os usuários deste conteúdo.

No *site* S15 foi identificada uma má elaboração conceitual acerca da definição de reação global, que pode ser entendida como uma generalização. A má elaboração conceitual ocorreu com a afirmação de que as reações globais são as que ocorrem em mais de uma etapa. A Figura 14 mostra o trecho do *site* S15 contendo o erro conceitual:

Figura 14 - Trecho do *site* S15 com erro conceitual

Alguns processos químicos ocorrem em várias etapas. As reações globais são as que ocorrem em mais de uma etapa. A velocidade desta reação depende da velocidade das etapas participantes. Quando isto acontecer, determina-se a velocidade da reação através da etapa lenta.

Reação global é um outro termo utilizado para o termo reação química, dentro do estudo de mecanismos de reação. Segundo o Livro L1, página 77, reação química é definida como um processo de transformação em que uma ou mais substâncias, chamadas de reagentes, são convertidas em outras substâncias,

chamadas de produtos. As reações químicas são representadas por meio do uso de flechas para separar as substâncias envolvidas nos produtos, das substâncias envolvidas nos reagentes, conforme a notação: *Reagentes* → *Produtos*.

Segundo estabelecido no Livro L1, página 594, dentro do estudo de mecanismos de reação, todas as reações químicas, com exceção das mais simples, ocorrem através de várias etapas, que são chamadas de reações elementares. O somatório de todas as reações elementares dentro de um mecanismo reacional tem como resultado a equação da reação global. Portanto, este termo é utilizado para distinguir a equação geral de uma reação química, das reações elementares de um mecanismo.

Baseados nesta análise, fica nítida a má elaboração conceitual realizada no *site* S15. O conceito correto de reação global ou equação global de uma reação é que esta representa os reagentes e produtos envolvidos em uma reação, sem considerar os processos intermediários representados por meio do mecanismo de reação, descritos pelas etapas elementares.

A afirmação de que as reações globais são as que ocorrem em mais de uma etapa também configura uma generalização de que todas as reações ocorrem por meio de etapas intermediárias e despreza a possibilidade das reações químicas ocorrerem de forma direta.

No *site* S18 foi identificado uma má elaboração conceitual acerca função dos catalisadores, que induz os leitores do *site* a uma interpretação errada de seu conceito. A Figura 15 mostra o trecho do *site* S18 com problemas conceituais:

Figura 15 - Trecho do site S18 com erro conceitual

Presença de catalisadores

Os catalisadores são substâncias com capacidade de acelerar determinadas reações químicas. Os catalisadores interagem com os reagentes, fazendo com que a reação entre estes seja mais fácil de ocorrer, ocasionando um aumento na formação de produtos por unidade de tempo.

A má elaboração conceitual corresponde a afirmação feita no *site* S18 de que “os catalisadores ocasionam um aumento na formação de produtos”. A leitura do trecho do *site* S18 induzir o leitor a uma interpretação de que a função do catalisador é de acelerar o rendimento da reação, em vez de acelerar a velocidade de reação. Esta interpretação ocorre no exato momento que no *site* é utilizada a afirmação “ocasionando um aumento na formação de produtos por unidade de tempo”. Fica

claro que o aumento corresponderia a quantidade de produtos formada em vez da mesma quantidade em espaço de tempo menor.

No Livro L1, página 611, é descrito que o catalisador é uma substância que participa do meio reacional sem ser consumida e que sua função é de fornecer um caminho reacional alternativo, através da mudança do mecanismo de reação.

Com isso, ocorre a diminuição da energia de ativação da reação e o aumento na velocidade de reação. Porém, o catalisador não é capaz de alterar a composição de equilíbrio das espécies químicas, reagentes e produtos. Assim como os catalisadores também não são capazes de alterar a constante de equilíbrio da reação.

Uma abordagem sobre catalisadores torna-se mais enriquecedora quando são discutidos os limites de atuação do catalisador dentro de uma reação química. Por exemplo, a seguinte abordagem exemplifica como tratar o tema catalisadores, dentro de velocidade de reação:

Catalisadores são substância que podem ser adicionadas ao meio reacional para acelerar a velocidade de reação sem serem consumidas durante o processo. Os catalisadores podem estar no mesmo estado físico dos reagentes, catalisadores homogêneos, ou em estado físico diferente, catalisadores heterogêneos.

O catalisador atua através da modificação do caminho reacional por meio de um novo mecanismo de reação que diminui a energia de ativação da reação e, como consequência acelera a velocidade de reação. Porém, os catalisadores não são capazes de modificar o rendimento da reação, ou seja, não são capazes de alterar o equilíbrio químico e o valor da constante de equilíbrio da reação para uma determinada temperatura específica.

Observa-se também que uma simples modificação no trecho do *site* S17 da figura X resolveria o problema de má interpretação conceitual. Bastaria adicionar a expressão “velocidade de reação” ao trecho “ocasionando um aumento na formação de produtos por unidade de tempo”, para tornar claro o que se refere ao aumento citado no trecho e, com isso, resolver a má elaboração explicativa. Ou seja, o trecho ficaria: “ocasionando um aumento da velocidade de reação na formação de produtos por unidade de tempo”.

5.11 RESULTADOS PARA O TÓPICO T11 – NO SITE SÃO MENCIONADOS PARA QUAL PÚBLICO-ALVO OS CONTEÚDOS SÃO DIRECIONADOS?

O Quadro 8 abaixo mostra para quais públicos-alvos foram direcionados os conteúdos dos *sites* consultados, em que A = Ensino médio, B = Preparatório do vestibular/ENEM/Concurso público, C = Graduação, D = Pós-graduação e E = Não menciona:

Quadro 8. Resultados obtidos da análise dos 20 *sites* pelo Tópico T11

<i>Site</i>	A	B	C	D	E
S1	X	X	-	-	-
S2	X	X	-	-	-
S3	X	X	-	-	-
S4	X	X	X	X	-
S5	-	-	-	-	X
S6	X	X	-	-	-
S7	X	X	-	-	-
S8	-	X	-	-	-
S9	-	X	-	-	-
S10	-	X	-	-	-
S11	X	-	-	-	-
S12	X	-	X	-	-
S13	-	-	-	-	-
S14	-	-	-	-	X
S15	X	-	-	-	-
S16	-	-	-	-	X
S17	-	X	-	-	-
S18	-	-	-	-	X
S19	-	-	-	-	X
S20	-	-	-	-	-

Fonte: Desenvolvido pelo autor

Nos *sites* S11 e S15, que corresponderam a 10%, foi citado como público-alvo estudantes do Ensino médio.

Nos *sites* S8, S9, S10 e S17, que corresponderam a 20%, foram citados como público-alvo estudantes de Preparatório do vestibular/ENEM/Concurso público.

Nos *sites* S1, S2, S3, S6, S7, que corresponderam a 25%, foram citados como público-alvo estudantes do Ensino médio e estudantes de Preparatório do vestibular/ENEM/Concurso público,

No *site* S4, que correspondeu a 5%, foram citados como público-alvo estudantes do Ensino médio, Preparatório do vestibular/ENEM/Concurso público, Graduação e Pós-graduação.

No *site* S12, que corresponder a 5%, foram citados como público-alvo estudantes do Ensino médio e Graduação.

Nos *sites* S5, S14, S16, S18 e S19, que corresponderam a 25%, não foram mencionados o público-alvo.

No *site* S16 não foi mencionado o público-alvo, porém o material foi escrito por um professor da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) e disponibilizado na internet em formato pdf, com domínio desta universidade. A linguagem utilizada neste material é facilmente identificada como as adotadas em cursos de nível superior que possuem química em seus currículos. Portanto, subentende-se que este conteúdo seja voltado para alunos de graduação, mas considerou-se que o público-alvo não foi mencionado.

Ao observar os públicos-alvos individualmente, 10 *sites* mencionam os estudantes do Ensino médio (S1, S2, S3, S4, S6, S7, S11, S12, S15); 11 *sites* mencionaram os estudantes de Preparatório do vestibular/ENEM/Concurso público (S1, S2, S3, S4, S6, S7, S8, S9, S10 e S17); 2 *sites* mencionam os estudantes da Graduação (S4 e S12) e 1 *site* menciona estudantes da Pós-graduação (S4).

Estes resultados revelam que a maior parte dos *sites* pesquisados menciona como público-alvo os estudantes do Ensino Médio e Estudantes que fazem preparação para o ENEM, Vestibulares em geral. Em particular, um material em pdf pesquisado, correspondia a um material de preparação para o vestibular do ITA.

5.12 RESULTADOS PARA O TÓPICO T12 – NO SITE SÃO CITADAS REFERÊNCIAS AO CONTEÚDO PUBLICADO?

O Quadro 9 abaixo mostra quais referências bibliográficas foram citadas nos *sites* consultados, em que A = Livros do Ensino médio, B = Livros de graduação, C = Artigos científicos, D = TCCs ou Dissertações, E = *Sites* institucionais, F = *Sites* pessoais e G = Não menciona:

Quadro 9. Resultados obtidos da análise dos 20 *sites* pelo Tópico T12

Site	A	B	C	D	E	F	G
S1	X	-	-	-	-	-	-
S2	-	-	-	-	-	-	X
S3	-	-	-	-	-	-	X
S4	-	-	-	-	-	-	X
S5	-	-	-	-	-	-	X
S6	X	-	-	-	-	-	-
S7	-	-	-	-	-	-	X
S8	-	-	-	-	-	-	X
S9	-	-	-	-	-	-	X
S10	X	X	-	-	-	-	-
S11	-	X	-	-	-	-	-
S12	-	-	-	-	-	-	X
S13	-	-	-	-	-	-	-
S14	-	-	-	-	-	-	X
S15	-	-	-	X	X	-	-
S16	-	X	X	-	X	-	-
S17	-	-	-	-	-	-	X
S18	-	X	-	-	-	-	-
S19	-	-	-	-	-	-	X
S20	-	X	-	X	-	-	-

Fonte: desenvolvido pelo autor

Em termos gerais, nos *sites* S1, S6, S10, S11, S13, S15, S16, S18 e S20 foram detectadas alguma referência bibliográfica, que corresponderam a 45% dos *sites* pesquisados.

Segundo Boccato (2006), a pesquisa bibliográfica tem fundamental importância na busca, no levantamento e na análise crítica de documentos publicados sobre um tema específico a ser pesquisado com intuito de atualizar e desenvolver o conhecimento e contribuir com a realização da pesquisa de um tema. A base da pesquisa bibliográfica são os livros, teses, artigos e outros documentos publicados que contribuem na investigação do conteúdo de interesse.

A importância do uso de referências bibliográficas na construção de *sites* com conteúdos voltados ao ensino de temas da química pode ser equiparada a mesma importância dada ao uso de referências bibliográficas em trabalhos científicos.

A citação das referências utilizadas pelos autores de *sites*, além de revelarem as fontes utilizadas, também demonstram o nível de pesquisa envolvida para a elaboração do conteúdo e sua capacidade como pesquisador de temas científicos, na construção do conhecimento.

Também permite que os leitores acessem os conteúdos nas fontes originais utilizadas na construção dos *sites* e tirem suas próprias conclusões ou interpretações sobre o tema velocidade de reação.

5.13 RESULTADOS PARA O TÓPICO T13 - COMENTÁRIOS EXTRAS SOBRE O SITE AVALIADO.

A primeira observação sobre os *sites* pesquisados diz respeito aos seus autores. Os *sites* S1, S2, S3, S4, S6, S8, S9, S10, S11, S15, S17 são *sites* pertencentes a Instituições privadas, dos quais os *sites* S1, S4, S8, S9, S17... são pagos, mas possuem uma parte de seus conteúdos disponíveis de forma gratuita. Já os *sites* S2, S3, S6 são disponibilizados de forma gratuita.

Os *sites* S1, S2, S3, S4, S6, S8, S10, são voltados para a preparação do ENEM e vestibular.

Os *sites* S7, S10, S16 e S19 são materiais de estudo em formato pdf pertencentes a Universidades Públicas e com total acesso gratuito. O *site* S7 é de domínio da Universidade de São Paulo (USP), O *site* S10 é de domínio do Rumo ao ITA, O *site* S16 é de domínio da Universidade Federal de Juiz de Fora e o *site* S18 é de domínio da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

Os *sites* S5, S13, S5, S18 são *sites* pessoais. O autor do *site* S5 identificou-se como engenheiro. A autora do *site* S13 identificou-se como engenheira e Técnica em Meio Ambiente especialista em Climatologia. No *site* S15 é mencionado que o conteúdo é desenvolvido por uma equipe. A autora do *site* S18 identificou-se como Mestre em engenharia química e bioquímica, pela Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

O *site* S11 é um *site* pessoal com conteúdos educacionais diversos e desenvolvidos por professores de diferentes áreas do conhecimento (Biologia, Filosofia, Geografia, Química, etc.). O autor do conteúdo de cinética química do *site* S11 identificou-se como Graduado em Licenciatura em química pela Universidade Estadual de Maringá (UEM).

O *site* S12 é um *site* pago que disponibiliza conteúdos educacionais da área científica e matemática, desenvolvido por professores destes campos de conhecimento (Matemática, Física e Química, etc.) e que disponibiliza parte de seu conteúdo de forma gratuita.

No *site* S12, foram identificados três *links* que direcionavam para três abas distintas com conteúdos que abordam os temas: Lei de velocidade, mecanismos de reação e catalisadores, porém, ao abrir cada uma das abas, o *site* permitiu a visualização do conteúdo por alguns segundos e na seqüência bloqueou o acesso.

O *site* S14 é um *site* de compartilhamento, entre seus usuários, de materiais diversos sobre educação, desde resumos, estudos dirigidos, conteúdos de Universidades, exercícios resolvidos, provas de concursos públicos e vestibulares, todos os materiais em formato pdf. Dentro das diversas possibilidades de pesquisa, foram escolhidos dois materiais disponíveis para análise de seus conteúdos.

No *site* S14 é disponibilizado acesso gratuito a uma parte de seu conteúdo e também permite ao usuário assinatura do *site* por meio de pagamento de mensalidade, com acesso ilimitado aos seus conteúdos.

O *site* S18 é uma enciclopédia colaborativa de origem portuguesa e a autora do conteúdo identificou-se como Mestre em Engenharia Química e Bioquímica pela Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

O *site* S20 é uma enciclopédia livre conhecida como Wikipédia em que todos os usuários podem editar os conteúdos disponibilizados.

5.14 PRINCIPAIS OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS IDENTIFICADOS

São discutidos os principais obstáculos epistemológicos identificados nos sites que obtiveram SIM como resposta ao tópico T10, assim como também são discutidos os erros conceituais e conceitos incompletos, de acordo com os conceitos estabelecidos pelos livros L1 e L2.

5.14.1 Uso de termos verbalistas

No *site* S1 foi utilizada a seguinte definição para a formação do complexo ativado: “Para que o complexo ativado se forme, as moléculas dos reagentes devem possuir energia suficientemente alta e colisão em geometria favorável”. Observa-se que o uso do termo: “suficientemente alta” induz o leitor a dúvidas. Conforme a definição do livro L2, as moléculas devem possuir no mínimo a energia equivalente à energia de ativação, para que a colisão entre elas leve ao rompimento das ligações dos reagentes e a formação de novas ligações nas moléculas de produtos.

As moléculas com este mínimo de energia, ou mais, são definidas como moléculas de reagentes ativadas. Mas isso não implica que esta energia necessária seja “suficientemente alta” e sim uma energia característica da reação em questão, pois cada reação química possui um valor de energia de ativação definido. Existem

reações que, quando comparadas entre si, umas possuem valores baixos de energia de ativação enquanto outras possuem valores altos.

5.14.2 Uso de generalização

Nos *sites* S1, S4, S5, S6 e S20 foram utilizadas a seguinte definição para a regra de *Van't Hoff*: “Um aumento em 10°C faz com que a velocidade de reação dobre”. A Figura 16 mostra a definição da regra de *Van't Hoff* utilizada pelo *site* S1:

Figura 16 - Definição da regra de *Van't Hoff* utilizada pelo *site* S1

Para que o complexo ativado se forme, as moléculas dos reagentes devem possuir energia suficientemente alta e colisão em geometria favorável. Essa energia é conhecida como energia de ativação (E_a) e é a menor quantidade de energia necessária para que a reação química ocorra.

No livro L2 a regra de *Van't Hoff* é estabelecida como uma aproximação para casos em que a temperatura possa ser considerada baixa e estabelece a seguinte definição: “A constante de velocidade da reação é multiplicada por um número compreendido entre 2 e 4, quando a temperatura aumenta em 10° C”. Neste caso, a temperatura altera a velocidade de reação através da multiplicação da constante de velocidade por um parâmetro que pode variar na faixa de 2,0 a 4,0.

Os *sites* S1, S4, S5, S6 e S20, ao citarem a regra de *Van Hoff*, utilizam-se de uma definição que é uma generalização para os casos em que o parâmetro é 2 e desconsidera os demais casos, inclusive aqueles em que este fator de multiplicação possa ser um número fracionado.

A relação da velocidade com o aumento de temperatura é mais bem descrita pela Equação de Arrhenius, do que pela Regra de *Van't Hoff*, pois esta é válida apenas para meios reacionais em que a temperatura pode ser considerada baixa, enquanto aquela é uma regra mais geral e válida para um amplo espectro de casos. Conclui-se, portanto, que o uso da Regra de *Van't Hoff* pelos *sites* S1, S4, S5, S6 e S20 caracterizou-se com um obstáculo epistemológico de conhecimento geral, por se tratar de uma generalização de uma lei que abrange uma faixa de temperaturas e que somente é válida para casos específicos.

Nos *sites* S1 e S6, foi indicada com referência bibliográfica o livro de Ensino Médio “Química – Físico-química 2” dos autores Usberco & Salvador, da Editora

Saraiva, 10^o Edição – ano 2006. A consulta a esta referência permitiu encontrar a definição da regra de Van't Hoff, a qual os autores utilizaram-se da seguinte abordagem conceitual:

O primeiro cientista a correlacionar a variação de temperatura e a velocidade das reações foi Jacobus Van't Hoff, no final do século XIX. Ele percebeu que, em algumas reações, uma elevação de 10 °C fazia com que a velocidade dobrasse (Usberco & Salvador, 2006, pág 318).

A partir desta abordagem, Usberco & Salvador estabelecem a seguinte regra: Regra de Van't Hoff: “Um aumento de 10 °C faz com que a velocidade da reação dobre” (USBERCO & SALVADOR, 2006, pág. 318). Tal fato sugere que os *sites* S1, S4, S5, S6 e S20 também utilizaram a definição da Regra de Van't Hoff encontrada em Usberco & Salvador, apesar de não terem indicado essa referência bibliográfica.

A consulta ao livro “Química – Físico-química 2” dos autores Usberco & Salvador permitiu identificar que esta fonte de consulta também apresenta um obstáculo epistemológico do conhecimento geral, uma vez que se utiliza de uma generalização da Regra de Van't Hoff definida no livro L2.

A definição utilizada por Usberco & Salvador não menciona que a Regra de Van't Hoff é uma aproximação para os casos em que a temperatura do meio reacional seja baixa e que a constante de velocidade, para estes casos, é multiplicada por um fator que varia de 2 a 4.

5.14.3 Uso incorreto de uma lei para definir outra

Nos *sites* S3, S4, S6, S8, S9, S10, S11 e S15, que corresponderam a 40% dos *sites* pesquisados, foram detectados o uso incorreto da Lei de Guldberg-Waage como definição para a Lei de velocidade. A figura 17 mostra um trecho do *site* S6, com o uso incorreto da “lei de Guldberg-Waage” para definir a lei de velocidade.

Figura 17 - Trecho do site S6 com definição incorreta da lei de velocidade

A lei de Guldberg-Waage:

Considere a seguinte reação: $a A + b B \Rightarrow c C + d D$

Segundo a lei de Guldberg-Waage; $V = k [A]^a [B]^b$.

Onde:

- V = velocidade da reação;
- $[]$ = concentração da substância em mol / L;
- k = constante da velocidade específica para cada temperatura.

A lei de Guldberg-Waage ou lei de ação das massas difere totalmente da lei de velocidade. A grande diferença entre elas pode ser facilmente compreendida em termos históricos e isto é claramente abordado no Livro L2. A primeira diferença fundamental está relacionada aos períodos históricos em que cada uma delas surgiu.

Segundo estabelecido pelo Livro L2, página 523, a lei de Guldberg-Waage ou lei de ação das massas surgiu em 1864 como um enunciado que estabeleceu a proporcionalidade entre a velocidade de reação com o número de moléculas-gramas dos reagentes, conforme já citado nas bases conceituais para o tópico T1. A definição completa da lei de ação das massas estabelecida no livro L2 cita que:

“Em meio homogêneo, a velocidade de reação é, a cada instante, proporcional ao número de moléculas-grama dos reagentes não transformados presentes por unidade de volume, isto é, proporcional às molaridades dos reagentes presentes” (ROZENBERG, 2002, pág. 523).

Com esta definição completa da lei de Guldberg-Waage ou lei de ação das massas estabelecida por Rozemberg, fica nítida que esta afirmação é uma proposição que estabelece uma proporcionalidade entre velocidade de reação e quantidade de matéria de reagentes e que não define as ordens de reação e nem uma lei matemática que relacione a velocidade de reação às quantidades de matéria.

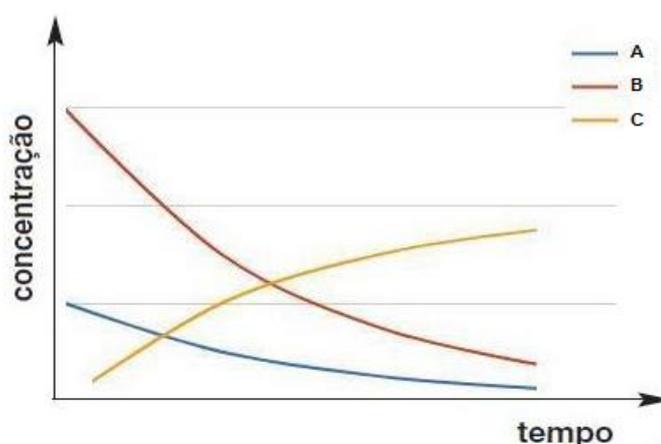
O Livro L2 estabelece na página 524 as origens do conceito de ordem de reação e menciona que para uma “reação esquematizada pela equação $v_1S_1 + v_2S_2 + \dots \rightarrow v_1'S_1' + v_2'S_2' + \dots$

O conceito de ordem de uma reação, introduzido por Tolcan e Kassel em 1930, decorre do fato de, para uma reação esquematizada pela equação acima, a velocidade de reação pode ser posta sob a forma $v = k[S_1]^{p_1}[S_2]^{p_2}[S_3]^{p_3} \dots$. Os expoentes p_1, p_2, p_3, \dots são, em geral diferentes dos coeficientes v_1, v_2, v_3, \dots da equação estequiométrica, embora em alguns casos particulares com eles coincidam (ROZENBERG, 2002, pág. 523).

Portanto, conclui-se que a lei de velocidade surgiu com a proposta de modelo matemático estabelecido por Tolcan e Kassel em 1930 e não estabelecidas por Guldberg-Waage. Também é preciso pontuar que outra principal diferença entre a lei de ação das massas e o modelo matemático de Tolcan e Kassel. A lei de Guldberg-Waage estabelece uma relação de proporcionalidade entre as massas do sistema reacional, enquanto a lei de velocidade estabelece uma relação com a molecularidade da reação.

A Lei de Guldberg-Waage pode tanto estar presente no momento cinético da reação como também no momento de equilíbrio entre as espécies de produtos e reagentes. Em termos do momento cinético da reação, a velocidade de reação é a cada instante proporcional a concentração dos reagentes não transformados, que pode ser representado no gráfico da Figura 18 abaixo:

Figura 18 - Gráfico da variação das espécies A, B e C



Fonte: <https://brainly.com.br/tarefa/23637129>

Observa-se que a velocidade da reação é proporcional, a cada tempo cinético, as respectivas concentrações de A, B e C. Conforme a reação se processa e o tempo aumenta, as concentrações de A e B diminuem e a concentração de C aumenta. A velocidade pode ser determinada para um determinado ponto no tempo como sendo:

$$\text{Velocidade de reação} = \frac{-1 [A]}{a \Delta t} = \frac{-1 [B]}{b \Delta t} = \frac{-1 [C]}{c \Delta t} \quad (23)$$

A Velocidade de reação definida a partir da análise da lei da ação das massas é pontual para cada momento cinético e não leva em consideração a molecularidade da reação, ou seja, o número de espécies químicas envolvidas na etapa lenta do mecanismo reacional. Além disso, a Lei de ação das massas não é capaz de definir os parâmetros cinéticos da reação, a constante de velocidade e as ordens de reação, que são parâmetros, como já discutidos, obtidos por métodos experimentais de medições cinéticas.

Quando as concentrações de A, B e C entram em equilíbrio, a Lei de Guldberg-Waage estabelece que: o quociente entre reagentes e produtos define a constante de equilíbrio dada pela relação abaixo:

$$K_{eq} = \frac{[C]^c}{[A]^a[B]^b} \quad (24)$$

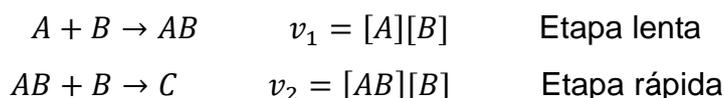
No exato momento cinético em que as velocidades da reação direta e reação inversa se igualam e as concentrações de reagentes e produtos tornam-se constantes, a Lei de Guldberg-waage ou Lei de ação das massas define a constante de equilíbrio da reação.

Suponha que para o mesmo exemplo da reação $aA + bB \rightarrow cC$ os seguintes dados cinéticos e mecanismo de reação sejam expressos como:

Tabela 3. Dados cinéticos

	[A] mol/L	[B] mol/L	$V \frac{mol}{L \times min}$
Experimento 1	0,2	0,1	0,5
Experimento 2	0,4	0,1	1,0
Experimento 3	0,4	0,2	2,0

Fonte: Criado pelo autor



Observa-se que os dados cinéticos indicam que a Lei de velocidade é dada pela equação $V = k[A][B]$. Ao analisar as duas reações elementares do mecanismo são possíveis observar que a primeira reação define a etapa determinante da reação e que a molecularidade desta etapa é bimolecular. O mecanismo de reação ratifica os dados experimentais e também indicam que a Lei de velocidade é dada por $V = k[A][B]$. Neste exato momento, percebe-se a diferença entre a Lei de Guldberg-Waage e a Lei de Velocidade.

O modelo matemático $V = k[A][B]$ indica que a reação $aA + bB \rightarrow cC$ é bimolecular na etapa lenta, o que indica o número de espécies envolvidas. Por outro lado, a Lei de Guldberg-Waage apenas indicaria a proporcionalidade da velocidade de reação com as concentrações de A e B ou indicaria o quociente de reação para um determinado tempo cinético, dada pela relação matemática.

No livro L1, páginas 427 e 428 do capítulo de Equilíbrio químico, a Lei da Ação das Massa foi definida em termos de equilíbrio químico, em outro contexto não abordado pela cinética Química. Segundo o Livro L1, os Noruegueses: Cato Guldberg e Peter Waage descobriu a relação de equilíbrio entre as espécies de uma mistura reacional e a definiram com o mesmo nome utilizado na relação entre a velocidade de reação e as composições do meio reacional (Lei de ação das massas).

Estes autores estabeleceram a Lei de Ação das massas, neste contexto, para os casos de reações em sistemas gasosos em que as espécies possam ser consideradas como gases ideais podem ser expressa como o produto dos reagentes elevados ao seu respectivo fator estequiométrico. Isto é válido porque no livro L1 é

citado o seguinte exemplo para explicar esta lei: Considere uma reação em estado gasoso $aA(g) + bB(g) \rightleftharpoons cC(g) + dD(g)$. Neste caso, pode-se considerar que os gases A, B, C e D são ideais e que a concentração de cada componente é proporcional a sua respectiva pressão parcial. Portanto, pode-se escrever a seguinte relação no equilíbrio:

$$K = \frac{P_C^c P_D^d}{P_A^a P_B^b} \quad (25)$$

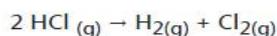
A expressão matemática 25 é a quantificação da Lei de ação das massas e define uma constante de equilíbrio para o momento cinético de equilíbrio dinâmico entre as espécies A, B, C e D no meio reacional. Nota-se também que os parâmetros a, b, c e d, neste caso, são os fatores estequiométricos da reação, diferente das ordens de reação encontradas no modelo matemático da Lei de velocidade.

5.14.4 Obstáculo epistemológico do conhecimento quantitativo

Observou-se que no *site* S3 foi apresentado um obstáculo epistemológico do conhecimento quantitativo na resolução de um exercício que apresentava uma tabela com quatro dados experimentais para a reação $2HCl(aq) \rightarrow H_2(g) + Cl_2(g)$. A Figura 19 mostra o trecho do *site* com o enunciado completo do exercício proposto:

Figura 19 - Exercício do *site* S3 com erro na resposta

Considere a seguinte reação elementar:



a) Escreva a equação de velocidade dessa reação;

b) Por meio de experiências, a velocidade dessa reação de decomposição do gás cloreto de hidrogênio e a concentração desse reagente, em temperatura constante de 25 °C, foram anotadas na tabela abaixo:

Experimentos	[HCl] (em mol/L)	Velocidade (em mol/L.min)
1	0,10	$1,01 \cdot 10^{-3}$
2	0,20	$2,02 \cdot 10^{-3}$
3	0,40	$4,04 \cdot 10^{-3}$
4	0,60	$6,06 \cdot 10^{-3}$

Com base nisso, determine a constante de velocidade característica dessa reação na temperatura mencionada.

Resolução:

a) $v = k \cdot [\text{HCl}]^2$

O item a do exercício solicitou que fosse escrita a lei de velocidade. Observou-se que a resolução do exercício ocorreu de forma direta e sem discussões mais profundas de que a ordem de reação depende dos dados experimentais demonstrados na tabela do item b do exercício.

Ao serem analisados os dados da tabela, estes apontam para uma reação de primeira ordem, em termos do único reagente HCl, pois ao dobrar a concentração de HCl, dobra-se a velocidade de reação. O *site* S3 apresentou, como resposta ao item a, o modelo matemático $v = k[\text{HCl}]^2$, que descreve a lei de velocidade de 2º ordem global, e considerou a reação como elementar, conforme afirma o enunciado do exercício. Ou seja, considerando o enunciado como correto, a reação é de 2ª ordem em função do HCl, conclui-se que os dados da tabela apresentada são incorretos. Porém, o inverso também pode ser verdade, onde a reação apresentada não seja elementar.

O obstáculo epistemológico surge neste exato momento em que há uma supervalorização da apresentação do modelo matemático em detrimento da discussão conceitual e experimental para se chegar ao modelo correto. Outro erro cometido pelo *site* é afirmar para o leitor que a reação deve ser considerada como elementar, sem o embasamento experimental para sustentar esta hipótese. Uma vez analisado os dados da tabela, chega-se a conclusão que a reação não é elementar.

5.14.5 Atribuição de termos animistas

O *site* S8 apresentou uma videoaula em que foram utilizados termos animistas na explicação da afinidade química entre H_2 e I_2 na reação química global $H_2 + I_2 \rightarrow 2HI$. Um termo utilizado no vídeo foi “E se o iodo não gosta do trem? E se o hidrogênio não gosta do trem também?” para mencionam a possibilidade do iodo não ter afinidade química pelo hidrogênio.

Percebe-se que foi atribuída uma característica humana aos elementos iodo e hidrogênio, uma vez que a expressão “gostar do trem” é uma gíria utilizada regionalmente no Brasil. O locutor do vídeo continua na sequência a utilizar termos animistas, tais como: “eu não gosto de você iodo” para mencionar que o hidrogênio não teria afinidade pelo iodo e “eu não gosto de você hidrogênio”, para mencionar que o iodo não teria afinidade pelo hidrogênio.

Percebe-se que o locutor do vídeo compara estes dois elementos como se eles fossem seres humanos com sentimentos de apatia um pelo outro. Isso fica claro quando o locutor do vídeo menciona: “o hidrogênio é esse rapazinho aqui ó agá tracinho agá e o iodo é esse aqui ó, i tracinho i”.

O locutor também se utilizou da frase: “então vamos representar as molequinhas aqui”, em que se percebe o uso do termo: “molequinhas”, na tentativa de atribuir as moléculas a ideia de que são pequenas. A mensuração de objetos macroscópicos é algo relativo que depende de um referencial, pois um objeto é pequeno em relação a outro.

No caso de átomos e moléculas que são espécies microscópicas, não é adequado o uso de termos de mensuração tais como “grande”, “pequeno”, pois, no caso de átomos, as dimensões são estimadas através das medidas de raio atômico.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos 20 *sites* permitiu a comparação dos conceitos de velocidade de reação abordados em materiais disponíveis na internet com os conceitos estabelecidos na literatura acadêmica e científica (Livros L1 e L2) e, com isso, realizar um levantamento de problemas de adequação conceituais e obstáculos epistemológicos. As seguintes conclusões puderam ser obtidas nesta pesquisa:

1 – O instrumento avaliativo desenvolvido pelo autor permitiu a análise dos 20 *sites* consultados na internet e a detecção de muitos problemas relacionados a questões conceituais, ao uso da linguagem química de forma inapropriada, além de obstáculos epistemológicos que dificultam a compreensão dos leitores de *sites* aos conceitos de velocidade de reação;

2 – A sistemática revisão da literatura dos livros L1 e L2 permitiu o embasamento teórico necessário acerca do tema velocidade de reação, para que a comparação conceitual entre os conteúdos encontrados na *internet* e os estabelecidos na literatura acadêmica (livros de graduação) fosse realizada e, com isso, permitiu com sucesso o alcance dos objetivos dessa pesquisa em avaliar possíveis erros conceituais, conceitos incompletos e obstáculos epistemológicos em *sites* que abordem o tema velocidade de reação;

3 – É uma iniciativa positiva pelos desenvolvedores de *sites* a criação de conteúdos educacionais e científicos a respeito de temas da química, em particular ao tema velocidade de reação, uma vez que este tipo de iniciativa contribuiu para a divulgação, diversificação e expansão de conhecimento acerca de velocidade de reação, assim como também permite que uma ampla gama de pessoas que acessem a *internet* faça pesquisas e tenha acessos ao conhecimento científico. Porém, estes conteúdos disponibilizados devem seguir os mesmos rigores conceituais estabelecidos por livros que tratem de temas da química, para que os conteúdos disponibilizados não cometam os mesmos problemas conceituais,

problemas de linguagem química e os obstáculos epistemológicos detectados nesta pesquisa;

4 – A observação sobre o percentual de *sites* que fizeram usos de referências bibliográficas, exatamente 45%, revelou que em menos da metade dos *sites* foram citadas as fontes de onde foram retiradas as bases conceituais utilizadas. Com isso, recomenda-se aos desenvolvedores de *sites* sobre o tema velocidade de reação que sejam utilizadas referências confiáveis, tais como livros, artigos, enciclopédias, monografias, teses e que sejam citadas as fontes utilizadas, para que o conteúdo disponibilizado possa ter credibilidade para os usuários destes conteúdos disponibilizados na *internet*.

6 – Ampliar futuramente esta pesquisa de modo a avaliar *sites* em língua inglesa que versem sobre o tema Velocidade de Reação e comparar com os resultados já obtidos por esta pesquisa, de modo a fazer um comparativo entre os conteúdos sobre o tema velocidade de reação disponibilizada por sites estrangeiros com os conteúdos nacionais. Além disso, avaliar futuramente os próprios desenvolvedores de *sites* no Brasil, de modo a ampliar a visão sobre o uso da *internet* como recurso didático ao ensino de química, do ponto de vista do desenvolvedor de conteúdos (professores, estudantes, profissionais da área, leigos no assunto, etc.).

6.2 CONCLUSÕES

A análise dos 20 *sites* permitiu as seguintes conclusões acerca da questão de pesquisa a ser respondida neste trabalho:

1 - Dos resultados obtidos nesta pesquisa, conclui-se que não é possível a substituição de livros de graduação, artigos científicos, monografias, dissertações e teses por *sites* educacionais;

2 - Sugere-se que o uso de *sites* como recurso didático ao estudo do tema Velocidade de reação, assim como o uso de *sites* como material para o estudo de quaisquer outros campos da química, deve ser feita após uma avaliação dos conteúdos apresentados pelos *sites* por um professor de química ou outro

profissional da área (Químicos, Engenheiros Químicos, etc.) para que possam ser avaliados possíveis erros conceituais e obstáculos epistemológicos que possam prejudicar a aprendizagem dos usuários destes conteúdos.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARROIO, A. e GIORDAN, M. **O vídeo educativo: aspectos da organização do ensino**. Química nova na escola., v. no 2006, n. 24, p. 8-11, 2006 Tradução. Acesso em: 20/05/2023.

ATKINS, P., JONES, L. **Princípios de Química. Questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 3ª Edição. Editora BOOKMAN. Ano 2006.

ATKINS, P., PAULA, J. **Físico-Química 2**. Rio de Janeiro: gen LTC, 2010. 9ª Edição.

BACHELARD, G. **A poética do Devaneio**. São Paulo: Martins Fontes, 1988. V Edição.

_____. **A formação do espírito científico**: contribuição para uma psicanálise do conhecimento. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996. 1ª Edição.

_____. [1938]. **A psicanálise do fogo**. São Paulo: Martins Fontes, 2008. 3ª Edição.

_____. [1942]. **A água e os sonhos**: Ensaio sobre a imaginação da matéria. São Paulo: Martins Fontes, 1998. 2ª Tiragem.

_____. [1943]. **O ar e os sonhos**: ensaio sobre a imaginação do movimento. São Paulo: Martins Fontes, 1990.

_____. [1947]. **A terra e os devaneios da vontade**: Ensaio sobre a imaginação das forças. São Paulo: Martins Fontes, 1990.

_____. [1947]. **A terra e os devaneios da vontade**: ensaio sobre a imaginação das forças. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

_____. [1957]. **A Poética do Espaço**. São Paulo: Martins Fontes, 1993.

_____. [1960]. **A poética do devaneio**. São Paulo: Martins Fontes, 1988.

_____. [1961]. **A chama de uma vela**. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand, 1989.

_____. [1962]. **Fragmentos de uma poética do fogo**. Trad.: Norma Telles. São Paulo: Brasiliense, 1990.

BARANAUSKAS, M. C. C.; VALENTE, J. A. (2013). Editorial. **Tecnologias, Sociedade e Conhecimento**, 1(1), 1-5. Acessado em 02/04/2023 as 13:00. Disponível em: <https://econtents.bc.unicamp.br/inpec/index.php/tsc/article/view/14436/9449>

BARBOSA, E.; BULCÃO, M. Bachelard - Pedagogia da razão e pedagogia da imaginação. 2ª edição. - Petrópolis, RJ: Vozes, 2011.

BRASIL. Parâmetros Curriculares Nacionais. Ensino médio. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Brasília ministério da educação, 1999.

BRASIL. Ministério da Educação. Dispõe a introdução, na organização pedagógica e curricular de cursos superiores reconhecidos, a oferta de disciplinas integrantes do currículo que utilizam modalidade semipresencial. Portaria nº 4.095 de dezembro de 2004. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/sesu/arquivos/pdf/port4059-2004.pdf>. Acessado em 16/02/2021.

BRASIL. Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação no contexto escolar: possibilidades. Base Nacional Comum Curricular. Acessado em <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/implementacao/praticas/caderno-de-praticas/aprofundamentos/193-tecnologias-digitais-da-informacao-e-comunicacao-no-contexto-escolar-possibilidades>. Ano 2018. Acessado em 10/03/2023, as 19:00.

BEDIN, E. Filme, experiência e tecnologia no ensino de ciências química: uma sequência didática. *Revista de Educação, Ciências e Matemática*, v. 9, n. 1, 2019 a. Disponível em:

<<http://publicacoes.unigranrio.edu.br/index.php/recm/article/view/4280>>. Acessado em 05/05/2022.

BOCCATO, V. R. C. **Metodologia da pesquisa bibliográfica na área odontológica e o artigo científico como forma de comunicação**. Rev. Odontol. Univ. Cidade São Paulo, São Paulo, v. 18, n. 3, p. 265-274, 2006. Disponível em <A pesquisa bibliográfica Cadernos da Fucamp, v.20, n.43, p.64-83/2021 <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/rdbci/article/view/1896>> Acesso em: 06 de maio de 2023.

CONSTANTINO, M. G; da Silva G. V. J; DONATE, P. M. **Fundamentos de Química Experimental**. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2014.

COSTA, V. M; RAPKIEWICZ, C. E; FILHO, M. G. Q; CANELA, M. C. Avaliação de *sites* educacionais de química e física: Um Estudo comparativo. IX Workshop de Informática na Escola – WIE – 2003. Páginas 545 a 554. Disponível em <http://ojs.sector3.com.br/index.php/wie/article/view/820/806>. Acessado em 06/03/2023, às 13:00.

COSTA, S. R. S; DUQUEVIS, B. C; PEDROZA, R. L. S. Tecnologias digitais como instrumentos mediadores da aprendizagem dos nativos digitais. Revista Quadrimestral da Associação Brasileira de Psicologia Escolar e Educacional, SP. Volume 19, Número 3, Setembro/Dezembro de 2015: pág. 603 - 610.

DIAS, V. N. **Ensino da química e TICs em Itambé – BA**. Revista científica FESA. v. 1, n. 3, 175-191. ISSN: 2676-0428, ano 2021.

FÉRRRES, J. **Vídeo e Educação**. 2ª edição, Porto Alegre, Artes Médicas, ano 1996.

GIESBRECHT, E. **O desenvolvimento do ensino da Química. Estudos Avançados**, [S. l.], v. 8, n. 22, p. 115-122, 1994. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/9685>. Acesso em: 12 ago. 2022.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 2008.

GHIRARDI, M. et al. ***A teaching sequence for learning the concept of chemical equilibrium in secondary school education***. In *Journal of Chemical Education*. vol. 91, n. 1, 2014, p. 59-65.

GONÇALVES, Kelly Meinerz. Ensino de ciências através de aplicações de tecnologias digitais para o ensino médio – uma pesquisa teórica. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 11., 2016, Florianópolis. Anais do XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Florianópolis: 2016.

IBGE. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios: síntese de indicadores 2014. Coordenação de Trabalho e Rendimento. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. P. 102.
JOHNSTONE, A. H. The development of chemistry teaching: A changing response to changing demand. *The Forum*, v. 70, n 9, p. 701-705. 1993.

JOHNSTONE, Alex H. Teaching of Chemistry – Logical or Psychological? *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, vol. 1, no. 1, 9 – 15. 2000.

KENSKI, Vani Moreira. **Educação e tecnologias: o novo ritmo da informação**. 8ªed. Campinas: Papyrus, 2012.

LATHAN, J.L. **Cinética elementar de reação**. Editora da Universidade de São Paulo. São Paulo. Ano: 1974

LEITE, B. S. **Tecnologias no Ensino de Química: Teoria e prática na formação docente**. 1.ed. Curitiba: Appris, 2015.

LEITE, B. S. Aprendizagem Tecnológica Ativa. *Revista Internacional de Educação Superior*, v 4, n 3, p. 580-609, 2018.

LEVENSPIEL, O. **Engenharia das reações químicas**. Editora Edgard Blucher Ltda. São Paulo. Volume 1 – Cinética química aplicada. Ano: 1974.

LÉVY, P. **Cibercultura**. Editora34. São Paulo. Pág. 17, 1999.

LIMA, J. F. L.; PINA, M. S. L.; BARBOSA, R. M. N.; JÓFILI, Z. M. S.; Acontextualização no ensino de cinética química. Química nova na escola, N. 11,2000. Disponível em <<http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc11/v11a06.pdf>>. Acesso em 27 abr. 2017.

LOPES, A, R, C. Livros didáticos: **Obstáculos a aprendizagem da ciência química**. Dissertação (Instituto de Estudos Avançados em Educação) – FGV. Rio de Janeiro, 1990.

MAIA, Rubi Gonçalves da; SCHIMIN, Eliane Strack. **Ilustrações: recurso didático facilitador no ensino de biologia**. In: PARANÁ. Secretaria de Estado da Educação. Superintendência de Educação. O professor PDE e os desafios da escola pública paranaense, 2007. Curitiba: SEED/PR., 2011. V.1. (Cadernos PDE). Disponível em: <<http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/pde/arquivos/1082-4.pdf>>. Acessado em 20/05/2023, as 16:00.

MONTEIRO, L. A. A internet como meio de comunicação: Possibilidades e limitações. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DA COMUNICAÇÃO, 24., ano 2001, Campo Grande. Anais... São Paulo: Intercom, 2001. P. 27 - 37.

MOORE, W. J. **Físico-química**. 4^o Edição. São Paulo: Edgard Blucher, 1976.

MORAN, J. M. **Como utilizar a Internet na educação**. Ciência da Informação, [S. l.], v. 26, n. 2, 1997. DOI: 10.18225/ci.inf.v26i2.700. Disponível em: <https://revista.ibict.br/ciinf/article/view/700>. Acesso em: 12 mar. 2023.

MORAN, José Manuel et al. **Novas tecnologias e mediação pedagógica**. 6. ed. Campinas: Papyrus, 2000.

MORAN, J. N. **Proposta de mudanças nos cursos presenciais com a educação “on-line”**. Revista da ABENO, v. 5, n. 1, p. 40 - 46, ano 2005.

MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H.; ROMANELLI, L. I. **A proposta curricular de química do Estado de Minas Gerais: fundamentos e pressupostos**. Química Nova, v. 23, p. 273-283, 2000.

MOTA, M. **A teoria dos obstáculos epistemológicos: Bachelard entre a epistemologia e a hermenêutica**. In: SANT'ANNA, C. (Org.). Gaston Bachelard: Ciência e Arte. Bahia: Editora UFBA, 2010.

MCMURRY, J. **Química orgânica volume 1**. São Paulo: Editora Thomson, 2005.

NETZ, P. A., ORTEGA, G. G.; **Fundamentos de Físico-Química: Uma abordagem conceitual para as ciências farmacêuticas**. Porto Alegre: Artmed, 2002.

PCNs - PARÂMETROS CURRICULARES NACIONAIS: Matemática/ Secretaria de Educação Fundamental – Brasília: MEC/ SEF, 1998. Disponível em: <<https://goo.gl/BJQMmx>>. Acesso em: 01 de maio de 2022.

PEREIRA, D. M.; SILVA, G. S. **As Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) como aliadas para o desenvolvimento**. Cadernos de Ciências Sociais Aplicadas, [S. l.], v. 7, n. 8, 2020. Disponível em: <https://periodicos2.uesb.br/index.php/ccsa/article/view/1935>. Acesso em: 16 dez. 2020.

RAVACHE, G. A. **A terceira geração da web**. Revista Época. N. 465, abr. 2006. Disponível em: <<http://revistaepoca.globo.com/Revista/Epoca/1,,EDG77010-6014,00.html>> Acessado em 07/02/2021.

REIS, J. M. C. dos. **Obstáculos epistemológicos: implicações na aprendizagem do conceito de átomo**. 2015.

ROZEMBERG, I. M. **Química Geral**. 2ª Edição. São Paulo: Editora Blucher, 2002.

RUSSELL, J. B.; **Química Geral**. Tradução e revisão técnica Márcia Guekezian. 2ª.ed. São Paulo: Pearson Makron Books v.II, 1994.

SCHIMAL, M. **Cinética e reatores aplicação na engenharia química**. Rio de Janeiro: Editora Synergia, 2010. 1º Edição.

SILVEIRA, F. A.; VASCONCELOS, A. K. P.; ALMEIDA, S. N.; NETO, M. B. S. **investigação dos obstáculos epistemológicos no ensino de química: uma abordagem no tópico modelos atômicos**. Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista. Vol. 9, n. 1. jan./abr. 2019.

SITE DO GOOGLE: <https://www.google.com/intl/pt-BR/search/howsearchworks/how-search-works/ranking-results/#relevance>. Acessado em 11/06/2023 às 22:00.

SOUZA, Paulo Henrique de. **Tempo, ciência, história e educação: um diálogo entre a cultura e o perfil epistemológico**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2008.

VALENTE, José Armando. Computadores e conhecimento: repensando a educação. Campinas: Gráfica da UNICAMP, 1993.

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2000.

XAVIER, A. C. S. Letramento digital e ensino. In: SANTOS, C. F. Mendonça, M. (Orgs.) Alfabetização e Letramento: Conceitos e relações. Belo Horizonte: Autêntica, 2005. V. 1, pág. 1 - 9.

YAMAMOTO, I. Metodologias ativas de aprendizagem interferem no desempenho de estudantes. 2016. 101 f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

8 ANEXO A – LISTA DE SITES PESQUISADOS

Site S1 – Site do querobolsa

<https://querobolsa.com.br/enem/quimica/cinetica-quimica>

Acessado em 07/05/2022, às 10:00.

Site S2 – Site do vaiquímica

<https://vaiquimica.com.br/cinetica-quimica/>

Acessado em 07/05/2022, às 11:00.

Site S3 – Conjunto de sites do Brasil escola da Uol

<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/velocidade-das-reacoes-quimicas.htm>

<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/cinetica-quimica.htm>

<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/lei-velocidade-das-reacoes-quimicas.htm>

<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/lei-velocidade-para-reacoes-nao-elementares.htm>

<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/concentracao-dos-reagentes-velocidade-das-reacoes.htm>

<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/condicoes-para-ocorrencia-reacoes-quimicas.htm>

<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/energia-ativacao.htm>

<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/fatores-que-alteram-velocidade-das-reacoes.htm>

<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/catalise-catalisador.htm>

<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/catalise-homogenea.htm>

<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/catalise-heterogenea.htm>

<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/autocatalise.htm>

Acessados em 07/05/2022, às 13:00.

Site S4 – Site do descomplica

<https://descomplica.com.br/d/vs/aula/exercicios-de-velocidade-das-reacoes/>

<https://descomplica.com.br/blog/resumo-cinetica-quimica/>

Acessado em 08/05/2022, às 17:00.

Site S5 – Site do marco engenheiro

<http://www.marco.eng.br/cinetica/trabalhodealunos/CineticaBasica/influencia.html>

<http://www.marco.eng.br/cinetica/trabalhodealunos/CineticaBasica/condicoes.html>

<http://www.marco.eng.br/cinetica/trabalhodealunos/CineticaBasica/velocidade.html>

<http://www.marco.eng.br/cinetica/trabalhodealunos/CineticaBasica/curiosidade.html>

Acessados em 09/05/2022, às 09:00.

Site S6 – Sites do cola da web

<https://www.coladaweb.com/quimica/fisico-quimica/cinetica-quimica>

<https://www.coladaweb.com/quimica/fisico-quimica/teoria-das-colisoes>

<https://www.coladaweb.com/quimica/fisico-quimica/catalise-e-catalisadores>

Acessado em 10/05/2022 as 09:00.

Site S7 – Material em pdf do IQ da USP

<http://www.iq.usp.br/hvlinner/CQ1.pdf>

Acessado em 10/05/2022 as 13:00.

Site S8 – Sites e vídeos-aula do Ciência em ação

<https://cienciaemacao.com.br/taxas-de-reacao-e-leis-de-velocidade/>

<https://cienciaemacao.com.br/velocidade-media-das-reacoes/>

<https://www.youtube.com/watch?v=bFyB6x9s->

[zM&list=PLL5oEOCI6YVI6WMiM0ibaOFR0jmA08cwp&index=3](https://www.youtube.com/watch?v=bFyB6x9s-zM&list=PLL5oEOCI6YVI6WMiM0ibaOFR0jmA08cwp&index=3)

https://www.youtube.com/watch?v=u_iVT2pRatU&list=PLL5oEOCI6YVI6WMiM0ibaO

[FR0jmA08cwp&index=3](https://www.youtube.com/watch?v=u_iVT2pRatU&list=PLL5oEOCI6YVI6WMiM0ibaOFR0jmA08cwp&index=3)

<https://www.youtube.com/watch?v=HxBhdvbTZE8&list=PLL5oEOCI6YVI6WMiM0iba>

[OFR0jmA08cwp&index=5](https://www.youtube.com/watch?v=HxBhdvbTZE8&list=PLL5oEOCI6YVI6WMiM0ibaOFR0jmA08cwp&index=5)

<https://www.youtube.com/watch?v=Bwp0tSkMTGU&list=PLL5oEOCI6YVI6WMiM0iba>

[OFR0jmA08cwp&index=5](https://www.youtube.com/watch?v=Bwp0tSkMTGU&list=PLL5oEOCI6YVI6WMiM0ibaOFR0jmA08cwp&index=5)

Acessado em 12/05/2022, às 10:00.

Site S9 – Site do proenem

<https://www.proenem.com.br/enem/quimica/cinetica-quimica-ii/>

<https://www.proenem.com.br/enem/quimica/cinetica-quimica-expressao-da-velocidade-e-lei-de-acao-das-massas/>

https://proenem.com.br/enem/quimica/cinetica-quimica-fatores-necessarios-para-que-uma-reacao-ocorra-fatores-que-alteram-a-velocidade-da-reacao-calculo-da-velocidade-media/?campaignid=1380473939&adgroupid=113261370636&adid=550360239793&gclid=CjwKCAjwp7eUBhBeEiwAZbHwkTEvkRwpcOxd6NtckEtpEtXHdB JmFvXER4K_nKFdNKuegyF6aMluxBoCOekQAvD_BwE

Acessado em 12/05/2022, às 13:00.

Site S10 – Site do rumoaoita

https://rumoaoita.com/wp-content/uploads/2016/12/cinetica_quimica_cinetica_quimica.pdf

Acessado em 26/05/2022, as 13:00.

Site S11 – Site do todoestudo

<https://www.todoestudo.com.br/quimica/cinetica-quimica>
<https://www.todoestudo.com.br/quimica/energia-de-ativacao>
<https://www.todoestudo.com.br/quimica/catalisador>

Acessado em 26/05/2022, as 15:00.

Site S12 – Site responde ai

https://www.respondeai.com.br/conteudo/quimica/cinetica-quimica?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=dsa&gclid=CjwKCAjws8yUBhA1EiwAi_tpER1ew07ebAJo21LBQ2LdT-J6frDZnTqtEK2WZj8YMKRrPkwOZ0ztrRoCijgQAvD_BwE

<https://www.respondeai.com.br/conteudo/quimica/cinetica-quimica/conceitos/tipos-de-catalisadores>

Acessado em 26/05/2022, as 17:00.

Site S13 – Site alfaconnection

<https://www.alfaconnection.pro.br/fisica/fisicoquimica/cinetica-quimica/velocidade-de-reacao/>

Acessado em 08/06/2022, as 20:00.

Site S14 – Sites do passeidireto

<https://www.passeidireto.com/arquivo/70561231/velocidade-de-reacao>

<https://www.passeidireto.com/arquivo/63560906/energia-de-ativacao>

Acessados em 09/06/2022, as 15:00.

Site S15 – Sites do soquímica

<https://www.soquimica.com.br/conteudos/em/cineticaquimica/>

<https://www.soquimica.com.br/conteudos/em/cineticaquimica/p1.php>

<https://www.soquimica.com.br/conteudos/em/cineticaquimica/p2.php>

<https://www.soquimica.com.br/conteudos/em/cineticaquimica/p3.php>

<https://www.soquimica.com.br/conteudos/em/cineticaquimica/p4.php>

<https://www.soquimica.com.br/conteudos/em/cineticaquimica/p5.php>

<https://www.soquimica.com.br/conteudos/em/cineticaquimica/p6.php>

<https://www.soquimica.com.br/conteudos/em/cineticaquimica/p7.php>

Acessados em 09/06/2022, as 17:00.

Site S16 – Site do UFJF

https://www2.ufjf.br/quimicaead/wp-content/uploads/sites/224/2013/03/APOSTILA-DE-CIN%3%89TICA-QU%3%8DMICA_EADQUI047.pdf

Acessado em 10/06/2022, as 14:00.

Site S17 – Site do stodi

<https://www.stodi.com.br/blog/quimica/cinetica->

[quimica/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_term=&utm_content=&utm_campaign=Pmax-](https://www.stodi.com.br/blog/quimica/cinetica-quimica/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_term=&utm_content=&utm_campaign=Pmax-)

[Purchase&gclid=CjwKCAjwnZaVBhA6EiwAVVyv9HP_n7nUDNGiv92IAEyyrr9qj4MFCR0201OwrJfnmL7Q7-AfXaKzEhoCTgwQAvD_BwE](https://www.stodi.com.br/blog/quimica/cinetica-quimica/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_term=&utm_content=&utm_campaign=Pmax-Purchase&gclid=CjwKCAjwnZaVBhA6EiwAVVyv9HP_n7nUDNGiv92IAEyyrr9qj4MFCR0201OwrJfnmL7Q7-AfXaKzEhoCTgwQAvD_BwE)

Acessado em 11/06/2022, as 8:00.

Site S18 – site do know

<https://know.net/cienciasexactas/quimica/velocidade-das-reacoes-quimicas/>

Acessado em 13/06/2022, as 22:00.

Site S19 – Site do ecivicufes

<https://ecivilufes.files.wordpress.com/2011/03/cin%3a9tica-qu%3admica-a-eng-civi-2008-2.pdf>

Acessado em 14/06/2022, as 9:00.

Site S20 – Sites do wikipedia

https://pt.wikipedia.org/wiki/Cin%3%A9tica_qu%3ADmica

https://pt.wikipedia.org/wiki/Ordem_de_rea%3%A7%C3%A3o

https://pt.wikipedia.org/wiki/Mecanismo_de_rea%3%A7%C3%A3o

https://pt.wikipedia.org/wiki/Energia_de_ativa%3%A7%C3%A3o

Acessado em 13/06/2022, as 19:00.