



Análise das representações visuais presentes nos itens de Química do ENEM

Juliana Leal Santos

**São Paulo
2023**

JULIANA LEAL SANTOS

**Análise das representações visuais
presentes nos itens de Química do ENEM**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática.

Orientadora: Profa. Dra. Elaine Pavini Cintra

São Paulo
2023

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

(Ficha catalográfica)

Preencha os dados no site (http://spo.ifsp.edu.br/ficha_catalografica.php) e a Biblioteca gerará uma ficha catalográfica semelhante ao quadro abaixo. Basta incluir o quadro recebido da biblioteca nesta página da sua dissertação.

A ficha catalográfica deve indicar o total de páginas do trabalho. Por isso, deixe para solicitar a ficha catalográfica após a banca de defesa, quando tiver a versão final da dissertação que será encadernada.

Essa página deve ser impressa no verso da folha de rosto da dissertação.

Catálogo na fonte
Biblioteca Francisco Montojos – IFSP Campus São Paulo
Dados fornecidos pelo(a) autor(a)

| | |
|---------|---|
| S237u | SOBRENOME, Marcelo Marmelo |
| | Título da dissertação / Nome do autor. São Paulo: [s.n.], 2020. 125 f. il. |
| | Orientadora: Ana Maria Souza Faria |
| | Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, IFP, 2020. |
| | 1. Ensino de Ciências. 2. Formação de Professores. 3. Formação em serviço. 4. CTSA. I. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo II. Título. |
| CDD 540 | |

JULIANA LEAL SANTOS

ANÁLISE DAS REPRESENTAÇÕES VISUAIS PRESENTES NOS ITENS DE QUÍMICA
DO ENEM

Dissertação apresentada e aprovada em
XX de XXXXX de 20XX como requisito
parcial para obtenção do título de Mestre
em Ensino de Ciências e Matemática.

A banca examinadora foi composta pelos seguintes membros:

Prof. Dr. Elaine Pavini Cintra
IFSP – *campus* São Paulo
Orientador e Presidente da Banca

Prof. Dr. José Otavio Baldinato
IFSP – *campus* São Paulo
Membro da Banca

Prof. Dr. Edson José Wartha
Universidade Federal de Sergipe
Membro da Banca

“...Um espelho não guarda as coisas refletidas!
E o meu destino é seguir...
é seguir para o Mar,
As imagens perdendo no caminho...
Deixe-me fluir, passar, cantar...
Toda a tristeza dos rios
É não poder parar!” Mario Quintana

AGRADECIMENTOS

RESUMO

SANTOS, Juliana Leal. **Análise das representações visuais presentes nos itens de Química do ENEM**. 2022. 109 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo. São Paulo, 2023.

Esta pesquisa de mestrado profissional tem como objetivo principal analisar representações visuais presentes nos itens que avaliaram conceitos de Química nas provas do ENEM e as possíveis influências dessas representações nos resultados dos estudantes que realizaram as provas nas edições de 2009 a 2019. No total, foram analisados 121 itens que avaliaram conhecimentos de Química com a presença de algum tipo de representação. A alfabetização científica, juntamente com o desenvolvimento do pensamento multinível, tem papel fundamental nos resultados do exame, o aluno precisa ser capaz de transpor o senso comum e articular de forma adequada as dimensões do conhecimento químico. A metodologia foi dividida em duas etapas, a primeira direcionada aos Microdados dos ENEM e filtragem das informações de interesse e a segunda voltada para análise dos itens, caracterização (ANDERSON, KRATHWOHL, 2001) e categorização (JOHNSTONE, 1993; ARAUJO, 2017), com a finalidade de traçar um perfil dos 11 anos de prova. Os resultados demonstram que quando comparamos itens com características semelhantes, principalmente em relação à Taxonomia de Bloom Revisada, àqueles que pertencem ao Suporte Representacional oferecem uma condição favorável na resolução do item em comparação com aqueles em que a linguagem específica da química está presente. Quando comparados itens com e sem representação, de modo geral, as representações não apresentam influência significativa nos resultados. O produto educacional resultante desta pesquisa é uma planilha onde constam categorias utilizadas no trabalho e permite que o professor ou estudante filtrem as informações de interesse e encontrem itens das edições do ENEM analisadas que apresentam essas características.

Palavras-chave: Representações. Categorização. Química. ENEM.

ABSTRACT

SANTOS, Juliana Leal. **Analysis of the visual representations present in ENEM's Chemistry items**. 2022. 109 F. Master's thesis (Master in Science and Mathematics Teaching) – Federal Institute of Education, Science and Technology of São Paulo. São Paulo, 2022.

The main objective of this professional master's degree research is to analyze the visual representations present in items that assessed Chemistry concepts in the ENEM tests and the possible influences of these representations on the results of students who took the tests in the 2009 to 2019 editions. In total, 121 items that assessed knowledge of chemistry with the presence of some kind of representation were analyzed. Scientific literacy, along with the development of multilevel thinking, plays a key role in the exam results, the student needs to be able to transpose common sense and adequately articulate the dimensions of chemical knowledge. The methodology was divided into two stages, the first directed to the Microdata of ENEM and filtering the information of interest and the second focused on the analysis of the items, characterization (ANDERSON, KRATHWOHL, 2001) and categorization (JOHNSTONE, 1993; ARAUJO, 2017), in order to draw a profile of the 11 years of the test. The results show that when comparing items with similar characteristics, mainly in relation to Bloom's Taxonomy Revised, those that belong to Representational Support offer a favorable condition in solving the item compared to those in which the specific language of chemistry is present. When comparing items with and without representation, in general, representations have no significant influence on the results. The educational product resulting from this research is a spreadsheet that contains categories used in the work and allows the teacher or student to filter the information of interest and find items of the analyzed ENEM editions that present these characteristics.

Keywords: Representations. Categorization. Chemistry. ENEM.

SUMÁRIO

| | |
|--|------------|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 10 |
| 1.1. EXAME NACIONAL DO ENSINO MÉDIO – NOVO ENEM | 13 |
| 1.2. OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS | 14 |
| 2. REFERENCIAL TEÓRICO | 16 |
| 2.1. O USO DAS REPRESENTAÇÕES NO ENSINO DE QUÍMICA..... | 16 |
| 2.1.1. CATEGORIZAÇÃO DE IMAGENS..... | 18 |
| 2.1.2. IMAGENS COM SUPORTE REPRESENTACIONAL, HABILIDADE E LINGUAGEM NATURAL | 21 |
| 2.1.3. CLASSIFICAÇÃO DE IMAGEM SEGUNDO O TRIÂNGULO DE JOHNSTON | 22 |
| 2.1.4. TAXONOMIA DE IMAGENS SEGUNDO PERALES E JIMÉNEZ | 24 |
| 2.2. TAXONOMIA DE BLOOM REVISADA | 26 |
| 3. METODOLOGIA..... | 29 |
| 3.1. MICRODADOS DO ENEM | 29 |
| 3.2. SELEÇÃO DE CRITÉRIOS PARA CATEGORIZAÇÃO DOS ITENS DE QUÍMICA DO ENEM | 31 |
| 3.4. ITENS COM SUPORTE HABILIDADE E REPRESENTACIONAL | 35 |
| 3.4.1. CATEGORIA I – ITENS COM SUPORTE REPRESENTACIONAL | 35 |
| 3.4.2. CATEGORIA II – ITENS COM SUPORTE HABILIDADE | 35 |
| 3.4.3. CATEGORIA III – ITENS COM LINGUAGEM NATURAL | 36 |
| 3.5. TAXONOMIA DE BLOOM REVISADA | 36 |
| 3.6. O USO DO MÉTODO GRÁFICO <i>BOXPLOT</i> PARA INTERPRETAÇÃO DE DADOS..... | 37 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES | 38 |
| 4.1. ANÁLISE DAS CATEGORIAS DE JOHNSTONE..... | 44 |
| 4.2. ANÁLISE DOS ITENS QUANTO AO SUPORTE REPRESENTACIONAL HABILIDADE E LINGUAGEM NATURAL | 56 |
| 4.2. ANÁLISE DOS DADOS SEGUNDO A TAXONOMIA DE BLOOM REVISADA | 61 |
| 4.3. ANÁLISE DOS DADOS DE DESEMPENHO DOS ESTUDANTES..... | 68 |
| 4.4. ANÁLISE RELACIONAL ENTRE AS CATEGORIZAÇÕES..... | 80 |
| 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 102 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 105 |
| PRODUTO EDUCACIONAL..... | 109 |

1. INTRODUÇÃO

Iniciarei este trabalho com uma breve apresentação da minha trajetória e dos caminhos que me levaram a pensar nesse projeto. Sou formada pelo IFSP em Licenciatura em Química, quando iniciei a graduação não tinha certeza ainda se queria seguir a carreira docente, mas durante o curso o meu interesse foi aumentando, principalmente quando comecei a fazer as disciplinas voltadas para o ensino e os estágios. Realizei algumas iniciações científicas durante a graduação, e umas delas derivou o meu trabalho de conclusão de curso. Essa iniciação científica foi realizada em um grupo de pesquisa da USP, um trabalho experimental na área de eletroquímica, que me despertou também para a pesquisa em química. Em 2013, ano que me formei, foi também o ano do último concurso para professores do Estado. Diante desse cenário, o meu plano A era entrar no Mestrado na USP e continuar na área de pesquisa do meu TCC, e o meu plano B era o concurso do Estado. Eu passei no concurso, e então decidi viver essa experiência de sala de aula. Eu escolhi a escola em que estudei durante o ensino fundamental II e a 1ª série do Ensino Médio, pois tenho um carinho muito grande por ela e uma gratidão por todas as coisas boas que vivi lá, então queria retribuir parte desse aprendizado que eu tive como aluna. Desde o início do meu trabalho como professora tive uma preocupação com os vestibulares, e principalmente o ENEM, porque acreditava que para a realidade dos alunos com que trabalhava era uma prova que poderia abrir muitas portas e o acesso para a realização dela também era mais fácil se comparada com outros vestibulares, principalmente com relação a isenção para realizar a prova, além das bolsas de estudos por meio do Prouni que os estudantes também poderiam optar. Assim, sempre trabalhei com itens de química do ENEM nas minhas aulas. Não formamos os estudantes só para os vestibulares, existem outros objetivos também, igualmente importantes ou até mais, mas sempre reconheci essa preparação para o vestibular como uma parte significativa na formação do estudante.

Os alunos com que tenho trabalhado nesses 8 anos de profissão muitas vezes não tem nenhuma perspectiva de vida, muitos deles não sonham com uma profissão, uma condição socioeconômica melhor, não tem um projeto de vida, por isso, sempre trouxe esse assunto dos vestibulares para aula, no sentido de compartilhar com eles as informações e conhecimentos que eu tinha sobre esse assunto, para que isso fosse considerado como uma possibilidade, principalmente por eu acreditar que o estudo é um caminho, senão o único, para termos melhores condições de vida, principalmente quando somos da periferia onde as oportunidades são infinitamente menores. Assim, trabalhar com os conteúdos de química recorrentes nesses vestibulares fazia parte desse processo de preparação. Foi assim que surgiu o interesse pelas provas do ENEM e de onde derivou o projeto do Mestrado. Acredito que um conhecimento

mais aprofundado dessas provas, de suas características estruturais, das áreas, das habilidades, enfim, da prova como um todo, irá contribuir para um planejamento mais adequado e efetivo para atingir esses objetivos, e para orientar os alunos que desejarem estudar por conta própria, considerando professores que também veem a preparação para o vestibular como parte importante na formação do estudante do Ensino Médio.

O Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) é o maior instrumento de acesso ao ensino superior público no Brasil e aos programas de auxílios financeiros do governo (BRASIL, 2022). Os itens do ENEM são compostos de um texto-base, enunciado e cinco alternativas, sendo apenas uma delas correta (ARAÚJO, 2017). Em muitos itens de Química, o texto-base possui representações com alguma linguagem simbólica, específica da Química. Dada essa característica da prova, associada com a sua importância no cenário nacional, reconhecemos a relevância de se refletir e se compreender como o uso de representações submicroscópicas e simbólicas na descrição e explicação de conceitos científicos e processos químicos pode ser um obstáculo para a resolução destes itens pelos estudantes. Portanto, faz parte do trabalho do professor, considerando a natureza abstrata da ciência, reconhecer a necessidade de auxiliar os estudantes no desenvolvimento da habilidade de articular conceitos científicos com aspectos fenomenológicos e representacionais e ser capaz de fazer o uso das representações como recurso para isso (ARAÚJO, 2017). O uso de imagens nas aulas constitui parte fundamental das práticas de ensino e, principalmente na ciência, as imagens apresentam papel ainda mais significativo já que representam uma tentativa de explicar e representar o entendimento químico da realidade (GIBIN; FERREIRA, 2013; SILVA et al., 2006).

A interpretação dessas imagens exige conhecimentos científicos, mas também de leitura visual. Para ficar mais claro, se faz necessário diferenciar a alfabetização científica e alfabetização gráfica, que neste cenário, tem papéis complementares. A expressão alfabetização científica pode ser definida “como a capacidade de ler, compreender e expressar opinião sobre assuntos que envolvam a Ciência, e parte do pressuposto de que o indivíduo já tenha interagido com a educação formal, dominado, desta forma, o código escrito” (LORENZETTI; DELIZOICOV, 2001, p. 47). Para Rodrigues e Vestena (2013) o aluno é considerado alfabetizado cientificamente quando é capaz de transpor o senso comum e assim, descrever fenômenos da natureza por meio de conceitos e linguagem científica apropriadas, e, nesse sentido, a escola se faz como um instrumento fundamental para promover o desenvolvimento desses conhecimentos científicos necessários para a compreensão do mundo. Essa expressão também é utilizada quando se considera que em virtude desse conhecimento, serão formados cidadãos capazes de fazer intervenções conscientes na sociedade, de modo que contribua para o desenvolvimento e melhoria do meio em que vive. Segundo Pereira (2013, p. 17) a alfabetização científica tem o propósito de “proporcionar aos estudantes os conhecimentos, habilidades e atitudes que lhes permitam compreender e saber aplicar os saberes científicos para se desenvolverem como cidadãos na sociedade do século XXI.

As sociedades modernas precisam comunicar grandes quantidades de conhecimento e, portanto, precisam de meios eficazes para transmitir informações complexas. A linguagem visual frequentemente é considerada uma ferramenta útil para isso, porque podem apresentar várias informações de forma integrada e eficiente. Embora a comunicação visual se torne cada vez mais importante, os indivíduos nem sempre estão preparados para usá-las adequadamente como uma ferramenta de comunicação e transmissão de conhecimento. A alfabetização visual pode, portanto, ser considerada como o conhecimento sobre as possibilidades de exibir informações visualmente, a habilidade de comunicar informações por meio de imagens, gráficos ou diagramas realistas e a habilidade de entender essa linguagem quando geradas por outras pessoas (BARQUERO; SCHNOTZ; REUTER, 2000).

No ensino de química, esses conhecimentos gráficos e científicos se complementam, já que podemos ter os saberes químicos apresentados em diferentes níveis de representação e apresentados por meio de diversas formas visuais. Uma situação-problema pode convidar o estudante a interpretar um gráfico, mas que tem a presença de uma linguagem simbólica, e a sua resolução requer a integração entre esses dois conhecimentos.

A representação não-verbal no ensino de Química tem uma importância significativa, faz parte do ensinar e aprender Química, assim, tem papel fundamental nos resultados dos

estudantes em avaliações de larga-escala, como por exemplo o ENEM, que, como já informado, em grande parte dos seus itens apresentam algum tipo de representação visual. Desenvolver e aplicar o pensamento químico na análise e resolução de tarefas relevantes é um processo complexo e com alta demanda cognitiva. Os estudantes precisam compreender de forma significativa uma variedade de fundamentos, conceitos e ideias e serem capazes de representar e conectar propriedades e fenômenos nos níveis macroscópico e submicroscópico, usando simbologia química. Além disso, eles precisam também dominar os tipos de raciocínios adequados para prever, julgar e justificar ações e resultados (TALANQUER, 2018). O estudo das representações permite analisar de que forma elas podem ser classificadas no sentido de compreender melhor suas especificidades, como podem ser utilizadas como ferramenta de avaliação, e pode contribuir no entendimento de quais os principais obstáculos associados ao seu aprendizado.

1.1. Exame Nacional do Ensino Médio – Novo ENEM

O Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) foi criado em 1998 com o objetivo geral de avaliar o desempenho escolar dos estudantes ao final da educação básica. Em 2009, a portaria Nº 109, de 27 de maio de 2009 publicada no Diário Oficial da União, seção 1, trouxe as novas disposições quanto aos objetivos e características do novo ENEM, com transformações em sua metodologia e, além disso, passou a ser utilizado como ferramenta de acesso ao ensino superior.

Dentre os objetivos específicos estão: autoavaliação dos estudantes em relação a continuidade dos estudos e mundo do trabalho; critério de avaliação alternativa ou complementar para cursos profissionalizantes e de Ensino Superior; acesso a programas governamentais; certificação de conclusão do Ensino Médio para jovens e adultos; referência para avaliação de desempenho acadêmico dos estudantes de Ensino Médio (BRASIL, 2020).

O “Novo ENEM” passou a ser aplicado em dois dias e dividido em quatro áreas do conhecimento, denominadas: Linguagens, códigos e suas tecnologias; Ciências humanas e suas tecnologias; Ciências da natureza e suas tecnologias; e Matemática e suas tecnologias. Assim, o exame é constituído de 4 provas objetivas com 45 questões cada, totalizando 180 questões, além de uma redação. As questões têm como característica partirem de situações-problema contextualizadas, com ênfase nas vivências dos estudantes, valorizando seu raciocínio e não focada em conteúdos memorizados. A prova de Ciências da Natureza é composta de oito competências presentes na Matriz de Referência da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, abordando situações-problema que evocam conhecimentos das Ciências Naturais para sua resolução (INEP, 2014).

O ENEM, como já citado, é utilizado como critério de seleção para os estudantes que desejam participar dos programas governamentais, tais como processos de bolsa no Programa Universidade para Todos (ProUni) e ao Fundo de Financiamento Estudantil (Fies). Por meio da inscrição ao Sistema de Seleção Unificada (Sisu), o estudante concorre a vagas em instituições federais de ensino superior em todas as regiões do país, sem necessidade de se locomover e fazendo uso de um único instrumento de avaliação. Atualmente, cerca de 500 universidades já usam o resultado do exame como critério de seleção ao ingresso no ensino superior, seja de forma complementar ou substituindo o vestibular (BRASIL, 2020).

Trata-se de uma prova acessível, uma vez que há a isenção de taxa para estudantes que estão cursando a última série do ensino médio em escola da rede pública, e para pessoas em situação de vulnerabilidade socioeconômica que possuam o Número de Identificação Social (NIS).

Os dados do ENEM são utilizados como material de estudo e indicadores educacionais. Inclusive, sua influência tem sido cada vez mais reconhecida e debatida, no sentido em que o exame tem direcionado mudanças na educação do Brasil, na reformulação do currículo escolar, na formulação de novas abordagens e metodologias (DE MEDEIROS; NETO, 2018).

1.2. Objetivos gerais e específicos

Esta pesquisa tem como objetivo principal verificar possíveis relações entre os aspectos representacionais, inerentes à linguagem química, no desempenho dos estudantes nos itens de química do ENEM, nas edições de 2009 a 2019. Esta análise irá se limitar aos estudantes do Brasil, concluintes do Ensino Médio no ano de aplicação da prova, com participação válida no exame, ou seja, presentes nos dois dias de prova, de escolas públicas e privadas. Este objetivo parte da hipótese de que a alfabetização científica e gráfica é parte fundamental da formação dos estudantes do Ensino Médio e pode ser um diferencial frente às avaliações de larga-escala, que valorizam este tipo de conhecimento, e são portas de entrada para o Ensino Superior. Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- Identificar, caracterizar e categorizar os itens de Química da prova de Ciências da Natureza do ENEM, das edições de 2009 a 2019;
- Inferir sobre de que forma as representações estão sendo utilizadas como ferramenta de avaliação e se existe relações entre essas representações e o desempenho dos estudantes nesses itens.

- Reconhecer padrões e relações entre as categorias estabelecidas, os tipos de representações presentes e os resultados dos estudantes nos itens de Química do ENEM, para todas as dependências administrativas (Federal, Estadual, Municipal e Particular) no sentido de ter uma visão mais aprofundada das características dos itens de Química e do perfil da prova nestes 11 anos de ENEM que estão sendo analisados.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. O uso das representações no ensino de Química

A alfabetização visual é decisiva na compreensão e retenção de imagens. Costuma-se pensar erroneamente que a interpretação de imagens, mesmo aquelas que contêm um alto nível de abstração, depende de habilidades intuitivas, naturalmente inseridas nos sistemas de processamento visual e este é um dos erros mais frequentes que professores e autores de livros didáticos tendem a cometer (LÓPEZ; BARRIGA, 2005). A imagem também é caracterizada por sua polissemia, por isso, é muito difícil prever qual será a interpretação de uma ilustração dada por uma pessoa. Essa especificidade da imagem, como instrumento de comunicação ambígua, coloca um problema educacional que afeta os editores, os professores que a utilizam e o próprio estudante (PERALES; JIMÉNEZ, 2002).

O termo “representação” é usado frequentemente na literatura de ensino de ciências, de maneira ambígua, não diferenciando representações internas ou externas. Podemos considerar as representações em ciências como sendo equações, gráficos, diagramas etc. como uma manifestação externa de modelos internos de especialistas; outra forma é considerá-las como o ponto de partida para o aluno desenvolver representações internas ricas e suas modificações a partir das relações que estabelece (PANDAE; CHANDRASEKHARAN, 2016). Assim, as representações externas podem ser entendidas como a linguagem visual utilizada para representar um fenômeno estudado e como instrumento para comunicar resultados de trabalhos científicos (PEREIRA, 2013). Já a representação interna ou mental seria “a representação do “real” na consciência” (WARTHA; REZENDE, 2011, p. 277). Segundo Perales (2006, p. 14) a representação é uma imagem mais específica, de caráter exclusivamente gráfico, e que acompanha os textos escritos com a intenção de complementar a informação fornecida. Outra definição é apresentada por Uttal e O’Doherty (2008 apud TERUYA; MARSON, 2011, p. 2) que definem representação como “qualquer tipo de representação física concebida para tornar visível um conceito que é abstrato”. Outros termos podem ser utilizados com o mesmo significado de representações: imagem, representações visuais, ilustrações e visualizações. Segundo Perales (2006, p. 14) imagem é uma representação de seres, objetos ou fenômenos, com caráter gráfico, fundamentalmente em suporte papel ou audiovisual, ou mental, de um processo de abstração mais ou menos complexo. Assim, podemos entender as imagens como um termo geral e as representações visuais como mais específica. Ao analisar as representações visuais devemos ainda considerar seus aspectos formais e semânticos. Os aspectos formais se referem como as ilustrações são feitas e organizadas no texto, enquanto o aspecto semântico se

refere ao significado que elas têm para o leitor (PERALES; JIMÉNEZ, 2002). Neste trabalho, iremos considerar visualizações como sendo todo tipo de imagem que se refere a um fenômeno, teorias, modelos e simbologia, específica da Química, como por exemplo fórmulas químicas, símbolos químicos, gráficos, diagramas, equações matemáticas, esquemas, fluxogramas, e desenhos de partículas atômicas ou de arranjos atômicos.

A Química é essencialmente constituída por três elementos básicos: a macroquímica (tangível, visível); a submicroquímica (moléculas, átomos, íons) e a química representacional (símbolos, equações, estequiometria, matemática), os químicos profissionais são capazes de transitar facilmente entre esses três níveis de representação (JOHNSTONE, 1993). Mortimer, Machado e Romanelli (2000, p. 276) propõem uma releitura do triângulo de Johnstone, mas do ponto de vista didático, considerando três aspectos do conhecimento químico: fenomenológico, teórico e representacional. Segundo eles, o aspecto fenomenológico se refere aos fenômenos de interesse da química, relacionados aos materiais, as suas transformações e relações sociais. O aspecto teórico está relacionado com as teorias e modelos atômico-molecular que nos ajudam a compreender o fenomenológico do ponto de vista microscópico. O aspecto representacional apresenta a natureza simbólica dos conteúdos químicos, é a linguagem específica da química que inclui as fórmulas, equações químicas, gráficos, equações matemáticas e diagramas. Trata-se de uma outra forma de representar o fenômeno considerado.

Dentro de um contexto de aula de Química, o fenomenológico pode se referir a uma propriedade dos materiais (densidade, temperatura de fusão e ebulição, solubilidade); uma situação do cotidiano (o portão que está “enferrujando”, o funcionamento de uma pilha alcalina, o processo de fermentação do pão); uma atividade experimental; um processo industrial. Utilizando, como exemplo, uma aula experimental sobre reações que envolvem a liberação e absorção de energia na forma de calor, a atividade experimental é o fenomenológico. As teorias que explicam o experimento, neste caso, o conceito de entalpia para processos endotérmicos e exotérmicos, é o aspecto teórico; os diagramas de entalpia que representam as reações químicas, traduzindo-as em uma linguagem química, é o aspecto representacional.

Quando esses três aspectos não são apresentados de forma clara aos estudantes, de modo que eles consigam diferenciar as três dimensões, ou seja, entender o que significa cada uma delas e o seu papel na explicação de determinado fenômeno, para então integrá-las e ser capaz de relacioná-las, dificilmente o estudante irá conseguir interpretá-la da forma correta, quando se deparar com uma representação que contenha um, dois ou três desses níveis representacionais. Outro ponto relevante, é o estudante entender a representação como uma linguagem química para explicar aquele fenômeno e não como sendo a própria realidade, essa confusão pode levar a diversas concepções alternativas que irão dificultar o entendimento científico da situação em questão. Por isso, os professores precisam ter consciência da importância que esses aspectos têm no ensino de química.

2.1.1. Categorização de imagens

Podemos dizer, que nas ciências da natureza, de modo geral, a linguagem se apresenta como um fator essencial no entendimento e aplicações do conhecimento. Aprender ciência implica aprender a falar em sua própria linguagem e a se comunicar por meio dela, seja na escrita, na leitura, em discussões, análises, julgamentos, na formulação de hipóteses, ao resolver problemas, na vida cotidiana e inclusive ensinando. Aprender essa linguagem específica é como aprender um novo idioma, já que ela tem seu próprio modelo semântico e sua forma de construir significados. Assim, é necessário praticar e aplicá-la nas mais diversas situações em que é possível fazer seu uso (LEMKE, 1997). Nesse sentido, o caráter representacional do conhecimento químico implica na competência de elaborar modelos explicativos que fazem uso da linguagem da química, seja com átomos, moléculas, equações químicas, entre outros, e utilizá-los na construção do conhecimento químico em relação a determinado fenômeno (WARTHA; REZENDE, 2011).

O pensamento dos alunos está diretamente relacionado com elementos sensoriais, por isso, há grande dificuldade na aprendizagem de representações associadas aos conceitos abstratos. Além disso, sem conhecimento conceitual substancial e habilidade visual-espacial, os alunos são incapazes de converter uma dada representação em outra. Para isso, eles precisam de conhecimentos e habilidades para gerar interpretações, construir relações e manipular mentalmente essas representações. Por exemplo, para decompor uma fórmula química em uma estrutura, ou seja, reconhecer nesta fórmula os elementos químicos constituintes, a sua natureza, o tipo de ligação que existem entre eles, é necessário que os alunos recuperem informações conceituais e visuais e construam conexões com as ligações químicas e as formas de representar as moléculas. O conhecimento conceitual juntamente com as imagens mentais, podem ser ferramentas cognitivas para que os alunos demonstrem habilidades representacionais. Por meio de discussões ou negociação de significados e definições, em uma classe ou em grupos, os alunos seriam capazes de entender as limitações e as vantagens de usar múltiplas formas de representações e aprender a usar apropriadamente diferentes modelos na resolução de problemas, assim como os químicos (WU; KRAJCIK; SOLOWAY, 2001).

Reconhecer as representações como recurso didático no ensino das ciências juntamente com inúmeras dificuldades atreladas a ela, é parte fundamental para o desenvolvimento dessa pesquisa. Inicialmente, realizou-se uma revisão de literatura com o objetivo de encontrar trabalhos que apresentassem propostas de categorização para as representações visuais, na área de Ciências da Natureza. Essa pesquisa foi publicada como capítulo intitulado “As Representações Visuais Em Química: Em Busca De Categorizações” (SANTOS, CINTRA, 2021) no livro *Perspectivas e Práticas Docentes no Ensino de Ciências* (MEMBIELA, CEBREIROS, VIDAL, 2021), que reuniu os trabalhos apresentados no V Congresso Internacional de Ensino de Ciências - SIEC 2020. Na elaboração deste texto, foram selecionados trabalhos disponíveis na literatura. Foram utilizados três bancos de dados, SciELO, Google Acadêmico e Portal da Capes, e a seleção dos trabalhos pertinentes foi feita com base nos títulos e leitura dos resumos com o objetivo de escolher somente os trabalhos com propostas de categorias e agrupamentos envolvendo as representações visuais. O Quadro 1 apresenta uma visão geral dos trabalhos selecionados, incluindo ano de publicação, tipo de categoria/agrupamento utilizado para classificação das representações visuais, tipo de trabalho (monográfica, artigo ou dissertação), material de análise (livros didáticos, provas de larga-escala ou revisão de literatura) e área do conhecimento (Química, Física, Matemática, Ciências).

No Quadro 1 são listadas cinco propostas diferentes de categorização de imagens, sendo que a de Perales e Jiménez é a única que se repete em mais trabalhos, para diferentes áreas do conhecimento e material de análise, o que demonstra sua aplicabilidade e aceitação. Além disso, os trabalhos são relativamente recentes já que o mais antigo é do ano de 2002, o que pode ser interpretado como uma preocupação atual em compreender como as visualizações estão sendo apresentadas em livros didáticos e provas de larga-escala, quais as dificuldades associadas ao seu uso e interpretação e a importância da alfabetização visual no ensino de ciências.

Quadro 1: Categorização de representações.

| Autor(es) | Ano | Categorização de imagens | Tipo de trabalho | Material de análise | Área do conhecimento |
|--------------------------------|------------|------------------------------------|-------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| PERALES, F. J.; JIMÉNEZ, J. D. | 2002 | Perales e Jiménez | Artigo | Livros didáticos | Física |
| WARTHA, E. J.; REZENDE, D. B. | 2011 | Semiótica de Peirce | Artigo | Revisão de literatura | Química |
| GAUDÊNCIO, J. S. | 2015 | Perales e Jiménez | Dissertação | Provas de larga-escala | Química |
| KAGI, K. R. | 2015 | Levin | Dissertação | Livros didáticos | Matemática |
| ARAÚJO, R. F. R. | 2017 | Própria | Dissertação | Provas de larga-escala | Ciências da Natureza |
| SOUZA, I. P. M. | 2018 | Perales e Jiménez; Johnstone-Kiill | Dissertação | Livros didáticos | Química |
| SANTOS, G. S. | 2018 | Perales e Jiménez | Monografia | Provas de larga-escala | Química |

Fonte: Autoria própria.

A leitura destes trabalhos mostrou que há uma necessidade não só em classificar estas representações, mas também em compreender melhor o seu uso no processo de ensino-aprendizagem, sua função dentro de um texto ou exercícios, e as dificuldades relacionadas com a sua interpretação.

As categorizações apresentadas têm propostas diferentes quanto à classificação das visualizações, mas todas apresentam uma preocupação com a relação que elas estabelecem com a pessoa que irá interpretá-la, ou seja, quais os conhecimentos envolvidos neste processo, quais habilidades se fazem necessárias, conhecimentos científicos específicos para sua leitura, e a possibilidade de vincular conhecimentos novos com conhecimentos prévios. A pesquisa também levantou a possibilidade de se trabalhar com uma categorização mista das visualizações, de modo que uma seja complementar a outra e propiciando uma visão panorâmica das contribuições de cada categoria e como elas se relacionam (SANTOS; CINTRA, 2021).

2.1.2. Imagens com suporte representacional, habilidade e linguagem natural

Araújo (2017) propõe em sua dissertação uma categorização dos itens de Ciências da Natureza e suas Tecnologias do Exame Nacional do Ensino Médio, das edições de 2012 a 2014. Os itens foram classificados em três categorias: suporte representacional, suporte habilidade e linguagem natural. Esta classificação foi feita com base na matriz de referência do ENEM, com relação direta às competências e habilidades identificadas nos itens analisados. Os itens foram classificados como pertencentes à categoria suporte linguagem natural são aqueles em que não há a presença de representações, com predominância de texto em sua estrutura. São itens em que a leitura e a interpretação, com base nos conhecimentos científicos, de forma teórica, têm papel principal na sua resolução. Já os itens classificados como suporte representacional são aqueles que não indicam necessidade de habilidade com relação às representações, tais como equações químicas, fórmulas moleculares, gráficos, entre outros. A categoria suporte habilidade é aplicada nos itens que necessitam de conhecimentos da linguagem científica, e está atrelada a três habilidades da matriz de referência, H17, H24 e H25 (ver Tabela 1). Em sua resolução, o estudante precisa reconhecer, entender e saber utilizar essa linguagem para representar fenômenos e transformações química.

Tabela 1: Habilidades da matriz de referência - Item Suporte Habilidade

| Código da Habilidade | Definição |
|----------------------|---|
| H17 | Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica. |

| | |
|------------|--|
| H24 | Utilizar códigos e nomenclatura da química para caracterizar materiais, substâncias ou transformações químicas. |
| H25 | Caracterizar materiais ou substâncias, identificando etapas, rendimentos ou implicações biológicas, sociais, econômicas ou ambientais de sua obtenção ou produção. |

Fonte: (INEP, 2022, p. 9)

Esta classificação apresenta uma abordagem mais simplificada quanto à interpretação das visualizações, mostrando um panorama mais geral com relação aos tipos de representações visuais presentes nos itens de Ciências da Natureza do ENEM. Mostra-se como uma classificação relevante para se realizar inicialmente e a partir dela, de acordo com os objetivos do trabalho, se aprofundar na categoria de interesse. É interessante também quando se quer ter um olhar mais quantitativo com relação à presença das representações em provas, no sentido de identificar as diferenças quanto aos resultados dos estudantes quando há ou não o uso de visualizações.

2.1.3. Classificação de imagem segundo o triângulo de Johnston

Souza (2018) apresenta em sua dissertação de Mestrado uma proposta de classificação e quantificação das imagens presentes nos livros de química da segunda série do ensino médio, aprovados no PNL D 2015, especificamente nos temas Soluções e Propriedades Coligativas, segundo duas categorizações de imagens distintas. A primeira, é a taxonomia de imagens proposta por Perales e Jiménez. O autor realiza também uma segunda classificação, com base no triângulo de Johnstone.

Ensinar conceitos químicos requer levar em consideração as imagens no processo de ensino, principalmente para conteúdo que apresenta alto grau de abstração (KIILL, 2009). A compreensão de um fenômeno químico, com já citado anteriormente, envolve concepções em, pelo menos três dimensões, descritas no Triângulo de Johnstone (1993, p. 702): a macroquímica, a submicroquímica e a química representacional. Há necessariamente correlações entre as três dimensões desse triângulo para compreensão completa do fenômeno e muitas vezes, os elementos dessas dimensões podem coexistir numa imagem (KIILL, 2009). O Quadro 2 apresenta as subcategorias e definições desta classificação proposta por Kiill e fundamentada no trabalho de Johnstone que menciona a dimensão do conhecimento químico representada pela imagem (SOUZA, 2018).

Quadro 2: Classificação de imagem segundo o triângulo de Johnstone.

| | Categoria | Definição |
|-----|------------------------|---|
| JK1 | Macroscópico | Representação de algo observável. |
| JK2 | Macrosimbólico | Representação de material ou fenômeno considerando aspectos macroscópico e simbólico. |
| JK3 | Simbólico | Representação de símbolos, equações, gráficos que expliquem o fenômeno ou o material. |
| JK4 | Submicrosimbólico | Representação de material ou fenômeno considerando aspectos submicroscópico e simbólico. |
| JK5 | Submicroscópico | Representação do modelo explicativo em nível atômico-molecular para o fenômeno macroscópico. |
| JK6 | Macrosubmicroscópico | Representação de determinado material ou fenômeno considerando os aspectos macroscópico e submicroscópico. |
| JK7 | Macrosubmicrosimbólico | Representação de determinado material ou fenômeno considerando os aspectos macroscópico, submicroscópico e simbólico. |

Fonte: (SOUZA, 2018).

O autor apresenta ainda uma classificação criada a partir da necessidade de diferenciar as imagens com relação às informações que ela traz. São propostas duas categorias: Imagem Enriquecedora (IE) quando a imagem traz novas informações em relação ao texto; e Imagem Reforçadora (IR) quando a imagem apresenta somente as informações já apresentadas no texto, reforçando estas informações (SOUZA, 2018).

Esta classificação é interessante, principalmente ao considerar a área da Química e as representações visuais presentes em livros didáticos e provas de larga-escala já que considera os três elementos básico constituintes da Química. Pode ser compreendida como uma classificação simplificada quanto à relação imagem-texto. Considerando os itens de Química do ENEM, se mostra como uma categorização pertinente, específica para a área, e que pode ser acompanhada de uma segunda categorização, fazendo uso de uma classificação mista, assim como a realizada na dissertação em questão.

2.1.4. Taxonomia de imagens segundo Perales e Jiménez

Perales e Jiménez (2002) apresentam em seu artigo uma proposta de taxonomia para 727 ilustrações presentes em nove livros do 4º ano do ensino médio obrigatório. Todos os procedimentos para elaboração, validação e reprodutividade da taxonomia são descritos no texto. A proposta estabelece categorias de análises de acordo com (1) Função da sequência didática em que aparecem as ilustrações; (2) Iconicidade; (3) Funcionalidade; (4) Relação com o texto principal; (5) Etiquetas verbais e; (6) Conteúdo científico que os suporta. Cada uma destas categorias apresenta subcategorias, de modo que a análise alcançada com esta taxonomia é muito detalhada e objetiva. As categorias serão descritas a seguir:

1. Função da sequência didática que aparecem as ilustrações: se refere a utilidade da imagem e em que passagem do texto são colocadas, podendo, assim, fazer referência a um fato da experiência cotidiana, ser um exemplo que estende ou consolida uma definição, ser uma passagem explicativa na qual conceitos teóricos são usados para descrever as relações entre eventos experimentais.

2. Iconicidade: se refere ao grau de complexidade que as imagens possuem, ou grau de simbolização. Assim, as imagens menos realistas requerem maior conhecimento do código simbólico usado. São exemplos desta categoria imagens de objetos imitando a realidade, representação de ações ou magnitudes não observáveis, desenhos esquemáticos, dentre outros.

3. Funcionalidade: está relacionada com a função da ilustração dentro do texto, podendo exigir dos alunos um maior ou menor grau de conhecimento. Em sala de aula é comum o uso de uma diversidade de formas de expressão por meio de ilustrações e, tanto as imagens usadas pelo professor quanto aquelas presentes nos livros didáticos, normalmente exigem que o estudante tenha uma alfabetização gráfica. Em seu trabalho foram utilizadas três classificações. A imagem pode ser apenas para observação, não contribuindo com nenhum elemento utilizável; pode apresentar elementos de representação universal, como esboços e dimensões; ou conter elementos que exigem um conhecimento de normas específicas, como o caso do circuito elétrico e vetores.

4. Relação com o texto principal: nesta categoria será observado se o texto faz menção a ilustração, estabelecendo correspondência entre os elementos da ilustração e o conteúdo representando, ou se essas relações devem ser óbvias e estabelecidas pelo próprio leitor. O texto pode ainda descrever a correspondência entre os elementos da ilustração e o conteúdo representado, além das condições sob as quais essa relação é verdadeira, de modo que um dependa do outro, formando uma unidade indivisível.

5. Etiquetas verbais: são textos incorporados na própria ilustração que auxiliam em sua interpretação. Desta forma, a imagem pode não apresentar nenhum texto, apresentar algumas palavras que identificam elementos da ilustração ou apresentar texto que descreve as relações entre os elementos da ilustração.

6. Conteúdo científico que o sustenta: esta variável de análise das ilustrações se refere ao conteúdo das imagens e, por isso, é específico do assunto que será analisado, dos objetivos da pesquisa.

Esta taxonomia foi utilizada pelos autores para categorizar visualizações referentes à mecânica elementar, pertencente à área da Física. Outros trabalhos, citados no Quadro 1, utilizaram a taxonomia para análise e classificação de visualizações na área da Química (GAUDÊNCIO, 2015; SANTOS, 2018; SOUZA, 2018). Esta categorização de imagens apresenta 22 subcategorias, de modo que é possível obter uma análise bem completa das visualizações. Além disso, a descrição destas subcategorias é bem objetiva, o que facilita a sua aplicação, tornando uma ferramenta não subjetiva de classificação de imagens, atribuindo maior confiabilidade aos resultados obtidos. Outro ponto interessante é a sua possível utilização em diferentes áreas do conhecimento.

Embora apresentem abordagens diferentes, a escolha de qual é mais interessante ou adequada para se utilizar depende dos objetivos do trabalho, da significância das representações na pesquisa, podendo ser uma classificação mais geral, para se ter uma visão ampla de como elas são apresentadas em textos ou questões, ou para quantificar os tipos de representações presentes, em que o olhar está na sua presença ou não dentro de um texto ou questão. Caso haja uma função específica de interesse, as categorizações apresentadas têm diferenças quanto ao aprofundamento que cada uma faz em relação a cada função da categoria, podendo ser extremamente minuciosa em uma e mais superficial em outra, isso também pode ser levado em consideração na escolha. Por outro lado, se há interesse em uma classificação mais detalhada, em que se busca entender quais os tipos de representações estão presentes, as relações da imagem com o texto, os conhecimentos que permeiam a sua interpretação, a demanda cognitiva envolvida no processo, no sentido de ter um olhar mais qualitativo diante das representações, faz-se necessário a escolha de uma categorização mais completa e abrangente ou da combinação de duas ou mais, realizando uma categorização mista das visualizações, de modo que uma seja complementar a outra e atenda as expectativas da pesquisa.

2.2. Taxonomia de Bloom Revisada

Para a caracterização dos itens buscou-se uma ferramenta que permitisse entendê-lo como um todo, quais conhecimentos e competências estavam sendo evocadas para a resolução da situação-problema, e que permitisse de alguma forma medir o grau de complexidade envolvido neste processo. A Taxonomia de Bloom Revisada tem sido utilizada como material orientador na construção de currículos e avaliações. Este documento considera a forma como os estudantes desenvolvem e aprendem e como os professores organizam suas aulas e avaliam seus alunos (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001).

Essa taxonomia apresenta uma estrutura bidimensional, na forma de uma tabela, denominada de Tabela de Taxonomia (ver Tabela 2), constituída de duas dimensões, o processo cognitivo e o conhecimento. Dentro da dimensão do processo cognitivo existem seis categorias: lembrar, entender, aplicar, analisar, avaliar e criar. Essa sequência também está relacionada com a complexidade associada a cada verbo, de modo que entender é mais complexo do que lembrar e assim por diante. A dimensão do conhecimento, que na tabela é representada pelas linhas, contém quatro categorias: factual, conceitual, procedimental e metacognitivo. Nesta dimensão, essa sequência está relacionada com o nível de abstração daquele conhecimento, assim, factual estaria mais próximo do concreto e metacognitivo do abstrato. Nesse caso, o termo concreto se refere à conhecimentos individuais, não necessariamente macroscópico. As células da tabela mostram de que forma essas dimensões, do processo cognitivo e do conhecimento, irão se cruzar (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001).

Tabela 2: Tabela bidimensional da Taxonomia de Bloom Revisada.

| | Dimensão do processo cognitivo | | | | | |
|-------------------------------|--------------------------------|-------------|------------|-------------|------------|----------|
| Dimensão do conhecimento | 1. Lembrar | 2. Entender | 3. Aplicar | 4. Analisar | 5. Avaliar | 6. Criar |
| A. Conhecimento factual | | | | | | |
| B. Conhecimento conceitual | | | | | | |
| C. Conhecimento procedimental | | | | | | |
| D. Conhecimento Metacognitivo | | | | | | |

Fonte: (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001, p. 2 (adaptado)).

O Quadro 3 traz a descrição de cada dimensão do conhecimento constituinte da tabela bidimensional. Cada categoria está associada a dois ou mais processos cognitivos característicos que são apresentados na forma de gerúndio, para diferenciá-los dos principais, e somam um total de 19 verbos. Essas categorias têm como objetivo fornecer um conjunto amplo de classificações para os processos cognitivos dos alunos (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001).

Quadro 3: Estrutura da dimensão do processo cognitivo - Taxonomia de Bloom Revisada.

| |
|--|
| <p>1. Lembrar: Relacionado a reconhecer e reproduzir ideias e conteúdo. Reconhecer requer distinguir e selecionar uma determinada informação e reproduzir ou recordar está mais relacionado à busca por uma informação relevante memorizada. Representado pelos seguintes verbos no gerúndio: Reconhecendo e Reproduzindo.</p> |
| <p>2. Entender: Relacionado a estabelecer uma conexão entre o novo e o conhecimento previamente adquirido. A informação é entendida quando o aprendiz consegue reproduzi-la com suas “próprias palavras”. Representado pelos seguintes verbos no gerúndio: Interpretando, Exemplificando, Classificando, Resumindo, Inferindo, Comparando e Explicando.</p> |
| <p>3. Aplicar: Relacionado a executar ou usar um procedimento numa situação específica e pode também abordar a aplicação de um conhecimento numa situação nova. Representado pelos seguintes verbos no gerúndio: Executando e Implementando.</p> |
| <p>4. Analisar: Relacionado a dividir a informação em partes relevantes e irrelevantes, importantes e menos importantes e entender a inter-relação existente entre as partes. Representado pelos seguintes verbos no gerúndio: Diferenciando, Organizando, Atribuindo e Concluindo.</p> |
| <p>5. Avaliar: Relacionado a realizar julgamentos baseados em critérios e padrões qualitativos e quantitativos ou de eficiência e eficácia. Representado pelos seguintes verbos no gerúndio: Checando e Criticando.</p> |
| <p>6. Criar: Significa colocar elementos junto com o objetivo de criar uma nova visão, uma nova solução, estrutura ou modelo utilizando conhecimentos e habilidades previamente adquiridos. Envolve o desenvolvimento de ideias novas e originais, produtos e métodos por meio da percepção da interdisciplinaridade e da interdependência de conceitos. Representado pelos seguintes verbos no gerúndio: Generalizando, Planejando e Produzindo.</p> |

Fonte: (FERRAZ; BELHOT, 2010, p. 429).

A Taxonomia de Bloom revisada traz mais flexibilidade com relação aos diferentes processos cognitivos específicos de cada disciplina, considera que o estudante pode partir de um estado mais elevado de conhecimento para conhecimentos anteriores e, por fim, o conceito de metacognição possibilita aos alunos percorrerem livremente pelas subcategorias (FERRAZ; BELHOT, 2010). O Quadro 4 traz uma descrição quanto às quatro dimensões do conhecimento.

Quadro 4: Estrutura da dimensão do conhecimento - Taxonomia de Bloom Revisada.

| Dimensão do conhecimento | | |
|---------------------------------|---|--|
| Categoria | Descrição | Subcategorias |
| Conhecimento factual | Relacionado ao conteúdo básico que o discente deve dominar a fim de que consiga realizar e resolver problemas apoiados nesse conhecimento. Nessa categoria, os fatos não precisam ser entendidos ou combinados, apenas reproduzidos como apresentados. | Conhecimento da terminologia; conhecimento de detalhes e elementos específicos. |
| Conhecimento conceitual | Relacionado à inter-relação dos elementos básicos num contexto mais elaborado que os discentes seriam capazes de descobrir. Elementos mais simples foram abordados e, agora, precisam ser conectados. Esquemas, estruturas e modelos foram organizados e explicados. Nessa fase, não é a aplicação de um modelo que é importante, mas a consciência de sua existência. | Conhecimento de classificação e categorização; conhecimento de princípios e generalizações; conhecimento de teorias, modelos e estruturas. |
| Conhecimento procedimental | Relacionado ao conhecimento de “como realizar alguma coisa” utilizando métodos, critérios, algoritmos e técnicas. Nesse momento, o conhecimento abstrato começa a ser estimulado, mas dentro de um contexto único, e não interdisciplinar. | Conhecimento de conteúdos específicos, habilidades e algoritmos; conhecimento de técnicas específicas e métodos; conhecimento de critérios e percepção de como e quando usar um procedimento específico. |
| Conhecimento metacognitivo | Relacionado ao reconhecimento da cognição em geral e à consciência da amplitude e da profundidade de conhecimento adquirido sobre um determinado conteúdo. Em contraste com o conhecimento procedural, esse conhecimento é relacionado à interdisciplinaridade. A ideia principal é utilizar conhecimentos previamente assimilados (interdisciplinares) para a resolução de problemas e/ou a escolha do melhor método, teoria ou estrutura. | Conhecimento estratégico; conhecimento sobre atividades cognitivas, incluindo contextos preferenciais e situações de aprendizagem (estilos); autoconhecimento. |

Fonte: (SILVA, MARTINS, 2014, p. 192).

3. METODOLOGIA

Neste trabalho, buscou-se caracterizar e categorizar as imagens presentes nos itens de química do ENEM, nas edições de 2009 a 2019. Para isso, empregamos metodologias direcionadas para o trabalho com os Microdados, filtragem das informações de interesse e cálculos de porcentagem de acerto; e metodologias voltadas para o trabalho de análise dos itens presentes nas provas do ENEM. Ambas serão detalhadas nas seções seguintes.

3.1. Microdados do ENEM

Os Microdados referente às edições de interesse, 2009 a 2019, foram obtidos no site do INEP (<https://www.gov.br/inep/pt-br/aceso-a-informacao/dados-abertos/microdados/enem>). O processamento, o armazenamento e a extração de dados foram realizados em um notebook com as seguintes configurações: Processador Intel(R) Core (TM) i7-7500U, 16 GB Memória RAM, 1 TB HD e versão do Windows 10 pro.

A primeira etapa foi a instalação do programa PostgreSQL versão 13.1. Este programa é um Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD) que permite armazenar e ler dados de forma otimizada. O segundo passo foi a instalação do programa DBeaver versão 7.3.3.20211011161839. Já este programa faz a integração de diferentes tipos de fontes de dados, como por exemplo o próprio PostgreSQL, a SQL server (Microsoft), Excel (Microsoft), entre outros. Ele admite a comunicação entre fontes de dados diferentes, e que não são compatíveis. No DBeaver os Microdados do ENEM são importados e transferidos para o PostgreSQL, para que nele fosse realizada a extração de dados. Para obtenção dos dados de interesse no PostgreSQL foi necessária a utilização de uma linguagem de programação chamada SQL (Linguagem de Consulta Estruturada).

Para obter os dados por meio deste programa foram utilizados três comandos: o *select*, que seleciona as colunas de interesse; o *from* que seleciona a fonte de dados, que neste caso era a tabela do ano de interesse, já que os dados, por opção, foram separados por ano; e *where* que são as condições para filtrar os dados, por exemplo, dependência administrativa, tipo de escola de Ensino Médio, presença dos estudantes em todas as provas etc. Os nomes dos filtros e especificações foram obtidos no dicionário dos Microdados do ENEM, do ano específico de interesse, já que não apresentam um padrão em todos os anos das edições analisadas, nomeando as colunas onde estavam os dados de formas diferentes em cada ano, e mudanças na forma de organizar o gabarito, então para diminuir possíveis erros no uso de filtros para a consulta, optamos por separar desta forma. Todos os programas utilizados, com exceção do Windows, são gratuitos.

A fim de exemplificar como foi construído o script de consulta (query), ou seja, os códigos utilizados para realização da filtragem dos dados, com todas as limitações já citadas que foram consideradas, temos a Figura 1. Os nomes, que se referem aos títulos das colunas de interesse, como TB_Aluno, foram tirados do dicionário dos Microdados. Esse script precisa ser elaborado de uma maneira que a busca pelos dados aconteça de forma otimizada e possa ser replicada para todos os itens, para isso se faz necessário alguns testes de conferência antes de replicar. Outro ponto importante é que os itens têm numeração diferente em cada cor de prova, então é necessária essa correlação para que se obtenha todos os dados referentes ao item.

Figura 1: Script de consulta de dados.

```
SELECT COUNT(*) FROM
"2009"."TB_ALUNO"
WHERE
tp_ensino = '1'
AND TP_DEPENDENCIA_ADM_ESC = '2' --Estadual
AND tp_st_conclusao = '2'
AND tp_presenca_ch = '1'
AND tp_presenca_cn = '1'
AND tp_presenca_lc = '1'
AND tp_presenca_mt = '1'
AND
((CO_PROVA_CN = '49' --Azul
AND SUBSTRING(TX_RESPOSTAS_CN,1,1) = SUBSTRING(TX_GABARITO_CN,1,1))
OR
(CO_PROVA_CN = '52' --Rosa
AND SUBSTRING(TX_RESPOSTAS_CN,5,1) = SUBSTRING(TX_GABARITO_CN,5,1))
OR(CO_PROVA_CN = '51' --Cinza
AND SUBSTRING(TX_RESPOSTAS_CN,3,1) = SUBSTRING(TX_GABARITO_CN,3,1))
OR(CO_PROVA_CN = '50' --Amarelo
AND SUBSTRING(TX_RESPOSTAS_CN,1,1) = SUBSTRING(TX_GABARITO_CN,1,1))
))AS Estadual,
```

Fonte: Autoria própria

3.2. Seleção de critérios para categorização dos itens de química do ENEM

Inicialmente realizou-se a identificação das representações presentes nas provas do ENEM, nas edições de 2009 a 2019 e as descrevemos com o objetivo de identificar padrões que nos norteariam na escolha da melhor forma de categorização dos itens, para posterior análise. Os resultados obtidos nessa análise prévia demonstraram a importância da linguagem específica da Química, do simbólico, na seleção dos estudantes, e então a necessidade de se aprofundar na análise desse nível representacional. Por isso, optamos por diferenciar os itens quanto ao tipo de conhecimento necessário para leitura e interpretação da representação e o quanto a linguagem química seria fator determinante na resolução do item; descrever as dimensões do processo cognitivo e do conhecimento evocadas; identificar a área da química relacionada ao contexto da situação-problema presente no item e as porcentagens de acertos em todas as dependências administrativas. Esses critérios forneceram uma visão ampla dos tipos de representações presentes nas provas e de quais conhecimentos são essenciais que os estudantes tenham em sua formação. No Quadro 5 é apresentado um exemplo, para o item 91 (Figura 2), da edição de 2019 do ENEM, da prova azul de Ciências da Natureza e suas Tecnologias.

Quadro 5: Categorização completa do item.

| Ano/Item | Descrição | Nível representacional - Johnstone | Habilidade/Representacional |
|---------------------------------------|---|------------------------------------|-----------------------------|
| 19_91 | Quadro com potenciais-padrão de redução | Simbólico | Habilidade |
| Dimensão do processo cognitivo | | Dimensão do conhecimento | |
| Analisar | | Conceitual | |
| Percentual de acerto | | | |
| Federal | Estadual | Municipal | Privada |
| 36,62% | 30,33% | 33,05% | 36,77 % |
| Área da química | Eletroquímica | | |

Fonte: Autoria própria

Figura 2: Produção de gás hidrogênio empregando processo eletroquímico.

Questão 91

Para realizar o desentupimento de tubulações de esgotos residenciais, é utilizada uma mistura sólida comercial que contém hidróxido de sódio (NaOH) e outra espécie química pulverizada. Quando é adicionada água a essa mistura, ocorre uma reação que libera gás hidrogênio e energia na forma de calor, aumentando a eficiência do processo de desentupimento. Considere os potenciais padrão de redução (E^\ominus) da água e de outras espécies em meio básico, expressos no quadro.

| Semirreação de redução | E^\ominus (V) |
|--|-----------------|
| $2 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2 \text{OH}^-$ | -0,83 |
| $\text{Co}(\text{OH})_2 + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Co} + 2 \text{OH}^-$ | -0,73 |
| $\text{Cu}(\text{OH})_2 + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Cu} + 2 \text{OH}^-$ | -0,22 |
| $\text{PbO} + \text{H}_2\text{O} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Pb} + 2 \text{OH}^-$ | -0,58 |
| $\text{Al}(\text{OH})_4^- + 3 \text{e}^- \rightarrow \text{Al} + 4 \text{OH}^-$ | -2,33 |
| $\text{Fe}(\text{OH})_2 + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Fe} + 2 \text{OH}^-$ | -0,88 |

Qual é a outra espécie que está presente na composição da mistura sólida comercial para aumentar sua eficiência?

- A Al
- B Co
- C $\text{Cu}(\text{OH})_2$
- D $\text{Fe}(\text{OH})_2$
- E Pb

Fonte: Caderno de CN azul do ENEM aplicada em 2019.

O item 91 avalia os conhecimentos do participante sobre a aplicação dos potenciais de redução na previsão de ocorrência de uma reação. O texto base possui um quadro com os potenciais-padrão de redução e respectivas semirreações de redução de várias substâncias. As equações, presentes no quadro, assim como as fórmulas e símbolos presentes nas alternativas, fazem parte da linguagem química, e por isso, têm seu nível representacional classificado como simbólico. Para resolver o item, é determinante o conhecimento desta linguagem específica da química aplicada no conceito de eletroquímica, portanto, também é classificado como item habilidade. Como estamos considerando somente itens com a presença de algum tipo de

representação, a classificação como linguagem natural não irá aparecer nesses quadros, porque é justamente a situação em que a representação não está presente. O estudante precisa analisar as equações, reconhecer a reação descrita no texto, e a partir do seu conhecimento de pilhas e de como se dá um processo espontâneo, concluir que dentre as opções, o Al seria a substância adequada, já que entre os compostos com menor potencial de redução em comparação com a água, sobriariam como alternativa correta ferro ou alumínio. Essa análise foi realizada para todos os itens de química. Para a classificação quanto a subárea da Química foi utilizada o Quadro 6, em que na coluna Objetos do conhecimento, estão descritos quais conhecimentos estão dentro de cada subárea (ATKINS, JONES, 2006).

Quadro 6: Organização dos conceitos químicos por subárea e objetos do conhecimento.

| Subáreas da Química | Objetos do conhecimento |
|----------------------------|---|
| Ambiental | Interferentes químicos na atmosfera, litosfera, hidrosfera e biosfera. Ciclos biogeoquímicos. |
| Atomística | Modelos atômicos, simbologia dos elementos, isótopos, isótonos e isóbaros, tabela periódica. |
| Bioquímica | Proteínas, carboidratos, ácidos nucleicos, lipídios. |
| Cinética química | Velocidade das reações, concentração e tempo, fatores que influenciam na velocidade. |
| Compostos inorgânicos | Classes e propriedades: ácidos, bases, sais e óxidos. Força dos ácidos. |
| Compostos orgânicos | Funções orgânicas, nomenclatura, isomeria, propriedades e classificações. |
| Eletroquímica | Número de oxidação, agente redutor e oxidante, semirreações, balanceamento de equações redox, células galvânicas, eletrólise. |
| Equilíbrio químico | Deslocamento do equilíbrio, constantes de equilíbrio, reversibilidade das reações, pH. |
| Estequiometria das reações | Mol, proporção entre os participantes de uma reação, reagentes limitantes, rendimento da reação |
| Gases | Propriedades dos gases, lei dos gases. |
| Ligações químicas | Iônica, covalente e metálica. Estrutura cristalina, polaridade, geometria molecular, forças intermoleculares. |
| Misturas | Métodos de separação de misturas, classificação de misturas e propriedades das misturas |
| Polímeros | Polimerização por adição e condensação, compósitos, propriedades dos polímeros. |
| Propriedades coligativas | Abaixamento da pressão de vapor, elevação do ponto de ebulição e abaixamento do ponto de congelamento, osmose. |
| Propriedades dos materiais | Generais, Organolépticas, Específicas (Densidade, Mudanças de estado físico, Temperatura de fusão e ebulição, Solubilidade). |
| Química nuclear | Decaimento nuclear, radiação nuclear, energia nuclear. |
| Reações orgânicas | Substituição, adição, oxidação, desidratação, esterificação. |

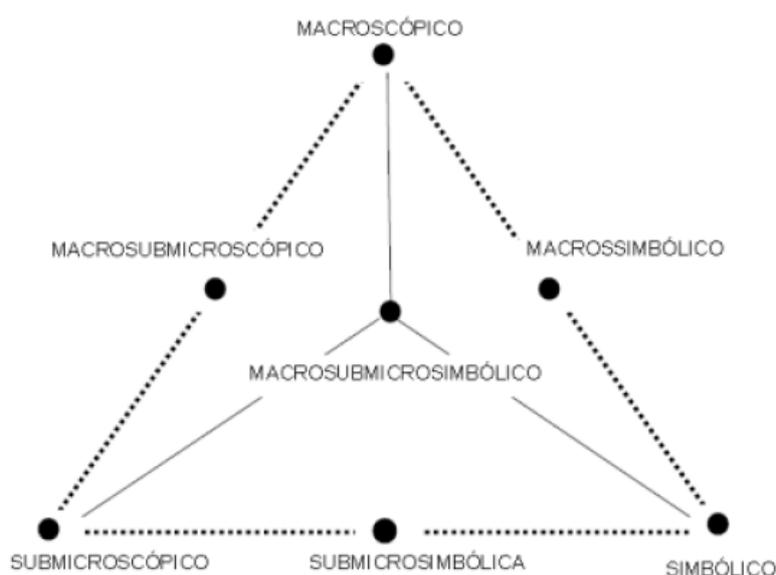
| | |
|-------------------------|---|
| Reações químicas | Equação química, balanceamento, classificação (neutralização, liberação de gás). |
| Soluções e solubilidade | Concentração (nas diferentes unidades), diluição, precipitação, solubilidade das misturas (tabela de solubilidade). |
| Termoquímica | Entalpia (mudanças de estado), energia das reações (entalpia das reações) calor, calorimetria. |

Fonte: Autoria própria

3.3. Categorização dos itens segundo Johnstone

Para esta categoria, foram utilizados como referências os trabalhos de Souza (2018) e Kiill (2009), que propõem uma classificação fundamentada no trabalho de Johnstone e no triângulo elaborado por ele que faz uma divisão da química em 3 aspectos: a macroquímica, a submicroquímica e a química representacional. Além das três pontas do triângulo, as subcategorias que surgem com a união dos vértices deste triângulo, com todas as correlações possíveis entre eles também foram consideradas. É importante ressaltar essas correlações já que uma representação pode utilizar mais de uma dessas dimensões do conhecimento químico. Desta forma, têm-se as seguintes subcategorias: macrosubmicroscópica, macrosimbólica, submicrosimbólica e macrosubmicrosimbólica, que foram nomeadas desta forma no trabalho de Kiill. Na Figura 3 é apresentado o triângulo de Johnstone mostrando as subcategorias presentes.

Figura 3: Triângulo de Johnstone-Kiill.



Fonte: (SOUZA, 2018).

3.4. Itens com suporte habilidade e representacional

As categorias criadas por Araújo (2017) para classificar itens da prova de Ciências da Natureza se mostraram interessantes, pois permitem olhar como o conhecimento de química é avaliado no item que faz uso das representações. Porém houve a necessidade de adaptação já que no referido trabalho, foram analisados os itens de ciências da natureza (Química, Física e Biologia); já neste trabalho os itens analisados são especificamente os de Química, e para estes, a linguagem específica da Química tem papel relevante na resolução do item e na sua classificação. Essas adaptações realizadas se complementam com o trabalho de Silva, Braibante, Pazinato (2013, p. 168) no qual os autores também propõem três categorias para análise da relação da funcionalidade das imagens: Inoperante (Linguagem Natural) “A ilustração não apresenta nenhum elemento utilizável, apenas cabe observá-la”, Operativa elementar (Suporte representacional) “A ilustração contém elementos de representação universal” e Sintática (Suporte habilidade) “A ilustração contém elementos que exigem o conhecimento de normas específicas”. Essas categorias se assemelham com a nossa proposta de categorias e reforçam a relevância dessa forma de categorização, quando consideramos as representações visuais em itens de Química. Assim, as categorias e suas definições utilizadas nas análises dos itens de Química do ENEM são:

3.4.1. Categoria I – Itens com suporte representacional

São os itens que apresentam algum tipo de representação (gráfico, diagramas, esquemas, dentre outros), porém a linguagem específica da Química não está presente, ou caso esteja, não é parte fundamental para resolução do item. Outras habilidades são convocadas, tais como conhecimentos teóricos, cotidianos, matemáticos, entre outros; e o estudante que não tem o conhecimento da linguagem química consegue desenvolver a situação-problema proposta.

3.4.2. Categoria II – Itens com suporte habilidade

São os itens que apresentam o caráter representacional da Química, podendo estar presente de diferentes formas, sejam símbolos, equações químicas, nomenclatura, estequiometria, dentre outros, imersos ou não numa figura. Neste caso, o conhecimento desta linguagem científica tem papel essencial para a resolução do item e, conseqüentemente, o desconhecimento desta linguagem limita a resolução da situação-problema proposta no item.

3.4.3. Categoria III – Itens com linguagem natural

São itens que não apresentam nenhum tipo de representação, e mesmo que alguma informação simbólica esteja presente no corpo do texto explicativo, esta não tem relevância na resolução ou compreensão do item. Esta categoria, embora não seja utilizada na classificação das representações, pode ser interessante na comparação de itens com e sem representação que tenham outras características semelhantes.

3.5. Taxonomia de Bloom Revisada

Todas as classificações dos itens segundo a Taxonomia de Bloom Revisada foram realizadas por meio de discussões entre o grupo de pesquisa, no qual denominamos “painel de especialistas”. Cada integrante do grupo fez sua própria classificação para posterior discussão e consenso das classificações, sobre qual a descrição mais adequada para cada item.

Além da dimensão do processo cognitivo e do conhecimento, também fizemos a análise quanto à área da química a qual o item pertencia e o objeto do conhecimento necessário para a sua resolução.

A análise foi realizada com base nos Quadros 3 (Quadro 3: Estrutura da dimensão do processo cognitivo - Taxonomia de Bloom Revisada. e Quadro 4 (Quadro 4: Estrutura da dimensão do conhecimento - Taxonomia de Bloom Revisada.

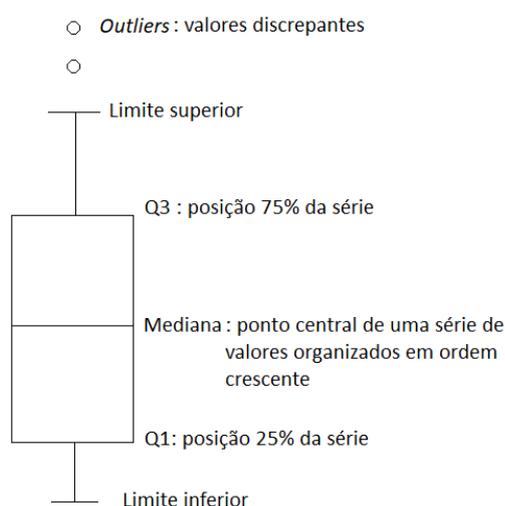
O acesso às provas se deu por meio do site do INEP (<https://www.gov.br/inep/pt-br/areas-de-atuacao/avaliacao-e-exames-educacionais/enem/provas-e-gabaritos>). Com relação aos itens de química, para sua identificação foram analisados todos os itens de Ciências da Natureza, com um olhar sempre no sentido de qual conhecimento era imprescindível para resolução do item, para definir de qual disciplina ele pertencia, e essa classificação também foi discutida no “painel de especialistas”. Selecionamos sempre a prova azul para fins de ilustração dos itens neste trabalho.

3.6. O uso do método gráfico *boxplot* para interpretação de dados

Para a análise exploratória de dados se faz necessário o uso de técnicas estatísticas para identificar padrões associados a um grupo de números. Uma dessas técnicas é o *boxplot* que organiza os dados de forma resumida e visual, o que contribui para identificarmos comportamentos e comparar grupos de dados, essa ferramenta colabora para melhorar o nosso raciocínio sobre informações quantitativas (WILLIAMSON et al., 1989). Podemos dizer que ele faz uma análise qualitativa dos dados. Por isso, se mostrou um método interessante para realizarmos a análise dos dados do ENEM, com relação as porcentagens de acerto, já que estamos trabalhando com muitos dados e com grande variação de resultados.

O *boxplot* é composto pelas regiões ilustradas na Figura 4. Para sua construção os dados são organizados em ordem crescente. Na mediana temos o ponto central desta série que corresponde a posição 50% dos dados. Ela é interessante em comparação com a média porque dependendo das características dos dados, a média pode não representar a realidade, já que ela é afetada de forma exagerada por valores extremos. Além da mediana temos o quartil inferior (Q1) que faz referência ao valor encontrado na posição 25% da série. O quartil superior (Q3) faz referência a posição 75% da série. Os limites superior e inferior são determinados por uma expressão que considera os valores do quartil, sendo $Q1 - 1,5 * (Q3 - Q1)$ para o limite inferior e $Q3 + 1,5 * (Q3 - Q1)$ para o limite superior. Os *outliers*, representados por esses círculos (ou asteriscos) podem estar na região superior ou inferior do gráfico, são os dados considerados discrepantes, ou seja, apresentam um comportamento diferente do esperado e do restante dos dados (CISZEWSKI, SOUSA, CINTRA, 2019).

Figura 4: Boxplot e parâmetros.



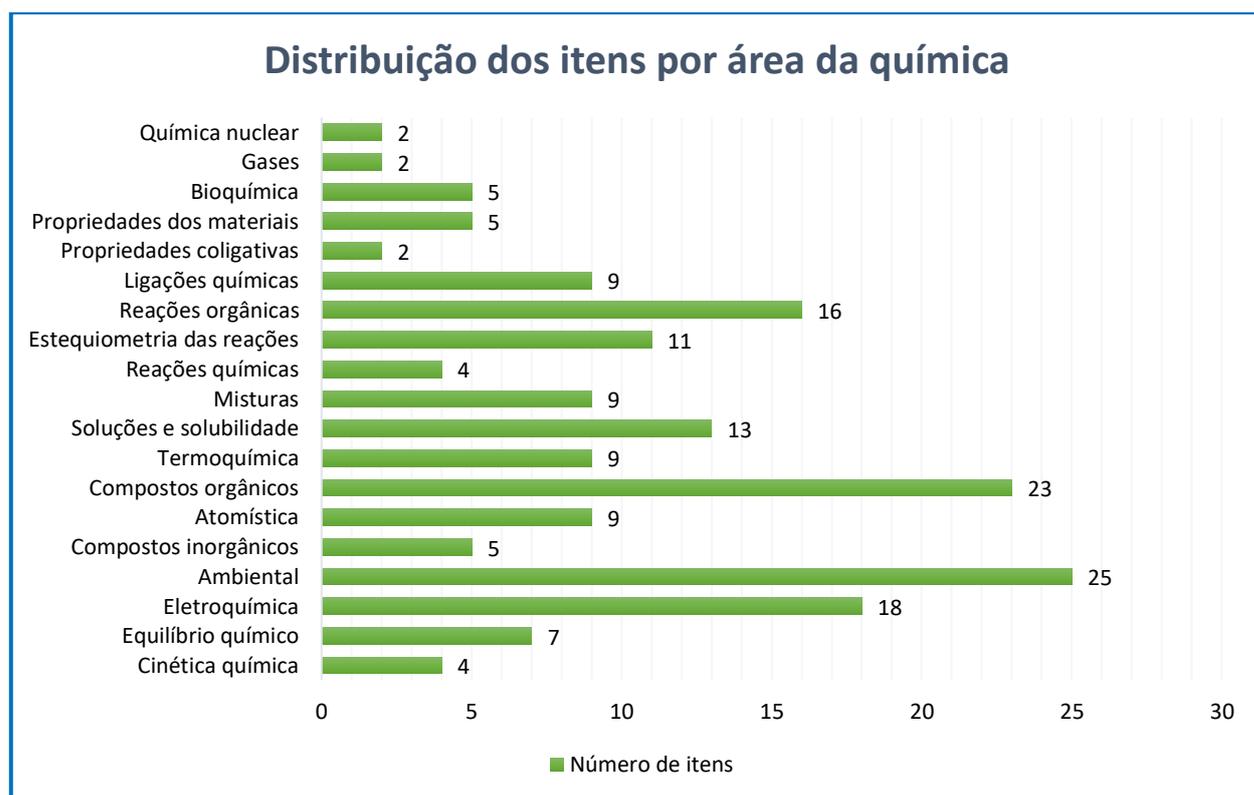
Fonte: Autoria própria.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos a partir da análise dos itens de química, presentes nas edições de 2009 a 2019. No total foram analisados 178 itens de química, sendo que 121 tiveram como característica a presença de algum tipo de representação, correspondendo a quase 70% dos itens ao longo destes 11 anos analisados. Para fins de cálculos de porcentagem de acerto considerou-se os estudantes do Brasil, conluentes do Ensino Médio no ano de aplicação da prova, com participação válida no exame, ou seja, presente nos dois dias de prova, separados por dependências administrativas (Federal, Estadual, Municipal e Privada).

Os itens analisados estão distribuídos em inúmeras subáreas da química, tais como química nuclear, gases, bioquímica, propriedades dos materiais, entre outras, como pode ser observado na Figura 5. Além disso é possível identificar itens pertencentes aos conteúdos de todas as séries do Ensino Médio. Como destaque temos as reações orgânicas que corresponderam a 16 itens, compostos orgânicos à 23 itens, 25 itens da subárea ambiental e 18 itens da eletroquímica. Ao considerarmos que as reações orgânicas e os compostos orgânicos pertencem à mesma área, teremos um total de 39 itens, o que podemos interpretar como uma valorização desta subárea em detrimentos das demais.

Figura 5: Gráfico com a distribuição das representações por subáreas da química presentes nas edições de 2009 a 2019,

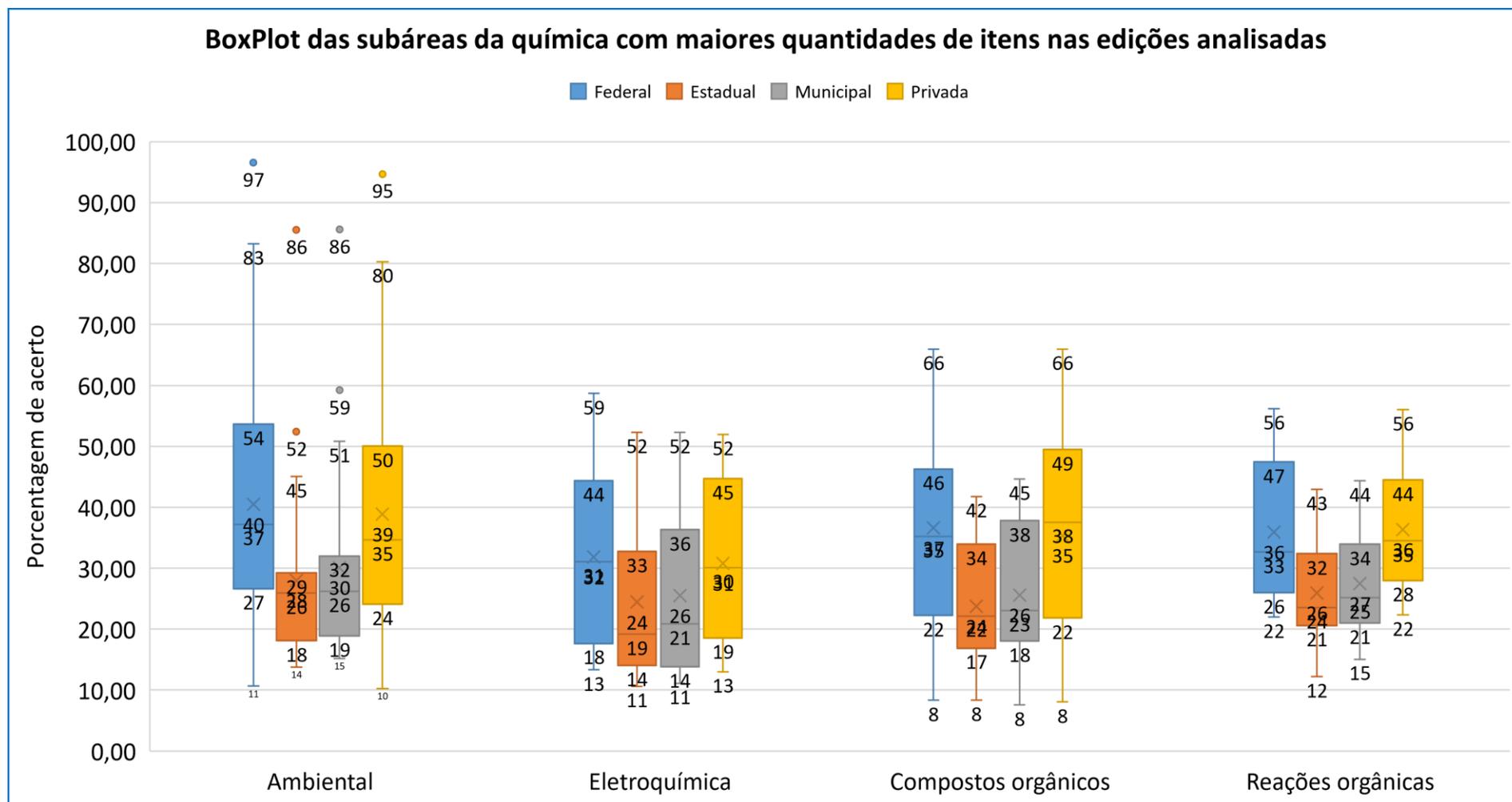


Fonte: Autoria própria.

Na Figura 6 temos o *bloxplot* referente à porcentagem de acerto dos estudantes para os itens das subáreas Ambiental, Eletroquímica, Compostos orgânicos e Reações orgânicas. Ao analisarmos o gráfico podemos destacar algumas informações. Para dependência Federal e subárea Ambiental, a mediana foi de 37,19% já a média foi 40,45%. Quando olhamos para o valor do quartil superior, referente a posição 75% temos como porcentagem de acerto 53,61%. Ao analisar a mesma subárea para os resultados dos estudantes pertencentes às escolas Estaduais a mediana é muito mais baixa, correspondendo a 25,92%, quando olhamos para o valor referente ao quartil superior, a porcentagem de acerto é 29,22%, aumenta muito pouco em relação a mediana e é muito inferior ao compararmos com os resultados obtidos pelos estudantes da rede pública Federal. O valor 52,42 corresponde a um valor discrepante em relação aos dados da série, denominado *outlier*. A rede Federal apresenta a mediana mais alta dentre as 4 dependências.

Olhando para o gráfico como um todo, as barras referentes ao desempenho dos estudantes provenientes das Escolas Estaduais estão sempre em condições de acerto inferiores, tanto em relação ao quartil superior quanto o inferior, mesmo se compararmos com dependências administrativas Municipal que têm valores mais próximos. Já a rede Federal é a que alcança maiores valores de porcentagem de acerto comparado com todas as dependências administrativas, mesmo sendo próxima aos valores da rede Privada, fica sempre em uma região mais alta do gráfico em comparação com as outras.

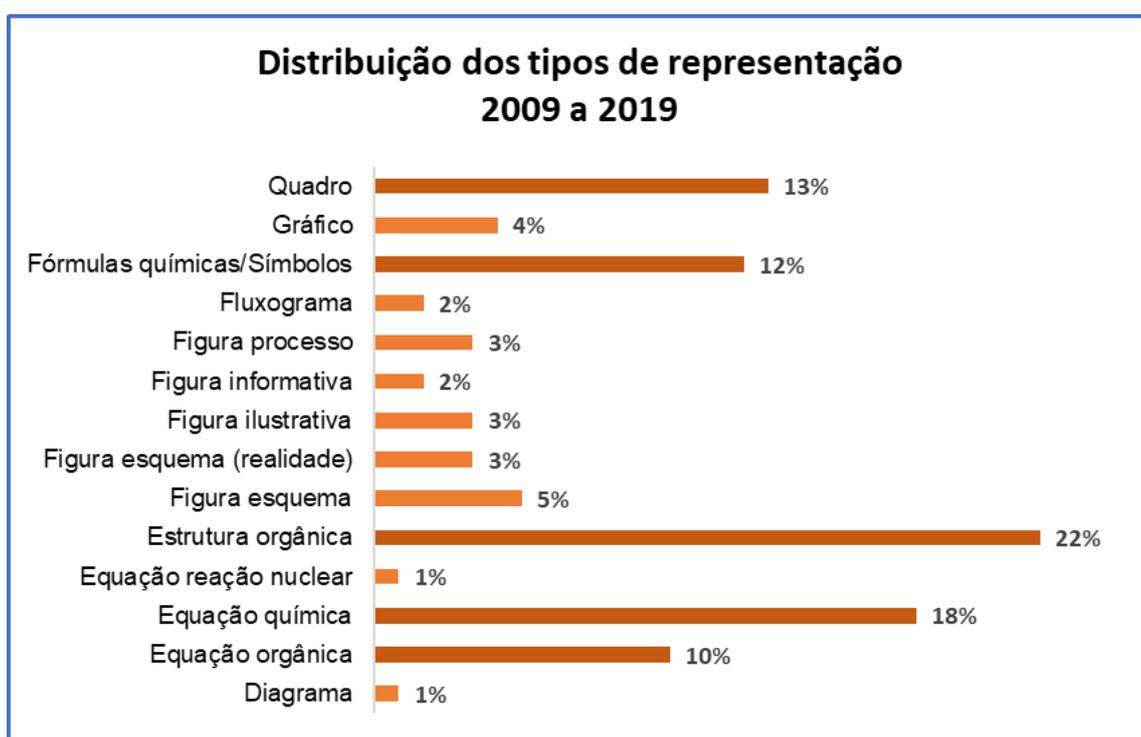
Figura 6: *Boxplot* com as taxas de acerto para as dependências administrativas, para as subáreas em destaque nos itens de química do ENEM, nas edições de 2009 a 2019.



Fonte: Autoria própria.

Foi realizado um mapeamento dos 121 itens com representação com o objetivo de identificar quais tipos de representações estavam presentes e com qual frequência, conforme Figura 7. Das 14 categorias presentes, 5 delas se sobressaíram com percentual de ocorrência acima de 10%. São elas: Estruturas orgânicas 22%, Equação Química 18%, Fórmulas Químicas/Símbolos 12%, Quadro 13% e Equação Orgânica 10%. As demais categorias: Gráfico, Fluxograma, Figura processo, Figura informativa, Figura ilustrativa, Figura esquema (realidade), Figura esquema, Equação reação nuclear e Diagrama apresentaram ocorrência igual ou abaixo de 5%.

Figura 7: Gráfico com a distribuição dos tipos de representações encontradas nos itens presentes nas edições do Enem de 2009 a 2019.

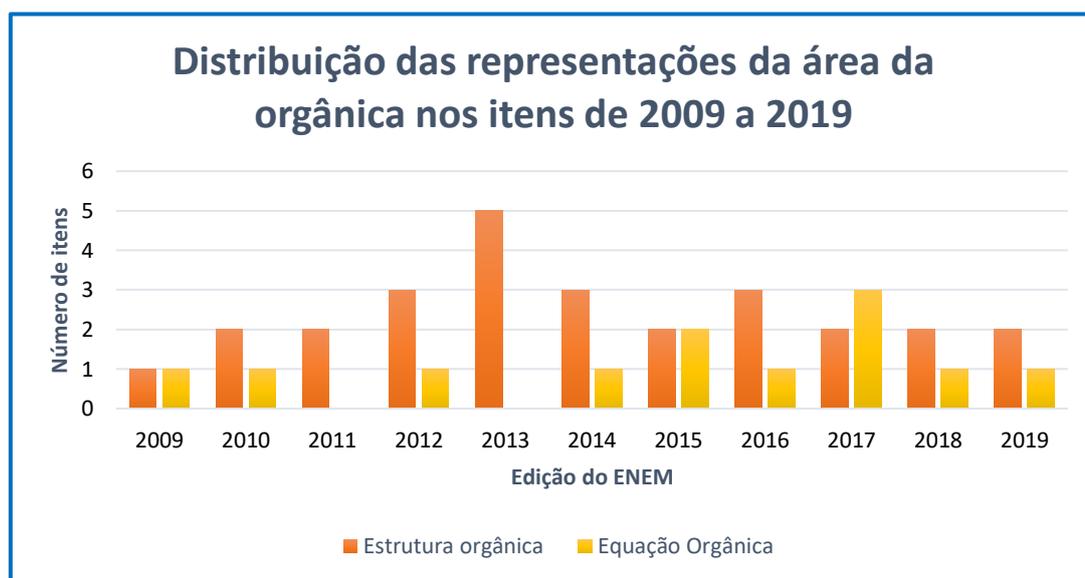


Fonte: Autoria própria.

Chama atenção a grande ocorrência de representações relacionadas aos conhecimentos de química orgânica: Estrutura orgânica e Equação orgânica (nesta categoria são consideradas todas aquelas equações químicas nas quais reagentes e produtos são compostos orgânicos). Juntas elas correspondem a 32% de todas as ocorrências. Esse cenário corrobora os resultados apresentados por Machado, Cintra e Sousa (2017) que analisaram os itens de envolvendo conhecimentos de química orgânica nos itens de Enem no período de 2009 a 2014. Nesse estudo constatou-se que os conhecimentos relacionados à química orgânica estiveram presente em 29% dos itens envolvendo conhecimentos de química, avaliando conceitos relativos às Propriedades dos Compostos Orgânicos (41%), Funções Orgânicas (15%), Reações Orgânicas (11%) e Associação de Conceitos (26%), nessa última categoria os conhecimentos de química orgânica estavam relacionados à conhecimentos de outras áreas. Os autores concluem que a polarização dos itens para essa área da química pode representar um fator de desfavorecimento aos estudantes das escolas públicas (municipais, estaduais e federais) brasileiras que nos anos em que as provas foram aplicadas possuíam um currículo no qual o estudo de química orgânica concentra-se no último ano do ensino secundário e considerando-se o extenso currículo e o reduzido número de aulas de química, muitas vezes a programação prevista para a química orgânica era cumprida parcialmente (MACHADO, CINTRA E SOUSA, 2017).

Na Figura 8 são apresentadas as ocorrências dos itens com representações da área de química orgânica no período de 2009 a 2019. Pode-se observar que as estruturas orgânicas estiveram presentes e, com exceção dos anos de 2011 e 2013, equações químicas envolvendo substâncias orgânicas também estiveram presentes nas provas dos anos analisados. Nos anos de 2013 e 2017, cinco itens das provas apresentavam itens com representação orgânica e nos anos 2012, 2014, 2015, 2016 quatro itens dos aproximadamente 15 itens que normalmente avaliam conhecimentos de química. Considerando a extensa listagem de objetos de conhecimento presentes na Matriz de Referência do Enem (BRASIL, 2022) pode-se dizer que ao se avaliar exaustivamente conhecimentos de uma mesma subárea, numa mesma prova com um número finito de itens, provavelmente, conhecimentos de outras subáreas não são contemplados. Considerando os perfis diferentes dos estudantes que irão realizá-la, espera-se uma distribuição mais uniforme quanto as subáreas, valorizando o máximo de conhecimentos, isso também pode ser entendido como uma forma mais equitativa de apreciar os conhecimentos destes estudantes.

Figura 8: Gráfico com a distribuição das representações da área de química orgânica nos itens presentes nas edições do Enem de 2009 a 2019.



Fonte: Autoria própria

Ainda, de acordo com a Figura 8, 30% das ocorrências estão relacionadas às representações simbólicas específicas da química, compreendidas pelas categorias Fórmulas químicas/Símbolos e Equações Químicas. Na área da química a simbologia relacionada às fórmulas das substâncias e às representações das transformações químicas é uma linguagem bastante recorrente para todas as subáreas e faz parte dos conhecimentos que oferecem suporte para a alfabetização científica do estudante. Os quadros corresponderam ao total de 13% de frequência das ocorrências e agrupavam informações relativas a temas como entalpias-padrão, semirreação e potencial-padrão e concentração de soluções. O grupo de representações correspondentes a Figuras (informativa, ilustrativa, esquema e processos), Fluxograma e Diagrama representou 15% dos itens analisados. A categoria Gráficos representou somente 4% das representações.

Assim, pode-se concluir que o conhecimento da dimensão simbólica correspondeu a quase 80% das representações ao longo desses 11 anos de ENEM. Mesmo que o estudante tenha conhecimento de representações gerais, não específicas da química, esse conhecimento é insuficiente para atender à demanda exigida pela prova.

4.1. Análise das categorias de Johnstone

Considerando o referencial Kiill (2009) e Johnstone (1993), foi realizada análise das representações presente nos itens de acordo com as categorias: Macroscópico (JK1), Macrosimbólico (JK2), Simbólico (JK3), Submicrosimbólico (JK4), Submicroscópico (JK6) e Macrosubmicrosimbólico (JK7). O resultado desta análise é apresentado no Quadro 7. No total, foram analisados 121 itens de Química com a presença de algum tipo de representação, seja no corpo do texto explicativo, nas alternativas ou necessária na resolução do item. Podemos verificar que a categoria JK3, referente ao simbólico, foi a mais presente nas provas, se sobressaindo em todos os anos em comparação as outras categorias, sendo um total de 100 itens ao longo desses 11 anos de ENEM.

Quadro 7: Classificação das imagens presentes nos itens de Química do ENEM de 2009 a 2019.

| Categoria | Edições do ENEM - Itens de Química com representações | | | | | | | | | | | |
|--|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | Total |
| JK1 <i>Macroscópico</i> | | 1 | | | | | | 2 | | | 1 | 4 |
| JK2 <i>Macrosimbólico</i> | | 1 | | | | 1 | | 1 | 2 | 2 | 1 | 8 |
| JK3 <i>Simbólico</i> | 8 | 10 | 8 | 10 | 8 | 11 | 11 | 10 | 9 | 7 | 8 | 100 |
| JK4 <i>Submicrosimbólico</i> | | | | | | 1 | | | | | | 1 |
| JK5 <i>Submicroscópico</i> | | | | 1 | | | | | | 2 | 1 | 4 |
| JK6 <i>Macrosubmicroscópico</i> | | | | | 1 | | | | | | | 1 |
| JK7 <i>Macrosubmicrosimbólico</i> | | | | | | | | 1 | | 1 | 1 | 3 |
| Total de itens de Química | 8 | 12 | 8 | 11 | 9 | 13 | 11 | 14 | 11 | 12 | 12 | 121 |

Fonte: Autoria própria

É possível identificar uma mudança no perfil da prova, quanto as categorias propostas, no sentido de que ao passar dos anos, diversificou-se mais os tipos de representações presentes nos itens de Química, e a ocorrência de mais de uma categoria por prova. Podemos fazer essa comparação quando olhamos as categorias nas provas de 2018, sendo 4 delas presentes (JK2, JK3, JK5, JK7), e nos anos de 2009, 2011 e 2015, somente uma categoria presente (JK3). Mesmo com variedades de tipos de representações, principalmente de 2016 em diante, ainda assim, a categoria do simbólico se sobressai em relação às demais. Foram selecionados, para cada categoria, um item de Química que o representasse, para ser discutido e trazer uma melhor compreensão da análise realizada.

A categoria JK1 Macroscópico se refere ao observável, podendo ser uma fotografia ou representação por meio de um desenho, de fenômeno ou objeto (KIILL, 2009; JOHNSTONE, 1993). A Figura 9 refere-se a um item de Química presente na prova do ENEM de 2010 e traz um desenho que representa uma situação real de uma pessoa adoçando um café. Não há referência alguma no item ao representacional ou ao submicroscópico, por isso, recebeu essa classificação.

Figura 9: Representação JK1 Macroscópico encontrada no Item 83, presente na edição 2010 do ENEM.

Questão 83

Ao colocar um pouco de açúcar na água e mexer até a obtenção de uma só fase, prepara-se uma solução. O mesmo acontece ao se adicionar um pouquinho de sal à água e misturar bem. Uma substância capaz de dissolver o soluto é denominada solvente; por exemplo, a água é um solvente para o açúcar, para o sal e para várias outras substâncias. A figura a seguir ilustra essa citação.



Disponível em: www.sobiologia.com.br. Acesso em: 27 abr. 2010.

Suponha que uma pessoa, para adoçar seu cafezinho, tenha utilizado 3,42 g de sacarose (massa molar igual a 342 g/mol) para uma xícara de 50 mL do líquido. Qual é a concentração final, em mol/L, de sacarose nesse cafezinho?

A 0,02
 B 0,2
 C 2
 D 200
 E 2000

Fonte: Caderno de CN azul do ENEM aplicada em 2010 (BRASIL, 2021).

A categoria JK2 Macrosimbólico traz características do macroscópico e do simbólico. A Figura 10 se refere a um item do ENEM de 2017. Podemos observar um esquema de uma célula eletroquímica (macroscópico), e a demonstração dos processos químicos que ocorrem por meio de símbolos e fórmulas (simbólico).

Figura 10: Representação JK2 Macrosimbólico encontrada no Item 95, presente na edição 2017 do ENEM.

QUESTÃO 95

A eletrólise é um processo não espontâneo de grande importância para a indústria química. Uma de suas aplicações é a obtenção do gás cloro e do hidróxido de sódio, a partir de uma solução aquosa de cloreto de sódio. Nesse procedimento, utiliza-se uma célula eletroquímica, como ilustrado.

Solução aquosa de NaCl

Ânodo de carbono

Diafragma de amianto

Cátodo de carbono

Dreno para solução aquosa alcalina

Célula eletroquímica

SHREVE, R. N.; BRINK Jr., J. A. *Indústrias de processos químicos*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1997 (adaptado).

No processo eletrolítico ilustrado, o produto secundário obtido é o

- A vapor de água.
- B oxigênio molecular.
- C hipoclorito de sódio.
- D hidrogênio molecular.
- E cloreto de hidrogênio.

Fonte: Caderno de CN azul do ENEM aplicada em 2017 (BRASIL, 2021).

A categoria JK3 Simbólico está presente na maior parte dos itens com representações nas provas do ENEM, fazem parte desta categoria as estruturas orgânicas, equações químicas (orgânicas e inorgânicas), fórmulas e símbolos (KIILL, 2009; JOHNSTONE, 1993). Além disso, em alguns itens, embora não tenha a presença de nenhuma representação pertencente a esta categoria, para que o estudante realize a resolução de forma correta do item, o uso dela pode ser um caminho escolhido ou mesmo necessário. Está presente em todas as edições, como já mencionado, e sempre em maior número. Como exemplo, é apresentado na Figura 11 o item presente na edição de 2018, em que há a presença de uma equação química.

Figura 11: Representação JK3 Simbólico (equação química) encontrada no Item 114, presente na edição 2018 do ENEM.

QUESTÃO 114

Por meio de reações químicas que envolvem carboidratos, lipídeos e proteínas, nossas células obtêm energia e produzem gás carbônico e água. A oxidação da glicose no organismo humano libera energia, conforme ilustra a equação química, sendo que aproximadamente 40% dela é disponibilizada para atividade muscular.

$$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{s}) + 6\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 6\text{CO}_2(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta_c H = -2800 \text{ kJ}$$

Considere as massas molares (em g mol^{-1}): $\text{H} = 1$; $\text{C} = 12$; $\text{O} = 16$.

LIMA, L. M.; FRAGA, C. A. M.; BARREIRO, E. J. *Química na saúde*. São Paulo: Sociedade Brasileira de Química, 2010 (adaptado).

Na oxidação de 1,0 grama de glicose, a energia obtida para atividade muscular, em quilojoule, é mais próxima de

- A 6,2.
- B 15,6.
- C 70,0.
- D 622,2.
- E 1 120,0.

Fonte: Caderno de CN azul do ENEM aplicada em 2018 (BRASIL, 2021).

A categoria JK4 Submicrosimbólico se refere à representação cujos aspectos submicroscópico e simbólico são mostrados (KIILL, 2009; JOHNSTONE, 1993). Somente um item foi identificado como pertencente a esta categoria, presente na edição de 2014 do ENEM, apresentado na Figura 12.

Figura 12: Representação JK4 Submicrosimbólico encontrada no Item 48, presente na edição 2014 do ENEM.

QUESTÃO 48

A liberação dos gases clorofluorcarbonos (CFCs) na atmosfera pode provocar depleção de ozônio (O_3) na estratosfera. O ozônio estratosférico é responsável por absorver parte da radiação ultravioleta emitida pelo Sol, a qual é nociva aos seres vivos. Esse processo, na camada de ozônio, é ilustrado simplificado na figura.

Legenda

- C
- F
- Cl
- O

Quimicamente, a destruição do ozônio na atmosfera por gases CFCs é decorrência da

- A clivagem da molécula de ozônio pelos CFCs para produzir espécies radicalares.
- B produção de oxigênio molecular a partir de ozônio, catalisada por átomos de cloro.
- C oxidação do monóxido de cloro por átomos de oxigênio para produzir átomos de cloro.
- D reação direta entre os CFCs e o ozônio para produzir oxigênio molecular e monóxido de cloro.
- E reação de substituição de um dos átomos de oxigênio na molécula de ozônio por átomos de cloro.

Fonte: Caderno de CN azul do ENEM aplicada em 2014 (BRASIL, 2021).

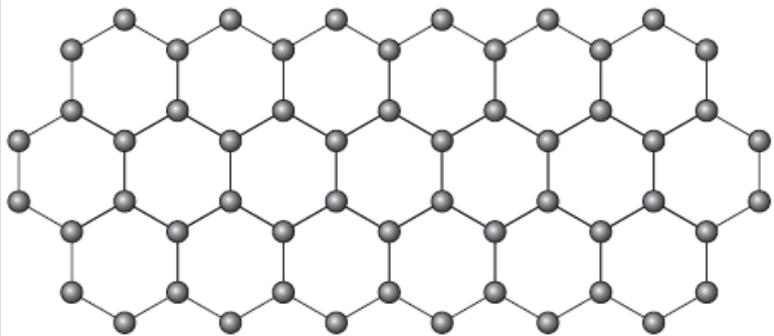
Na Figura 12 podemos identificar o aspecto submicroscópico nas bolinhas que indicam que átomo constitui aquela estrutura, trata-se assim, de “modelo explicativo em nível atômico-molecular” (KIILL, 2009, p. 33) e o simbólico, tanto no enunciado quanto na legenda da imagem (símbolos e fórmulas químicas).

A categoria JK5 Submicroscópico traz teorias e modelos que tratam o fenômeno em termos de átomos, moléculas, íons ou partículas subatômicas (KIILL, 2009; JOHNSTONE, 1993). Representando essa categoria, na Figura 13 é apresentando um item de Química presente no ENEM 2018. Neste item, a estrutura do grafeno é apresentada em termos de organização atômica, em uma estrutura hexagonal.

Figura 13: Representação JK5 Submicroscópico encontrada no Item 130, presente na edição 2018 do ENEM.

QUESTÃO 130

O grafeno é uma forma alotrópica do carbono constituído por uma folha planar (arranjo bidimensional) de átomos de carbono compactados e com a espessura de apenas um átomo. Sua estrutura é hexagonal, conforme a figura.



Nesse arranjo, os átomos de carbono possuem hibridação

- A sp de geometria linear.
- B sp^2 de geometria trigonal planar.
- C sp^3 alternados com carbonos com hibridação sp de geometria linear.
- D sp^3d de geometria planar.
- E sp^3d^2 com geometria hexagonal planar.

Fonte: Caderno de CN azul do ENEM aplicada em 2018 (BRASIL, 2021).

Na categoria JK6 Macrosubmicroscópico tem-se a junção dos aspectos macroscópico e submicroscópico. Na Figura 14, na qual é apresentado o item pertencente a prova do ENEM de 2013, músculos artificiais são colocados de forma macroscópica, levando em consideração aspectos reais de sua estrutura, na figura em questão, e, além disso, os íons são apresentados em termos atômicos, representando o aspecto submicroscópico do item. É o único item pertencente a essa categoria, de acordo com a análise realizada.

Figura 14: Representação JK6 Macrosubmicroscópico encontrada no Item 46, presente na edição 2013 do ENEM.

QUESTÃO 46

Músculos artificiais são dispositivos feitos com plásticos inteligentes que respondem a uma corrente elétrica com um movimento mecânico. A oxidação e redução de um polímero condutor criam cargas positivas e/ou negativas no material, que são compensadas com a inserção ou expulsão de cátions ou ânions. Por exemplo, na figura os filmes escuros são de polipirrol e o filme branco é de um eletrólito polimérico contendo um sal inorgânico. Quando o polipirrol sofre oxidação, há a inserção de ânions para compensar a carga positiva no polímero e o filme se expande. Na outra face do dispositivo o filme de polipirrol sofre redução, expulsando ânions, e o filme se contrai. Pela montagem, em sanduíche, o sistema todo se movimenta de forma harmônica, conforme mostrado na figura.

DE PAOLI, M. A. Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola, São Paulo, maio 2001 (adaptado).

A camada central de eletrólito polimérico é importante porque

- absorve a irradiação de partículas carregadas, emitidas pelo aquecimento elétrico dos filmes de polipirrol.
- permite a difusão dos íons promovida pela aplicação de diferença de potencial, fechando o circuito elétrico.
- mantém um gradiente térmico no material para promover a dilatação/contração térmica de cada filme de polipirrol.
- permite a condução de elétrons livres, promovida pela aplicação de diferença de potencial, gerando corrente elétrica.
- promove a polarização das moléculas poliméricas, o que resulta no movimento gerado pela aplicação de diferença de potencial.

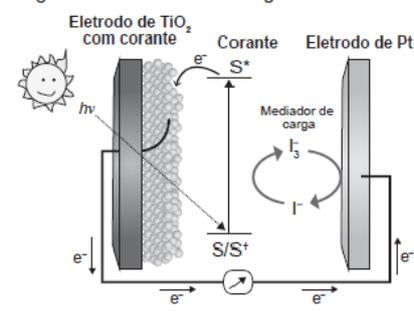
Fonte: Caderno de CN azul do ENEM aplicada em 2013 (BRASIL, 2021).

A categoria JK7 Macrosubmicrosimbólico é a mais completa, já que considera os três componentes da Química: macroscópico, submicroscópico e simbólico. A Figura 15 é um item de Química presente na edição 2018 do ENEM, e traz como aspecto simbólico as equações químicas e os símbolos. Como aspecto submicroscópico temos os átomos representados no eletrodo de TiO_2 com corante, e, por fim, o aspecto macroscópico que é a própria estrutura que representa as células solares.

Figura 15: Representação JK7 Macrosimbólico encontrada no Item 116, presente na edição 2018 do ENEM.

QUESTÃO 116

Células solares à base de TiO_2 sensibilizadas por corantes (S) são promissoras e poderão vir a substituir as células de silício. Nessas células, o corante adsorvido sobre o TiO_2 é responsável por absorver a energia luminosa ($h\nu$), e o corante excitado (S^*) é capaz de transferir elétrons para o TiO_2 . Um esquema dessa célula e os processos envolvidos estão ilustrados na figura. A conversão de energia solar em elétrica ocorre por meio da sequência de reações apresentadas.



$$\text{TiO}_2\text{S} + h\nu \rightarrow \text{TiO}_2\text{S}^* \quad (1)$$

$$\text{TiO}_2\text{S}^* \rightarrow \text{TiO}_2\text{S} + e^- \quad (2)$$

$$\text{TiO}_2\text{S} + \frac{3}{2} \text{I}^- \rightarrow \text{TiO}_2\text{S} + \frac{1}{2} \text{I}_3^- \quad (3)$$

$$\frac{1}{2} \text{I}_3^- + e^- \rightarrow \frac{3}{2} \text{I}^- \quad (4)$$

LONGO, C.; DE PAOLI, M.-A. Dye-Sensitized Solar Cells: A Successful Combination of Materials. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, n. 6, 2003 (adaptado).

A reação 3 é fundamental para o contínuo funcionamento da célula solar, pois

- A reduz íons I^- a I_3^- .
- B regenera o corante.
- C garante que a reação 4 ocorra.
- D promove a oxidação do corante.
- E transfere elétrons para o eletrodo de TiO_2 .

Fonte: Caderno de CN azul do ENEM aplicada em 2018 (BRASIL, 2021).

Ao considerar que os fenômenos químicos, no nível macroscópico, são a base da química e para explicá-los geralmente fazemos uso de recursos do nível simbólico e submicroscópico das representações, a capacidade dos estudantes de entender o papel de cada nível de representação química juntamente com a habilidade de transitar de um nível para outro, é um aspecto significativo na formulação de explicações compreensíveis (TREAGUST; CHITTLEBOROUGH; MAMIALA, 2003). Nesse sentido, ao se valorizar itens com aspecto simbólico nas provas, é uma forma de exigir do estudante um conhecimento mais articulado e profundo dos diferentes níveis explicativos que um conceito químico pode ter, o que justifica o seu uso mais frequente, ainda mais quando consideramos que é uma prova que está selecionando estudantes.

Com o intuito de correlacionar o percentual de acerto dos itens das categorias incluídas na classificação proposta por Johnstone (1993), foi realizado o levantamento do percentual de acertos de todos os níveis. Na Tabela 3 são apresentados os valores dos percentuais de acerto de todos os itens pertencentes a cada uma das categorias, com exceção da categoria JK3, que teve uma proporção de ocorrência muito maior que as demais. A intenção de apresentar somente os demais itens pode ser justificada porque as demais categorias abordam associações de conhecimentos relacionados com o ensino de química. Com relação as cores das células da

tabela, elas se referem as faixas de porcentagem de acerto: azul para porcentagem de acerto menor que 25%; verde para a faixa de 26 a 50%; rosa para faixa de 51 a 75%. Não foram observadas porcentagens acima de 75%.

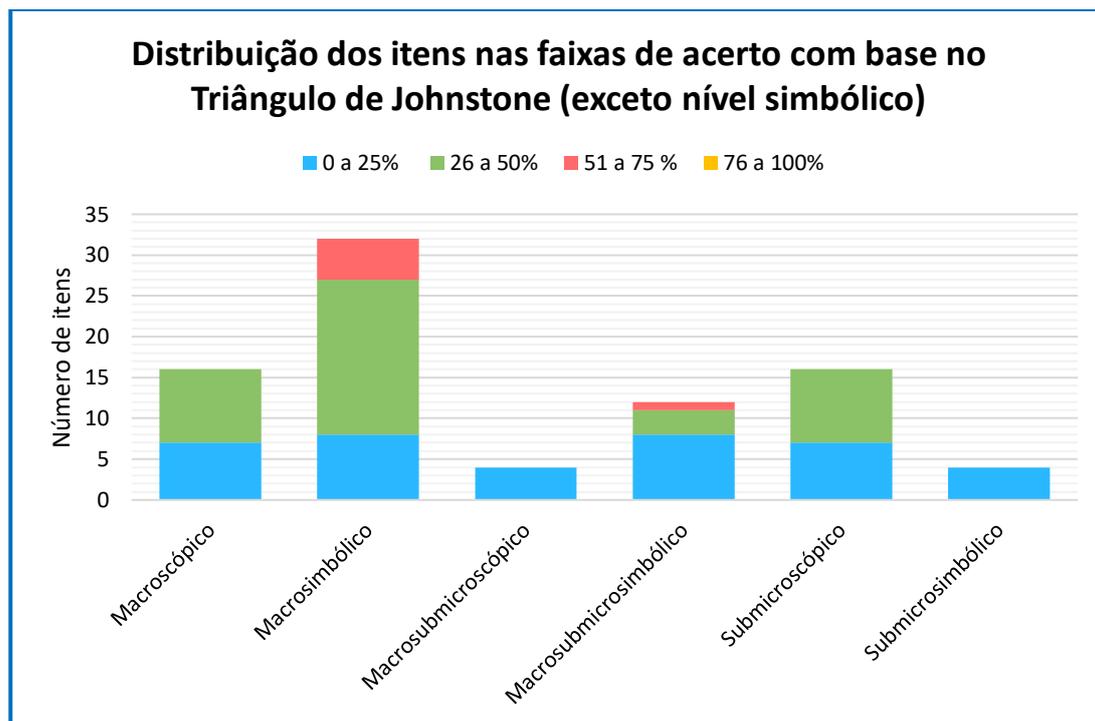
Tabela 3: Percentual de acerto de cada dependência administrativa para as categorias segundo Johnstone (1993), com exceção do JK3.

| Ano/Item | Descrição da representação | Nível representacional | Federal | Estadual | Municipal | Privada |
|----------|-------------------------------------|------------------------------|---------|----------|-----------|---------|
| 10_83 | Figura ilustrativa | Macroscópico (JK1) | 9,20 | 11,00 | 10,27 | 9,05 |
| 16_48 | Figura ilustrativa | Macroscópico (JK1) | 48,64 | 26,07 | 30,60 | 49,28 |
| 16_72 | Figura ilustrativa | Macroscópico (JK1) | 27,48 | 22,13 | 23,28 | 32,69 |
| 19_134 | Figura ilustrativa | Macroscópico (JK1) | 43,88 | 24,31 | 28,94 | 42,49 |
| | | | | | | |
| 10_63 | Figura esquema | Macrosimbólico (JK2) | 58,69 | 34,55 | 36,92 | 50,23 |
| 14_71 | Figura processo | Macrosimbólico (JK2) | 39,24 | 26,66 | 28,86 | 34,64 |
| 17_121 | Quadro e figura esquema (realidade) | Macrosimbólico (JK2) | 48,69 | 52,33 | 52,28 | 44,72 |
| 17_95 | Figura esquema (realidade) | Macrosimbólico (JK2) | 15,82 | 14,03 | 15,39 | 21,86 |
| 16_53 | Figura processo | Macrosimbólico (JK2) | 31,55 | 23,69 | 24,01 | 33,29 |
| 18_93 | Figura esquema (realidade) | Macrosimbólico (JK2) | 45,46 | 32,14 | 36,39 | 51,94 |
| 18_95 | Figura esquema (realidade) | Macrosimbólico (JK2) | 31,14 | 19,08 | 21,49 | 32,39 |
| 19_103 | Equação química | Macrosimbólico (JK2) | 43,98 | 30,80 | 36,30 | 51,22 |
| | | | | | | |
| 14_48 | figura processo | Submicrosimbólico (JK4) | 23,13 | 19,87 | 19,80 | 20,62 |
| | | | | | | |
| 12_89 | Figura esquema | Submicroscópico (JK5) | 39,83 | 20,84 | 22,07 | 37,61 |
| 19_116 | figura esquema | Submicroscópico (JK5) | 44,30 | 37,63 | 37,78 | 44,18 |
| 18_91 | figura esquema | Submicroscópico (JK5) | 35,18 | 22,15 | 26,19 | 37,55 |
| | | | | | | |
| 13_46 | Figura esquema | Macrosubmicroscópico (JK6) | 14,88 | 14,76 | 13,50 | 13,17 |
| | | | | | | |
| 16_85 | Estrutura orgânica | Macrosubmicrosimbólico (JK7) | 22,24 | 12,96 | 13,39 | 18,75 |
| 18_116 | Figura esquema (realidade) | Macrosubmicrosimbólico (JK7) | 15,28 | 10,59 | 11,09 | 14,33 |
| 19_118 | Figura esquema | Macrosubmicrosimbólico (JK7) | 48,69 | 52,33 | 52,28 | 44,72 |

Fonte: Autoria própria.

Os resultados apresentados na Tabela 3 e no gráfico da Figura 16 demonstram que a grande maioria dos itens possui percentual de acerto abaixo de 50%.

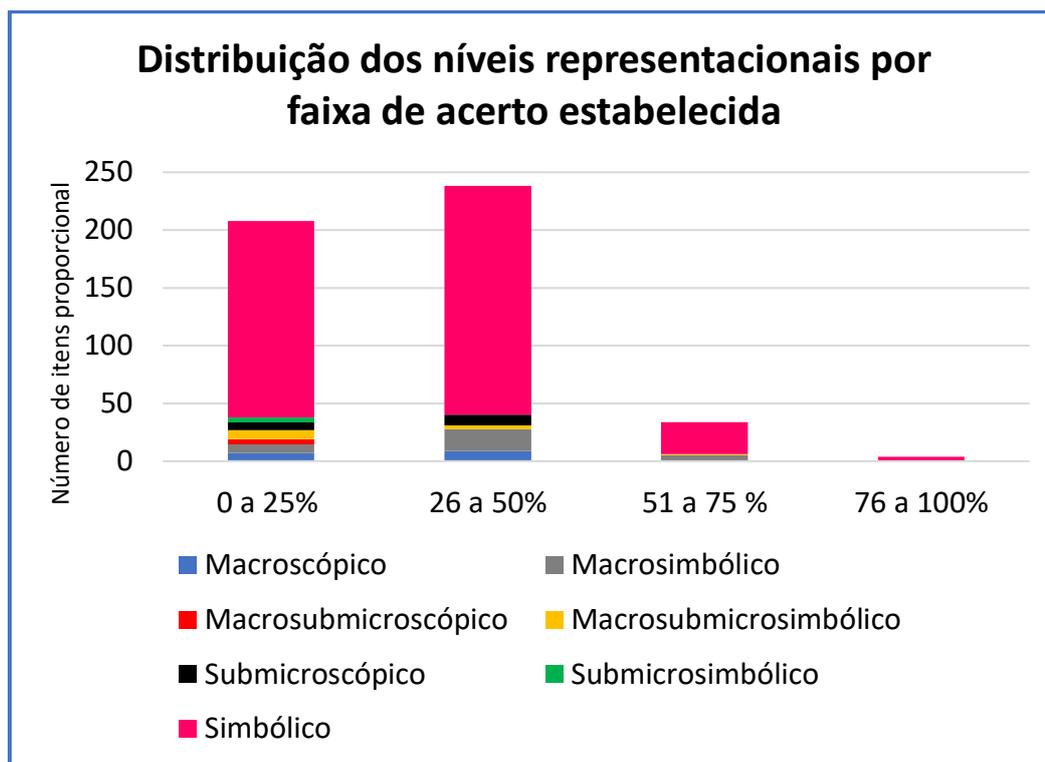
Figura 16: Gráfico com a distribuição dos itens nas faixas de acerto, com base no Triângulo de Johnstone, com exceção do nível simbólico, para os itens presentes nas edições de 2009 a 2019.



Fonte: Autoria própria

A Figura 17 traz a distribuição das categorias de Johnstone por faixas de porcentagem de acerto. Temos quatro faixas, sendo elas de 0 a 25%, de 26 a 50%, de 51% a 75% e de 76 a 100%. O nível Macrosubmicrosimbólico (amarelo) e o Macrosimbólico (cinza) estão presentes em três faixas de porcentagem de acerto, só não está na mais alta (76 a 100%). Quando olhamos para a classificação Submicrosimbólico percebemos que ela só está presente na região de zero a 25%, representando a categoria com pior desempenho dos estudantes. Para fins de análise, foi realizada a soma do total de itens de cada categoria, para todas as dependências administrativas, já que esses valores eram diferentes entre as dependências, com o objetivo de manter a proporção entre elas e pudessem ser representadas na forma de um gráfico único, com uma visão do todo. Por isso, temos esses valores no eixo y, superior ao número total de itens.

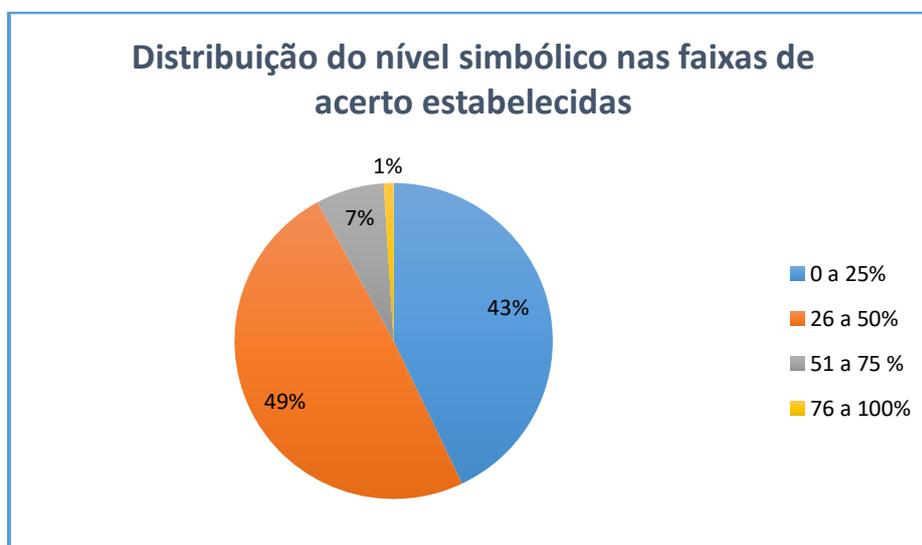
Figura 17: Distribuição das categorias de Johnstone por faixa de acerto.



Fonte: Autoria própria

A Figura 18 traz a distribuição dos itens classificados como simbólico segundo triângulo de Johnstone, por faixa de acerto. É a categoria com maior número de itens, como já dito anteriormente, podemos perceber que os itens estão concentrados nas regiões de faixas de acerto de zero a 25% e 26 a 50%, ou seja, em porcentagens de acerto abaixo de 50%.

Figura 18: Distribuição dos itens por faixa de acerto para a categoria simbólico, referente a classificação de Johnstone.



Fonte: Autoria própria

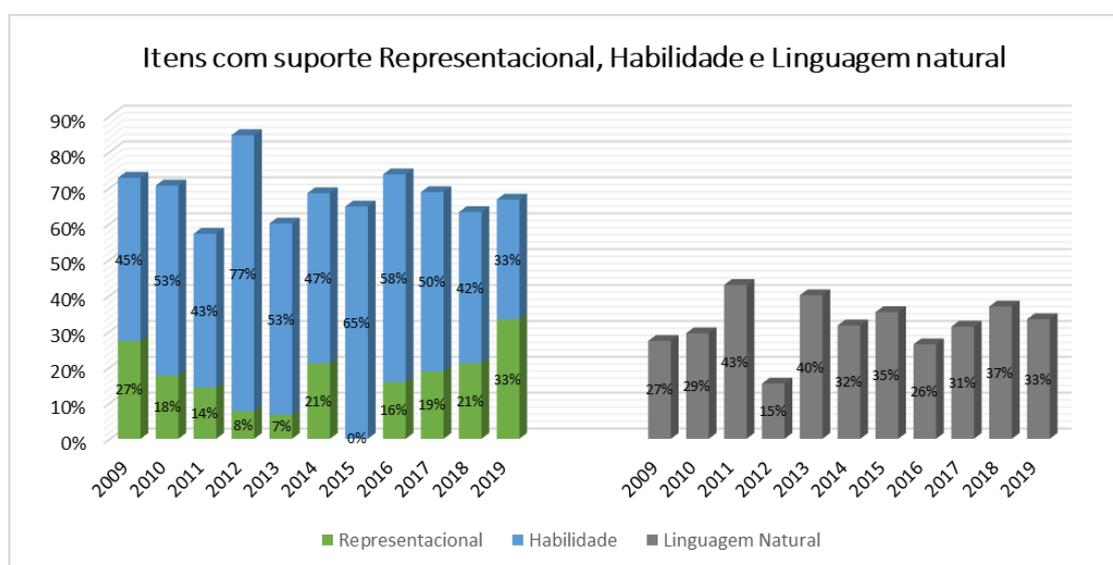
4.2. Análise dos itens quanto ao suporte representacional habilidade e linguagem natural

Nesta categoria, foram analisados os itens quanto ao conhecimento necessário para a interpretação da imagem e resolução do item. Assim, os itens classificados na categoria suporte habilidade, são aqueles que além do conhecimento das representações universais, o estudante precisa ter um conhecimento de normas específicas, no caso, a linguagem química, que pode estar na forma de equação química, símbolos, fórmulas, estruturas orgânicas, dentre outras.

Os itens com representações em que não há simbologia que pertence ao universo da química, ou caso tenha, não interfere na resolução do item, são classificados como pertencente ao suporte representacional.

Na Figura 19 são apresentadas as distribuições percentuais relativas ao suporte representacional, suporte habilidade e linguagem natural correspondentes ao conjunto de itens analisados, distribuídos nos respectivos anos em que eles foram aplicados. Do lado esquerdo temos o gráfico referente aos itens com a presença de representação, e suas porcentagens em relação a distribuição destes itens quanto ao suporte representacional ou habilidade. Já ao lado direito, temos os itens sem representação ou caso haja alguma informação simbólica no texto explicativo, esta não tem papel determinante na compreensão e resolução do item, são os itens com suporte linguagem natural.

Figura 19: Distribuição percentual dos itens com representação (Habilidade e Representacional) e sem representação (Linguagem Natural) nas provas do ENEM nos anos de 2009 a 2019.



Fonte: Autoria própria

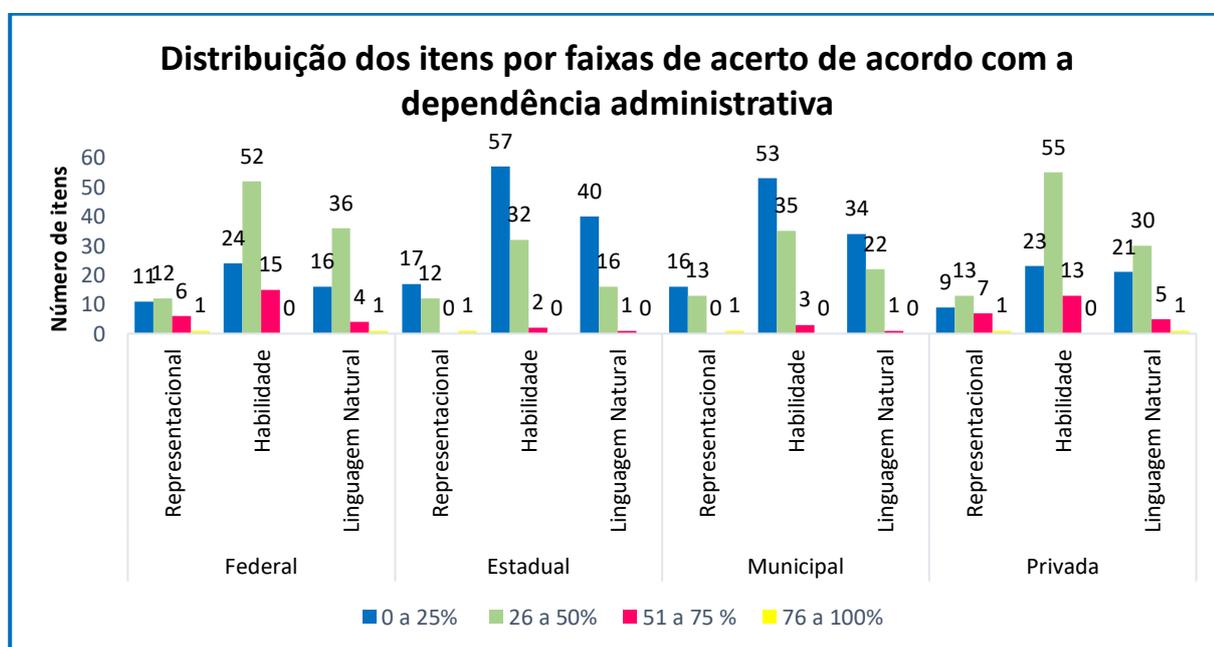
A partir das informações presentes na Figura 19, pode-se inferir que para todos os anos analisados, a porcentagem de itens com a presença de algum tipo de representação é superior a porcentagem de itens sem representação. Dentro dos itens com representação, aqueles que pertencem ao suporte habilidade, para todos os anos, estão em uma porcentagem mais alta. Vale destacar que no ano de 2015, todos os itens foram classificados dentro desta categoria. A partir de 2016, houve um aumento gradual dos itens pertencentes ao suporte representacional, e no ano de 2019, temos uma distribuição uniforme entre as três categorias. Outro ponto interessante, é que em 2009 a prova apresentou um perfil semelhante a edição de 2019, neste aspecto. Podemos perceber uma tendência em ter uma distribuição de forma mais uniforme quanto a essas categorias. É interessante pois há uma valorização também de conhecimentos relacionados a alfabetização gráfica, que independe de conhecimentos específicos da química e trata de uma linguagem aplicada em uma variedade de situações do cotidiano e em outras áreas do conhecimento. Nesse sentido, considerando a formação do cidadão como parte do objetivo do ensino de química, deve-se fazer uso de metodologias capazes de “propiciar ao aluno um espaço de convivência através do qual ele possa se apropriar e utilizar o conhecimento químico no desenvolvimento de habilidades básicas para se viver em sociedade” (DEL PINO, FRISON, 2011, p. 43). Assim, a química pode ser uma ferramenta educativa valiosa para auxiliar a construção desse conhecimento, que não se limita a linguagem química. Os estudantes que estão familiarizados com esta linguagem irão conseguir atingir bons resultados mesmo se tiverem defasagens em conhecimentos específicos de química, e se trata de uma habilidade fundamental para a formação do cidadão e no entendimento de situações reais da vida em sociedade.

Podemos afirmar que, ainda que exista uma tendência na distribuição das categorias, para a resolução dos itens com representação, em sua maioria, eles requerem conhecimentos específicos da área de química para serem solucionados.

Na Figura 20 é apresentada a distribuição dos itens considerando as categorias de estudos desta etapa (suporte representacional, suporte habilidade e linguagem natural) e as faixas de porcentagens de acerto para as diferentes dependências administrativas: escolas federais, estaduais, municipais e privadas. Novamente observa-se que a taxa de acerto fica abaixo de 50% para a maioria dos itens, independente se o item possui ou não representações. Na categoria suporte representacional a concentração de acerto ocorre na faixa de 26 a 50% e é relativamente próxima entre os estudantes das 4 dependências administrativas. Nessa categoria chama ainda atenção que um item teve taxa de acerto acima de 76% para os estudantes de todas as dependências administrativas.

Os itens pertencentes à categoria suporte Habilidade apresentaram taxa de acerto muito variável, de acordo com a dependência administrativa. Uma apreciável quantidade de itens teve uma taxa de acerto abaixo de 25% quando respondidos por estudantes de escolas estaduais e municipais. A distribuição de acerto dos itens para essa categoria é muito semelhante para os estudantes de escolas federais e privadas. Outro ponto que podemos destacar é que representação de conteúdos específicos da química tornam o item mais difícil, já que neste caso, temos as porcentagens de acerto concentradas em regiões abaixo de 50%, com um número de itens mais expressivos, se comparado com as outras categorias e com as outras regiões de porcentagem de acerto.

Figura 20: Distribuição dos itens considerando as categorias suporte representacional, suporte habilidade e linguagem natural e as faixas de porcentagens de acerto para as dependências administrativas: estudantes das escolas federais, estaduais, municipais e privadas.



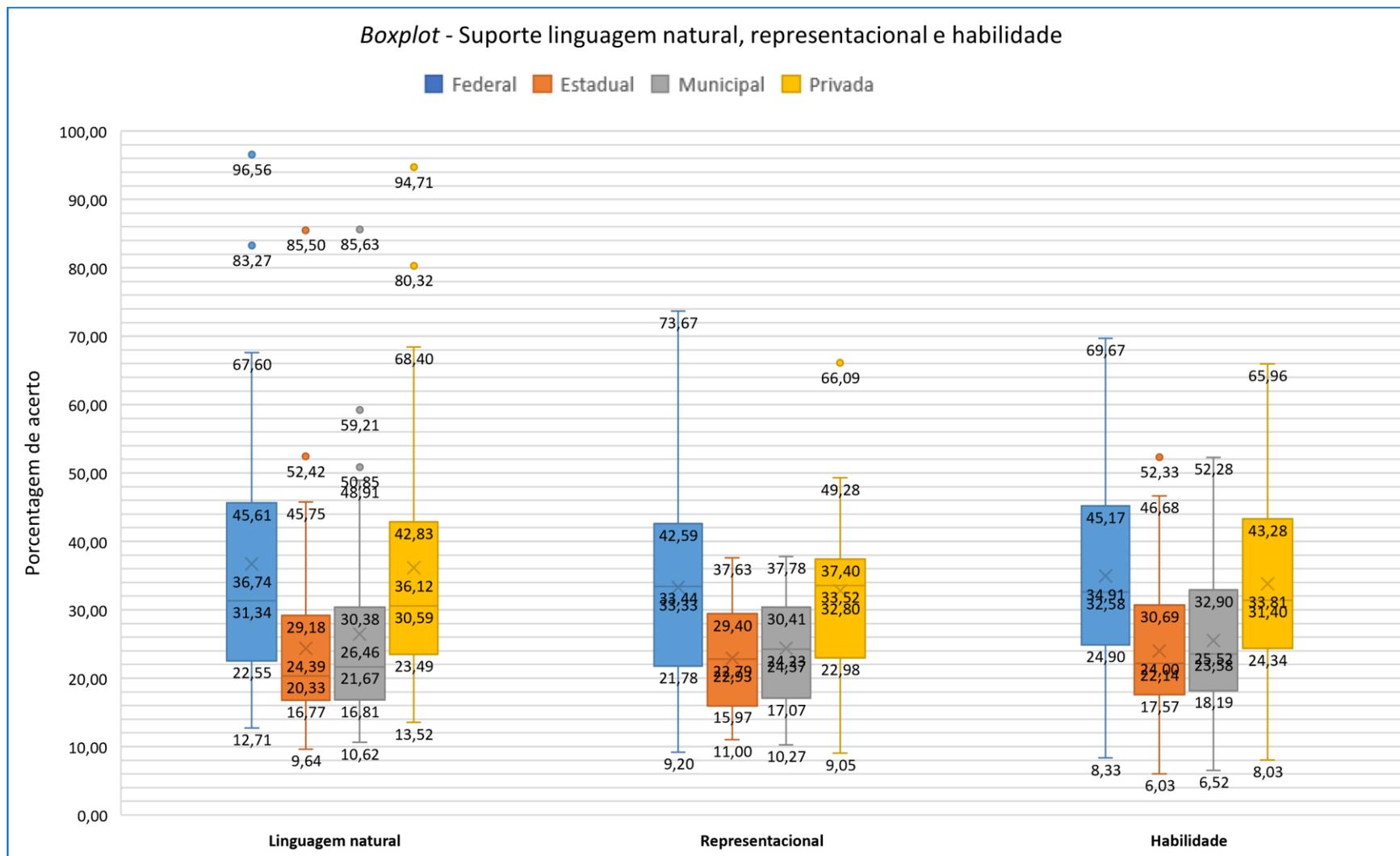
Fonte: Autoria própria

Os itens classificados na categoria Linguagem Natural também foram acertados em proporções muito semelhantes pelos alunos das escolas privadas e federais, sendo a maioria deles na faixa de 26 a 50% de acerto. Nessa categoria chama atenção a proporção de itens com acerto na faixa de até 25% para os estudantes de escolas estaduais e municipais. Esses resultados apontam que itens com demandas conceituais específicas, independentes de possuírem ou não representações possuem menor taxa de acerto para estudantes provenientes de dependências administrativas estadual e municipal. Por outro lado, itens pertencentes à categoria representacional apresentam taxa de acerto menos discrepantes entre os estudantes das dependências administrativas.

A Figura 21 apresenta um *boxplot* para a distribuição dos itens classificados nesta categoria, conforme porcentagens de acerto. Podemos perceber que os itens classificados como suporte linguagem natural apresentam as maiores porcentagens de acerto pelos estudantes das Escolas Federais, sendo que o quartil superior tem como valor 45,61%, representando a posição 75% dos dados. Já para o Estado esse valor é de 29,18% uma distância considerável. A mediana para a rede Federal tem como valor 31,34%, já para a rede Estadual esse valor é igual a 20,33%.

Quando analisamos as medianas do suporte representacional, temos valores mais próximos para todas as dependências administrativas, uma característica interessante quando pensamos em um processo de seleção de estudantes. Itens que não parecem favorecer nenhum grupo, a princípio, é um tipo de questão interessante para compor provas que avaliam estudantes com perfis distintos.

Figura 21: Boxplot com as taxas de acerto para todas as dependências administrativas, para os itens de química classificados de acordo com as categorias suporte linguagem natural, representacional e habilidade.



Fonte: Autoria própria

4.2. Análise dos dados segundo a Taxonomia de Bloom Revisada

Todos os itens selecionados foram classificados de acordo com a Taxonomia Revisada de Bloom. A classificação de cada item resultou em um verbo (ou verbo derivado), um objeto do conhecimento e a especificação da subárea da química. Para melhor compreender a distribuição das demandas cognitivas presentes nos itens no ENEM, os itens foram alocados em uma tabela bidimensional. De acordo com Anderson e Krathwohl (2001, p. 104) a tabela bidimensional é um instrumento que pode ser empregado para a elaboração e estudos de avaliações. As linhas e colunas dessa tabela contêm as dimensões dos processos cognitivos e dos conhecimentos, respectivamente (ANDERSON, KRATHWOHL, 2001). O preenchimento desse instrumento pode proporcionar uma visão geral de um grupo de itens ou de itens presentes em diferentes instrumentos de avaliação.

No Quadro 7 os itens são identificados por uma sequência de números que inclui o ano em que ele participou da prova e a sua localização na prova do ENEM de cor azul. Exemplo: 17_106: item presente na prova do ENEM de 2017, com a posição 106 no Caderno Azul.

Analisando as informações presentes no Quadro 7 podemos observar que os conhecimentos Factual, Conceitual e Procedimental estão presentes nos itens analisados. Os itens com a dimensão do conhecimento Factual são aqueles relacionados a conteúdos básicos e isolados, inclui conhecimento de terminologia, denominações, termos essenciais e símbolos, tanto verbais quanto não verbais. Nos itens analisados, o conhecimento Factual foi contemplado, por exemplo, em itens em que o respondente deveria reconhecer a função orgânica presente em uma estrutura química (11_72, 12_49, 13_90, 14_65, 17_114); a finalidade de um determinado composto em sistema (09_01, 12_53), ou saber identificar uma etapa em um processo de separação de mistura (13_81, 15_51, 16_72).

O conhecimento Conceitual é mais complexo e relacional, tais como classificações, princípios e generalizações, teorias, esquemas, modelos e estruturas. Envolve o reconhecimento das interações existentes entre os conhecimentos básicos, de modo que eles funcionem de forma associada, por meio de uma estrutura maior e mais complexa, organizada de forma sistemática (SOUSA, 2021). Nos itens analisados, alguns exemplos acontecem nos itens em que o respondente necessita conhecer uma teoria para resolver a situação problema proposta, como por exemplo, selecionar a substância adequada a partir do seu potencial de redução (12_82), prever o papel de um eletrólito em um sistema polimérico (13_46), prever os produtos formados em um processo de eletrólise (17_96), ou selecionar o melhor material a partir de dados cinéticos (14_90).

Quadro 8: Distribuição dos itens presentes nas provas segundo a Taxonomia de Bloom Revisada

| | | Dimensão do processo cognitivo | | | | | | | | |
|--------------------------|----------------------------|--|--|---|----------|---|-------------------------------|--|--|--------|
| | | Lembrar | Entender | Aplicar | Analisar | Avaliar | Criar | | | |
| Dimensão do conhecimento | Conhecimento factual | 10_53 10_90 11_52 11_71 11_72 12_49 12_53 12_76 13_51 13_74 13_81 13_90 14_49 14_52 14_65 15_51 15_59 16_72 16_80 17_97 17_114 17_126 18_99 18_105 18_124 19_99 19_105 19_115 19_123 19_128 | 09_1 09_2 09_23 09_26 10_80 11_80 11_83 11_85 12_58 15_52 15_90 16_67 16_70 17_106 18_113 18_130 18_135 | | | 14_48 | 11_80 | As diferentes cores estão associadas aos anos das edições do ENEM. | | |
| | Conhecimento conceitual | | 09_12 09_15 09_40 10_55 10_57 10_63 10_65 10_67 10_77 10_85 11_55 11_59 11_75 12_70 12_79 12_86 12_89 13_46 13_54 13_69 13_86 14_51 14_54 14_63 14_70 14_75 14_77 14_80 14_86 15_46 15_57 15_58 15_60 15_62 15_77 15_80 15_81 16_46 16_51 16_60 16_81 16_85 16_89 17_94 17_130 | | | 09_36 10_82 12_66 12_69 12_82 13_58 13_68 14_71 16_48 16_52 16_76 16_78 17_95 18_91 18_93 18_116 18_118 18_126 | 19_91 19_118 19_122 19_124 | | 13_64 14_59 14_90 15_50 17_121 19_116 | |
| | Conhecimento procedimental | | | 09_43 09_44 10_69 10_72 10_73 10_74 10_83 11_50 11_54 11_62 11_81 12_59 12_90 13_47 13_49 13_71 13_77 14_56 14_58 14_83 14_88 15_55 15_71 15_76 15_84 16_50 16_58 16_68 17_91 17_104 17_122 17_124 18_92 18_114 19_95 19_117 19_129 | | | | | 11_81 17_113 17_134 | 18_109 |
| | Conhecimento Metacognitivo | | 09_29 11_62 | | | | | | | |

Fonte: Autoria própria

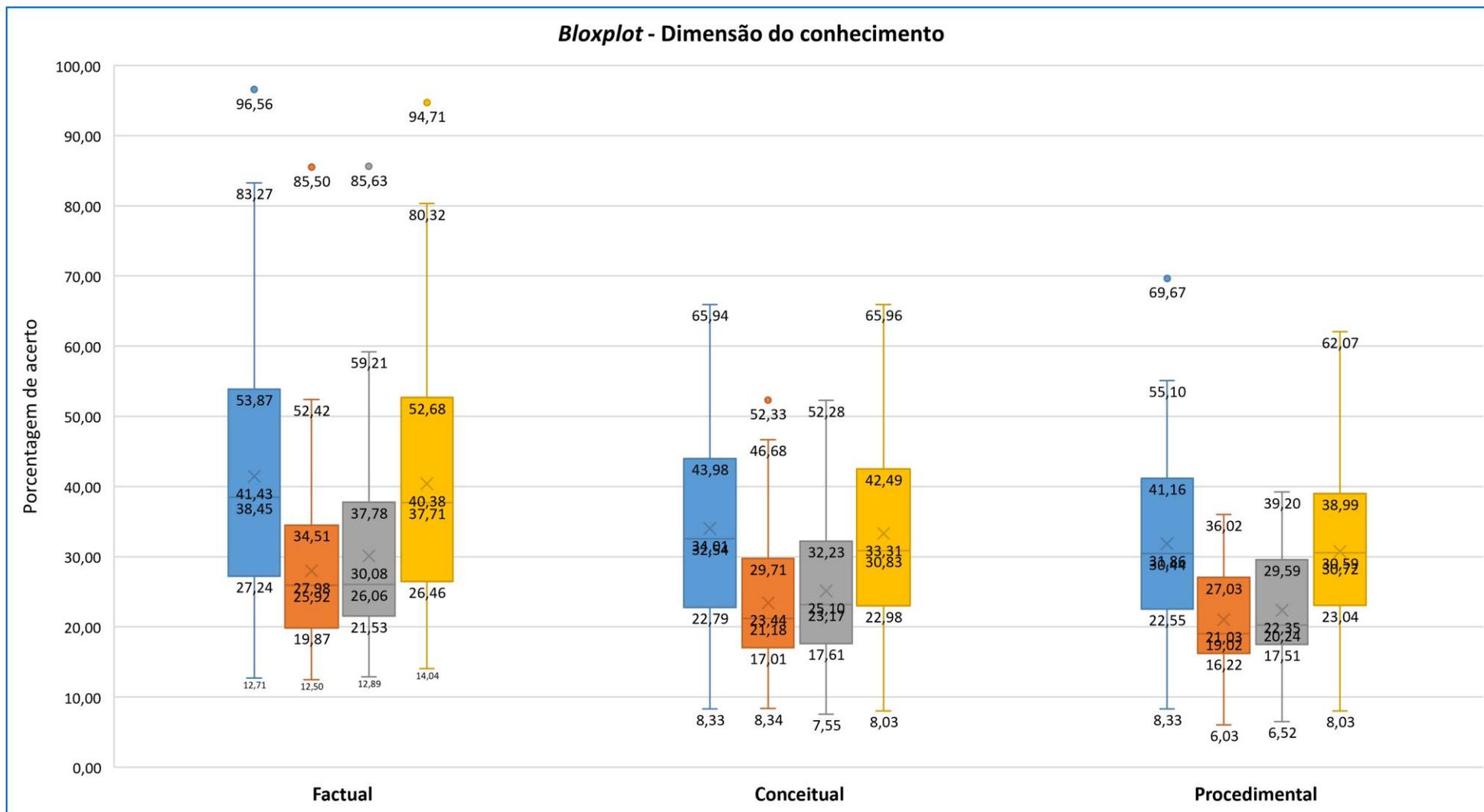
Por sua vez, o conhecimento Procedimental é o conhecimento relacionado a como fazer algo, incluindo assim algoritmos, técnicas e métodos, a partir de uma série ou sequência de passos a serem seguidos, em uma ordem fixa ou não, além de critérios usados para identificar quando utilizar esses diferentes métodos, dentro de contextos específicos (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001). Na Química, o conhecimento Procedimental está vinculado principalmente aos algoritmos, e relacionado ao “como fazer?” e “o que fazer?”. Exemplos desse conhecimento seria o cálculo da variação de entalpia para a um determinado processo (16_50), cálculo do calor gerado pelo consumo de um certo combustível (18_92, 12_59), cálculo estequiométrico (17_122, 10_73, 10_79) etc. Esse conhecimento pode ser avaliado em situações nas quais o cálculo é realizado pelo estudante sem que haja reflexão sobre o contexto e sobre a magnitude dos valores e resultados obtidos. Em outras situações, esse conhecimento pode envolver o uso critérios para definir procedimentos e técnicas específicas, implicando em uma reflexão e análise sobre os procedimentos adotados. (CINTRA, MARQUES JUNIOR, SOUSA, 2016).

Os itens se concentraram em 5 domínios da tabela: lembrar factual, entender factual, entender conceitual, analisar conceitual e aplicar procedimental (ver Quadro 8). Esses itens pertencem à região da tabela classificada como de baixa demanda cognitiva. Segundo Zoller e Tsaparlis (1997, p. 118):

são questões de conhecimento que requerem simples recuperação de informações ou uma simples aplicação de teoria ou conhecimento conhecido a situações e contextos familiares; também podem ser problemas (principalmente exercícios computacionais) solucionáveis por meio de processos algorítmicos [aplicação mecanicista de procedimentos (algoritmos) ensinados/recuperados/conhecidos, mas não necessariamente compreendidos, já familiares ao aluno por meio de diretrizes específicas anteriores ou prática ou ambos.

Ao realizar uma comparação da tabela bidimensional com a definição de alta e baixa demanda cognitiva podemos associar os processos cognitivos Lembrar, Entender e Aplicar como itens de baixa demanda cognitiva e as habilidades Analisar e Avaliar como pertencentes à alta demanda cognitiva, para os três conhecimentos em questão (Factual, Conceitual e Procedimental) (CINTRA; MARQUES JUNIOR; SOUSA, 2016).

Figura 22: *Boxplot* com as taxas de acerto para todas as dependências administrativas, para a classificação segundo a Taxonomia de Bloom Revisada.

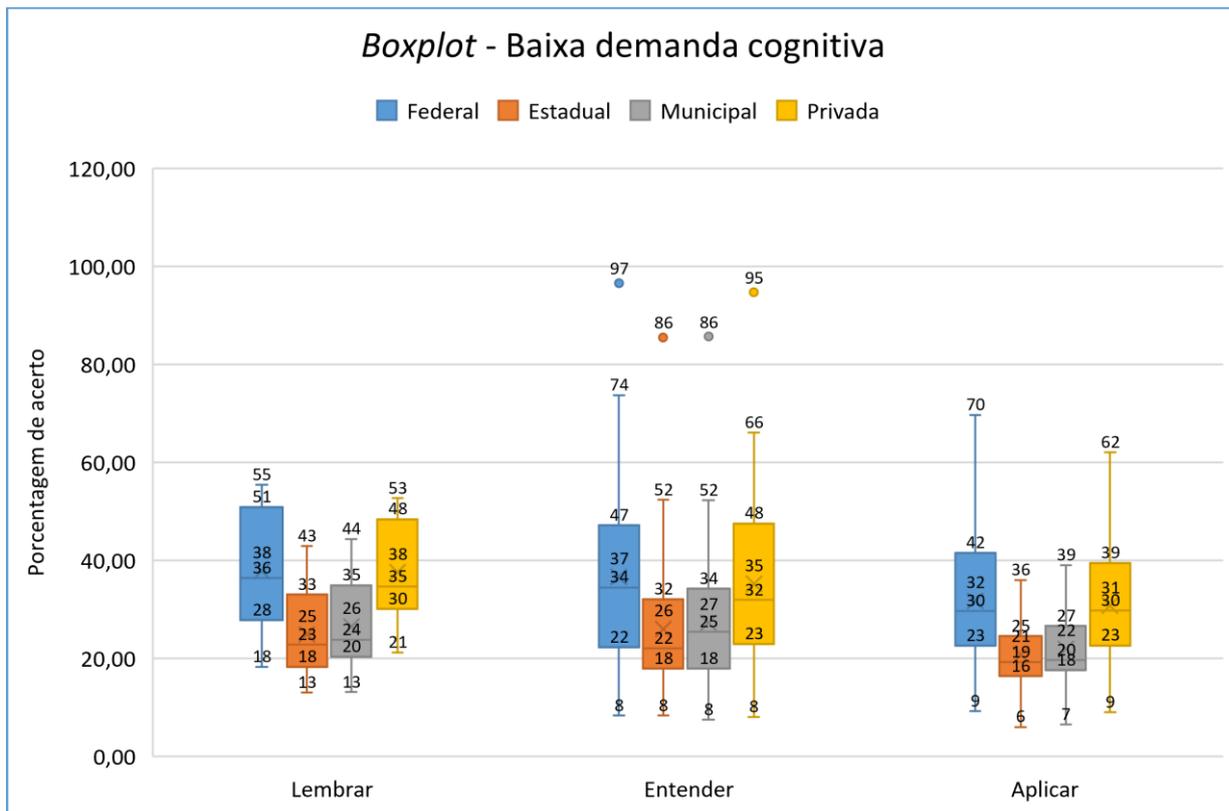


Fonte: Autoria própria

A Figura 22: *Boxplot* com as taxas de acerto para todas as dependências administrativas, para a classificação segundo a Taxonomia de Bloom Revisada. Figura 22 apresenta o *boxplot* para distribuição dos itens nesta categoria, considerando as porcentagens de acerto dos estudantes pertencentes às quatro dependências administrativas. Podemos notar que a dimensão do conhecimento factual, referente a conhecimentos com baixa demanda cognitiva, apresenta o gráfico de caixa deslocado para uma porcentagem de acerto maior, para todas as dependências administrativas. A dimensão do conhecimento procedimental apresentou os resultados mais baixos, ainda que próximos a dimensão do conhecimento conceitual. Cerca de 95% dos itens dentro desta dimensão estão associados a dimensão do processo cognitivo aplicar e como subcategoria calcular. É sabido que grande parte dos estudantes apresentam dificuldades com a aprendizagem de matemática. Segundo Junior (2014), o ensino tradicional de matemática direciona para uma aprendizagem de procedimentos, não valorizando o aspecto relacional que existe com outros conceitos estudados, formando estudantes passivos e inseguros. Essa formação traz prejuízos para outras áreas que se relacionam com a matemática e que utilizam desses conhecimentos aplicados em outras situações, como a química.

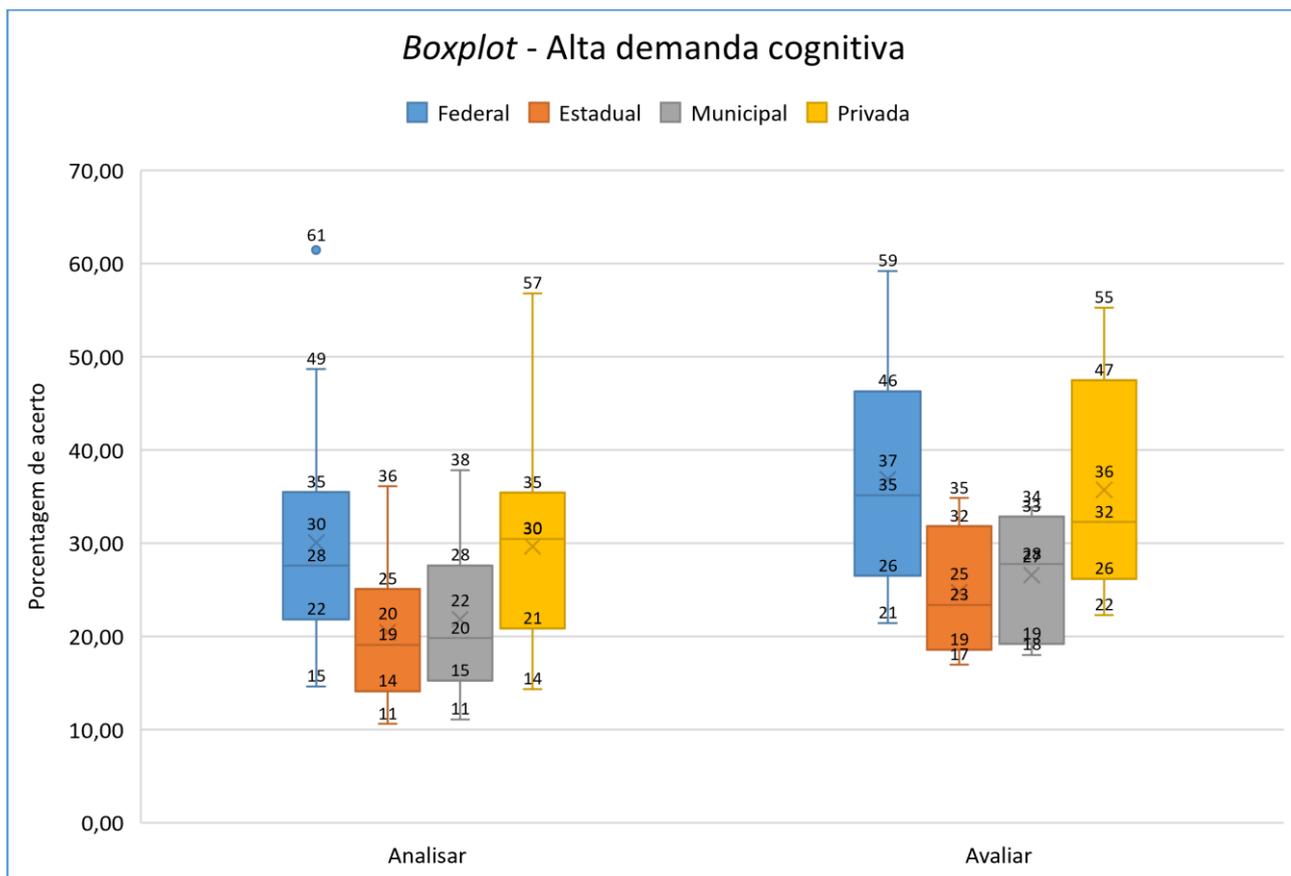
A Figura 23 e Figura 24 trazem os *boxplot* referentes à baixa e alta demanda cognitiva, respectivamente. A ordem dos verbos nos gráficos está associada ao grau de complexidade, já citado anteriormente, assim, em relação ao gráfico da Figura 23, Aplicar é o mais complexo dentre os três e Lembrar o menos complexo. Desta forma, espera-se que os resultados dos estudantes respeitem essa complexidade, apresentando resultados melhores para a demanda cognitiva Lembrar, e assim por diante. Isso é confirmado e pode ser observado no gráfico. Já o gráfico referente à alta demanda cognitiva (ver Figura 24) ocorre o inverso, os estudantes apresentam resultados melhores para a demanda cognitiva Avaliar, que tem um grau de complexidade maior, quando comparada à demanda Analisar. Para essas duas demandas cognitivas, de acordo com os dados, 93% têm Conceitual como dimensão do conhecimento, sendo que para a demanda analisar um item apresenta a dimensão Factual e um item a dimensão Procedimental. Quando analisamos as subáreas da química presentes, para a demanda cognitiva Analisar, temos uma concentração de itens referentes a reações orgânicas, eletroquímica e compostos orgânicos.

Figura 23: *Boxplot* com as taxas de acerto para todas as dependências administrativas, para os itens de química classificados como de baixa demanda cognitiva, presentes nas edições de 2009 a 2019.



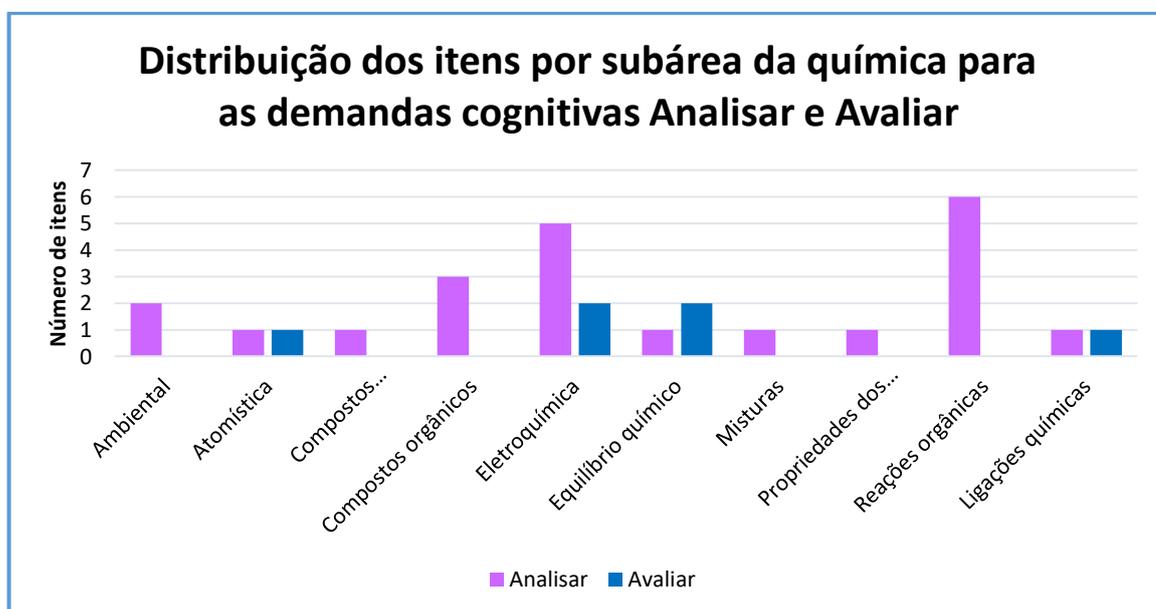
Fonte: Autoria própria

Figura 24: *Boxplot* com as taxas de acerto para todas as dependências administrativas, para os itens de química classificados como de alta demanda cognitiva, presentes nas edições de 2009 a 2019.



Fonte: Autoria própria

Figura 25: Distribuição dos itens para as demandas cognitivas Analisar e Avaliar de acordo com as subáreas da química.

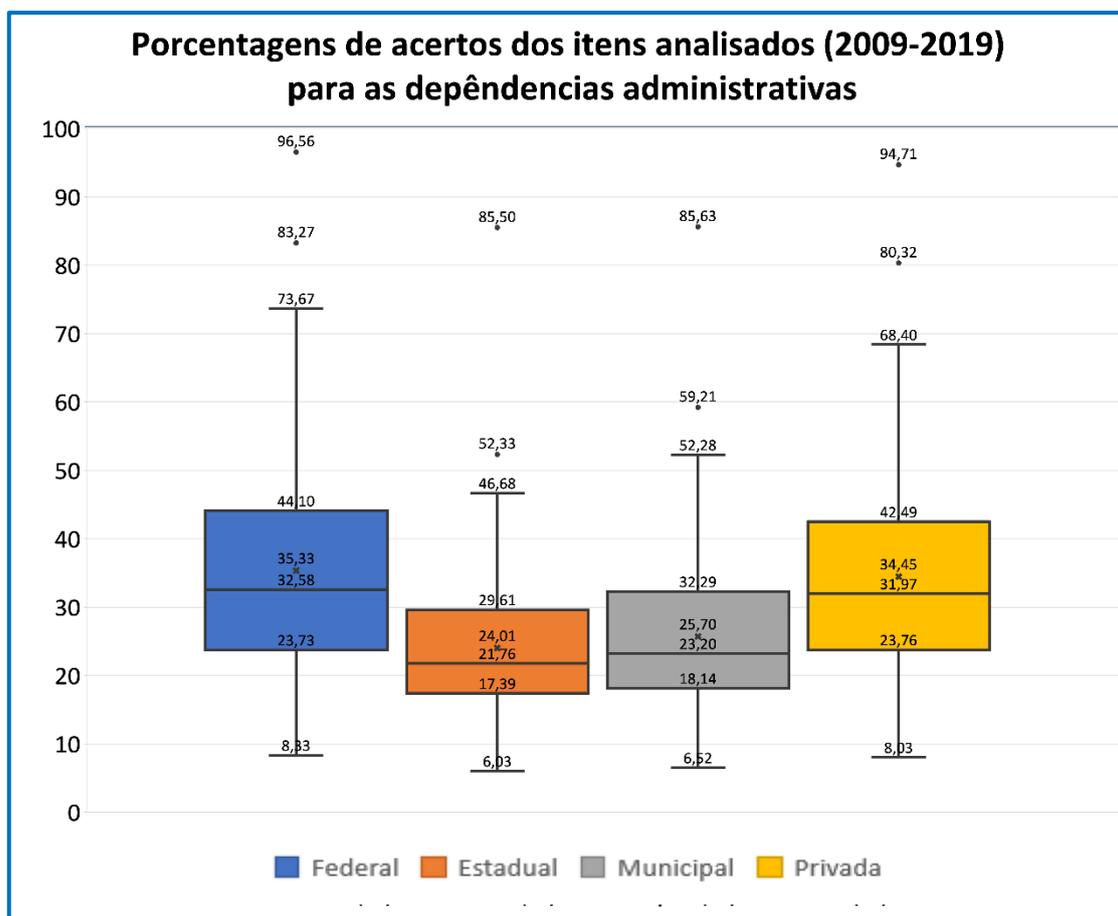


Fonte: Autoria própria

4.3. Análise dos dados de desempenho dos estudantes

Para todos os itens analisados, por meio dos Microdados do ENEM, foram calculadas as porcentagens de acerto dos estudantes, separadas por dependência administrativa. A Figura 26 apresenta o *boxplot* com os resultados obtidos para os itens analisados, de acordo com a dependência administrativa.

Figura 26: Boxplot com as taxas de acerto para as todas as dependências administrativas, para os itens de química presentes nas edições de 2009 a 2019 do ENEM.



Fonte: Autoria própria

O *boxplot* é uma ferramenta gráfica interessante quando as médias não descrevem corretamente o perfil dos dados gerais, por apresentarem valores de extremidades (inferiores e superiores) destoantes do restante dos dados, impedindo de se ter uma visão mais próxima das características reais que estes dados apresentam (CISZEVSKI, SOUSA, CINTRA, 2019). Para as quatro dependências administrativas foram obtidos os seguintes valores para as medianas: Federal: 32,58%; Estadual: 27,76%; Municipal: 23,20% e Privada: 31,97%. Pode-se observar a ocorrência de dois grupos com valores muito semelhantes: a porcentagem de acerto dos estudantes de escolas federais e privadas são muito próximas, assim como as porcentagens de acerto dos estudantes de escolas estaduais e municipais. O mesmo comportamento é observado para os valores de quartis inferior e superior para os dois grandes grupos. Esses valores indicam que metade dos respondentes de escolas federais e privadas acertam itens com uma taxa de acerto próxima a 33%. Por outro lado, metade dos respondentes de escolas estaduais e municipais acertam itens com taxa de acerto próximo a 23%.

Os quartis inferiores, que indicam a taxa de acerto para os primeiros 25% da amostragem, também seguem a mesma tendência que a mediana: possuem valores próximos a 24% para as escolas federais e privadas e em torno de 18% para os respondentes de escolas estaduais e municipais. Isso indica que estudantes provenientes de escolas federais e privadas tendem a acertar os itens com uma taxa de acerto 30% maior se comparado com os estudantes da rede Estadual e Municipal. Um comportamento muito semelhante é observado para os valores dos quartis superiores.

Ainda na Figura 26 podemos notar que, para todas as dependências administrativas, existem pontos que estão fora da região determinada pelos parâmetros do gráfico (acima do limite superior). Estes pontos são chamados de “*outliers*” e correspondem a porcentagem de acerto com características discrepantes dos demais resultados (CISZEVSKI, SOUSA, CINTRA, 2019). A seguir serão apresentados e discutidos os itens que correspondem aos outliers superiores e os itens com taxas de acerto correspondente aos limites inferiores.

Para os estudantes da rede Federal e Privada, dois itens foram identificados com porcentagens de acerto mais baixa dentre todos os itens analisados. Os itens 122 da edição de 2017 (17_122), com 8,33% e 8,03% respectivamente; e o item 120 da edição de 2019 (19_120) com as mesmas porcentagens de acerto para as duas dependências administrativas, Federal e Privada. O item 50 da edição de 2011 (50_11) apresentou a menor porcentagem de acerto pelos estudantes da rede Estadual e Municipal, com 6,03% e 6,52% respectivamente. Sendo que os dois itens citados anteriormente também estão entre os itens com menor porcentagem de acerto para estas dependências administrativas. Os itens 01 da edição de 2009 (09_01) e o item 85 da edição de 2011 (11_85) foram os que apresentaram, para todas as dependências administrativas, as maiores porcentagens de acerto. O item 11_75 apresenta porcentagem de acerto próxima as medianas para as dependências administrativas Federal e Privada, e o item 12_76 apresenta a porcentagem de acerto próxima às medianas referente a Estadual e Municipal.

No Quadro 9 é descrita a categorização completa do item 17_122 (ver Figura 27). Neste item, é apresentada uma equação orgânica, e para resolução do item o estudante precisa realizar um cálculo estequiométrico levando o rendimento da reação em consideração, por isso o item foi classificado como suporte habilidade. Há presença da linguagem simbólica da química, mas essa não interfere na resolução do item, já que a própria massa molar já é fornecida, e o estudante precisa realizar cálculos matemáticos para chegar ao resultado e, portanto, à alternativa correta.

Quadro 9: Categorização completa do item 122 da edição 2017 do ENEM.

| Ano/Item | Descrição | Nível representacional | Habilidade/Representacional |
|----------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| 17_122 | Equação orgânica | Simbólico | Habilidade |
| Intensidade | Relação imagem/texto | Dimensão do processo cognitivo | Dimensão do conhecimento |
| 3 | Complementa o conteúdo textual | Aplicar | Procedimental |
| Percentual de acerto | | | |
| Federal | Estadual | Municipal | Privada |
| 8,33% | 8,34% | 7,55% | 8,03% |
| Área da química | Cálculo estequiométrico | | |

Fonte: Autoria própria

Figura 27: Item 17_122.

QUESTÃO 122

O ácido acetilsalicílico, AAS (massa molar igual a 180 g/mol), é sintetizado a partir da reação do ácido salicílico (massa molar igual a 138 g/mol) com anidrido acético, usando-se ácido sulfúrico como catalisador, conforme a equação química:

Ácido salicílico
Anidrido acético
Ácido acetilsalicílico
Ácido acético

Após a síntese, o AAS é purificado e o rendimento final é de aproximadamente 50%. Devido às suas propriedades farmacológicas (antitérmico, analgésico, anti-inflamatório e antitrombótico), o AAS é utilizado como medicamento na forma de comprimidos, nos quais se emprega tipicamente uma massa de 500 mg dessa substância.

Uma indústria farmacêutica pretende fabricar um lote de 900 mil comprimidos, de acordo com as especificações do texto. Qual é a massa de ácido salicílico, em kg, que deve ser empregada para esse fim?

A 293
 B 345
 C 414
 D 690
 E 828

Fonte: Caderno de CN azul do ENEM aplicada em 2017.

O Quadro 10 apresenta a descrição da categorização realizada para o item 19_120 (ver Figura 28). Neste item são apresentadas três estruturas orgânicas nas quais o estudante precisa identificar a presença de ligações duplas intercaladas e lembrar que essa característica recebe o nome de cadeias conjugadas e são responsáveis pela cor apresentada pelos compostos. Sem a presença das estruturas o aluno não conseguiria reconhecer essa característica e solucionar a questão.

Quadro 10: Categorização completa do item 120 da edição 2019 do ENEM.

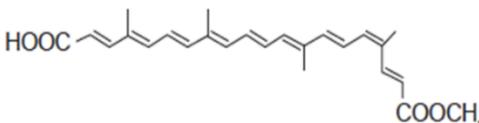
| Ano/Item | Descrição | Nível representacional | Habilidade/Representacional |
|-----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| 19_120 | Estrutura orgânica | Simbólico | Habilidade |
| Intensidade | Relação imagem/texto | Dimensão do processo cognitivo | Dimensão do conhecimento |
| 3 | Complementa o conteúdo textual | Lembrar | Conceitual |
| Percentual de acerto | | | |
| Federal | Estadual | Municipal | Privada |
| 8,33% | 8,34% | 7,55% | 8,03% |
| Área da química | Compostos orgânicos | | |

Fonte: Autoria própria

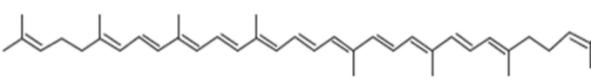
Figura 28: Item 19_120.

Questão 120

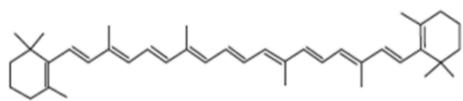
A utilização de corantes na indústria de alimentos é bastante difundida e a escolha por corantes naturais vem sendo mais explorada por diversas razões. A seguir são mostradas três estruturas de corantes naturais.



Bixina (presente no urucum)



Licopeno (presente no tomate)



β -caroteno (presente na cenoura e na laranja)

HAMERSKI, L.; REZENDE, M. J. C.; SILVA, B. V. Usando as cores da natureza para atender aos desejos do consumidor: substâncias naturais como corantes na indústria alimentícia. *Revista Virtual de Química*, n. 3, 2013.

A propriedade comum às estruturas que confere cor a esses compostos é a presença de

- A** cadeia conjugada.
- B** cadeia ramificada.
- C** átomos de carbonos terciários.
- D** ligações duplas de configuração cis.
- E** átomos de carbonos de hibridação sp^3 .

Fonte: Caderno de CN azul do ENEM aplicada em 2019.

O item 11_50 (ver Figura 29), descrito no Quadro 11 apresenta um quadro com informações do calor de combustão de 5 substâncias diferentes, no qual é apresentado o nome e fórmula química. Para resolução do item o estudante precisa elaborar a equação da reação de combustão para cada substância, balanceada, e então calcular a quantidade de dióxido de carbono produzida, considerando uma mesma quantidade de energia para todos os combustíveis do quadro. O conhecimento do nível simbólico tem papel fundamental na resolução do item, por isso é classificado como suporte Habilidade.

Quadro 11: Categorização completa do item 50 da edição 2011 do ENEM.

| Ano/Item | Descrição | Nível representacional | Habilidade/Representacional |
|----------------------|--------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| 11_50 | Fórmulas químicas/Símbolos em quadro | Simbólico | Habilidade |
| Intensidade | Relação imagem/texto | Dimensão do processo cognitivo | Dimensão do conhecimento |
| 3 | Complementa o conteúdo textual | Aplicar | Procedimental |
| Percentual de acerto | | | |
| Federal | Estadual | Municipal | Privada |
| 13,39% | 6,03% | 6,52% | 11,30% |
| Área da química | Termoquímica | | |

Fonte: Autoria própria

Figura 29: Item 11_50.

QUESTÃO 50

Um dos problemas dos combustíveis que contêm carbono é que sua queima produz dióxido de carbono. Portanto, uma característica importante, ao se escolher um combustível, é analisar seu calor de combustão (ΔH_c°), definido como a energia liberada na queima completa de um mol de combustível no estado padrão. O quadro seguinte relaciona algumas substâncias que contêm carbono e seu ΔH_c° .

| Substância | Fórmula | ΔH_c° (kJ/mol) |
|------------|--------------------|-----------------------------|
| benzeno | C_6H_6 (l) | -3 268 |
| etanol | C_2H_5OH (l) | -1 368 |
| glicose | $C_6H_{12}O_6$ (s) | -2 808 |
| metano | CH_4 (g) | -890 |
| octano | C_8H_{18} (l) | -5 471 |

ATKINS, P. *Princípios de Química*. Bookman, 2007 (adaptado).

Neste contexto, qual dos combustíveis, quando queimado completamente, libera mais dióxido de carbono no ambiente pela mesma quantidade de energia produzida?

A Benzeno.
 B Metano.
 C Glicose.
 D Octano.
 E Etanol.

Fonte: Caderno de CN azul do ENEM aplicada em 2011.

No Quadro 12 é apresentada a descrição para o item 09_01 (ver Figura 30) com maior porcentagem de acerto em todas as dependências administrativas, com percentual acima de 80%. Este item tem como contexto uma situação ambiental, familiar aos estudantes, e embora haja a presença de fórmulas moleculares, o seu conhecimento não tem papel determinante na resolução do item, por isso classificado como item com suporte representacional.

Quadro 12: Categorização completa do item 01 da edição 2009 do ENEM.

| Ano/Item | Descrição | Nível representacional | Habilidade/Representacional |
|----------------------|------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| 09_1 | Fórmulas químicas/Símbolos | Simbólico | Representacional |
| Intensidade | Relação imagem/texto | Dimensão do processo cognitivo | Dimensão do conhecimento |
| 1 | Duplica a informação textual | Entender | Factual |
| Percentual de acerto | | | |
| Federal | Estadual | Municipal | Privada |
| 96,56% | 85,50% | 85,63% | 94,71% |
| Área da química | Ambiental | | |

Fonte: Autoria própria

Figura 30: Item 09_1.

Questão 1

A atmosfera terrestre é composta pelos gases nitrogênio (N_2) e oxigênio (O_2), que somam cerca de 99%, e por gases traços, entre eles o gás carbônico (CO_2), vapor de água (H_2O), metano (CH_4), ozônio (O_3) e o óxido nitroso (N_2O), que compõem o restante 1% do ar que respiramos. Os gases traços, por serem constituídos por pelo menos três átomos, conseguem absorver o calor irradiado pela Terra, aquecendo o planeta. Esse fenômeno, que acontece há bilhões de anos, é chamado de efeito estufa. A partir da Revolução Industrial (século XIX), a concentração de gases traços na atmosfera, em particular o CO_2 , tem aumentado significativamente, o que resultou no aumento da temperatura em escala global. Mais recentemente, outro fator tornou-se diretamente envolvido no aumento da concentração de CO_2 na atmosfera: o desmatamento.

BROWN, I. F.; ALECHANDRE, A. S. Conceitos básicos sobre clima, carbono, florestas e comunidades. A.G. Moreira & S. Schwartzman. As mudanças climáticas globais e os ecossistemas brasileiros. Brasília: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, 2000 (adaptado).

Considerando o texto, uma alternativa viável para combater o efeito estufa é

- A reduzir o calor irradiado pela Terra mediante a substituição da produção primária pela industrialização refrigerada.
- B promover a queima da biomassa vegetal, responsável pelo aumento do efeito estufa devido à produção de CH_4 .
- C reduzir o desmatamento, mantendo-se, assim, o potencial da vegetação em absorver o CO_2 da atmosfera.
- D aumentar a concentração atmosférica de H_2O , molécula capaz de absorver grande quantidade de calor.
- E remover moléculas orgânicas polares da atmosfera, diminuindo a capacidade delas de reter calor.

Fonte: Caderno de CN azul do ENEM aplicada em 2009.

O item 11_75 (ver Figura 32), descrito no Quadro 14, apresenta uma equação química referente a uma reação de equilíbrio. Para resolução do item o estudante precisa entender que o consumo de refrigerante aumenta a concentração de íons H^+ , por conta da presença do ácido fosfórico e, para que se reestabeleça o equilíbrio químico desta reação, a reação se desloca para o sentido da direita, a fim de produzir mais OH^- . É um item pertencente ao nível simbólico, devido a presença da equação química, que complementa o conteúdo textual e a resolução está diretamente dependente de sua interpretação e de conhecimentos relacionados a acidez e basicidade das reações químicas. Pertence ao suporte habilidade, por motivos já descritos. Este item tem porcentagens de acerto para as dependências administrativas Federal e Privada bem próximas as das medianas dos dois casos.

Quadro 14: Categorização completa do item 75 da edição 2011 do ENEM.

| Ano/Item | Descrição | Nível representacional | Habilidade/Representacional |
|----------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| 11_75 | Equação química | Simbólico | Habilidade |
| Intensidade | Relação imagem/texto | Dimensão do processo cognitivo | Dimensão do conhecimento |
| 3 | Complementa o conteúdo textual | Entender | Conceitual |
| Percentual de acerto | | | |
| Federal | Estadual | Municipal | Privada |
| 32,61% | 22,02% | 25,48% | 31,93% |
| Área da química | Equilíbrio químico | | |

Fonte: Autoria própria

Figura 32: Item 11_75.

QUESTÃO 75

Os refrigerantes têm-se tornado cada vez mais o alvo de políticas públicas de saúde. Os de cola apresentam ácido fosfórico, substância prejudicial à fixação de cálcio, o mineral que é o principal componente da matriz dos dentes. A cárie é um processo dinâmico de desequilíbrio do processo de desmineralização dentária, perda de minerais em razão da acidez. Sabe-se que o principal componente do esmalte do dente é um sal denominado hidroxiapatita. O refrigerante, pela presença da sacarose, faz decrescer o pH do biofilme (placa bacteriana), provocando a desmineralização do esmalte dentário. Os mecanismos de defesa salivar levam de 20 a 30 minutos para normalizar o nível do pH, remineralizando o dente. A equação química seguinte representa esse processo:

$$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH (s)} \xrightleftharpoons[\text{mineralização}]{\text{desmineralização}} 5 \text{Ca}^{2+} \text{ (aq)} + 3 \text{PO}_4^{3-} \text{ (aq)} + \text{OH}^- \text{ (aq)}$$

Hidroxiapatita

GROISMAN, S. Impacto do refrigerante nos dentes é avaliado sem tirá-lo da dieta. Disponível em: <http://www.saude.net>. Acesso em: 1 maio 2010 (adaptado).

Considerando que uma pessoa consuma refrigerantes diariamente, poderá ocorrer um processo de desmineralização dentária, devido ao aumento da concentração de

- A OH^- , que reage com os íons Ca^{2+} , deslocando o equilíbrio para a direita.
- B H^+ , que reage com as hidroxilas OH^- , deslocando o equilíbrio para a direita.
- C OH^- , que reage com os íons Ca^{2+} , deslocando o equilíbrio para a esquerda.
- D H^+ , que reage com as hidroxilas OH^- , deslocando o equilíbrio para a esquerda.
- E Ca^{2+} , que reage com as hidroxilas OH^- , deslocando o equilíbrio para a esquerda.

Fonte: Caderno de CN azul do ENEM aplicada em 2011.

O Quadro 15 tem a descrição completa para o item 12_76 (ver Figura 33). Este item tem porcentagem de acerto próxima aos valores das medianas para as dependências administrativas

Estadual e Municipal. Foi classificado como pertencente ao suporte habilidade, pois tem a presença de uma fórmula química e é por meio desta fórmula que o estudante vai entender que se trata de um processo que libera uma substância de caráter ácido, e para sua neutralização se faz necessário usar algo com caráter básico, no caso das alternativas, a água de cal que em solução aquosa forma $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Quadro 15: Categorização completa do item 76 da edição 2012 do ENEM

| Ano/Item | Descrição | Nível representacional | Habilidade/Representacional |
|----------------------|------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| 12_76 | Fórmulas químicas/Símbolos | Simbólico | Habilidade |
| Intensidade | Relação imagem/texto | Dimensão do processo cognitivo | Dimensão do conhecimento |
| 2 | Duplica a informação textual | Entender | Factual |
| Percentual de acerto | | | |
| Federal | Estadual | Municipal | Privada |
| 39,36% | 21,12% | 23,68% | 36,03% |
| Área da química | Reações inorgânicas | | |

Fonte: Autoria própria

Figura 33: Item 12_76.

QUESTÃO 76 

Os tubos de PVC, material organoclorado sintético, são normalmente utilizados como encanamento na construção civil. Ao final da sua vida útil, uma das formas de descarte desses tubos pode ser a incineração. Nesse processo libera-se HCl (g), cloreto de hidrogênio, dentre outras substâncias. Assim, é necessário um tratamento para evitar o problema da emissão desse poluente.

Entre as alternativas possíveis para o tratamento, é apropriado canalizar e borbulhar os gases provenientes da incineração em

- A água dura.
- B água de cal.
- C água salobra.
- D água destilada.
- E água desmineralizada.

Fonte: Caderno de CN azul do ENEM aplicada em 2012.

Esses resultados demonstram a dificuldade que os estudantes têm para solucionar itens que usam da representação e do nível simbólico. Segundo Treagust et al. (2003, p. 1353) “Os alunos nem sempre compreendem o papel da representação que é assumido pelo professor”. Essa frase retoma uma ideia discutida na introdução de que é muito difícil prever a interpretação que uma pessoa irá fazer de uma dada ilustração, e essa ambiguidade no uso das representações como instrumento de ensino, traz esse problema inevitável como consequência. Outra dificuldade está, no que foi denominado por Johnstone (1991, p. 82) “pensamento multinível”, ou seja, nas disciplinas de ciências, os alunos são comumente apresentados a explicações que envolvem pensar sobre tipos muito diferentes de coisas ao mesmo tempo, que seria transitar facilmente entre as três dimensões principais da química, macroscópico, submicroscópico e simbólico. Por meio de uma compreensão muito ampla e aprofundada da química é que se torna possível desenvolver esse pensamento multinível (TABER, 2013). Outro ponto interessante, é que os itens que se comportaram como *outliers* podem ser um indicativo de características das categorizações realizadas para eles, que se forem identificadas em outros itens, contribuem no estabelecimento de relações entre as categorias e na identificação de padrões, no comportamento dos dados em relação às representações e porcentagens de acerto, que estamos buscando.

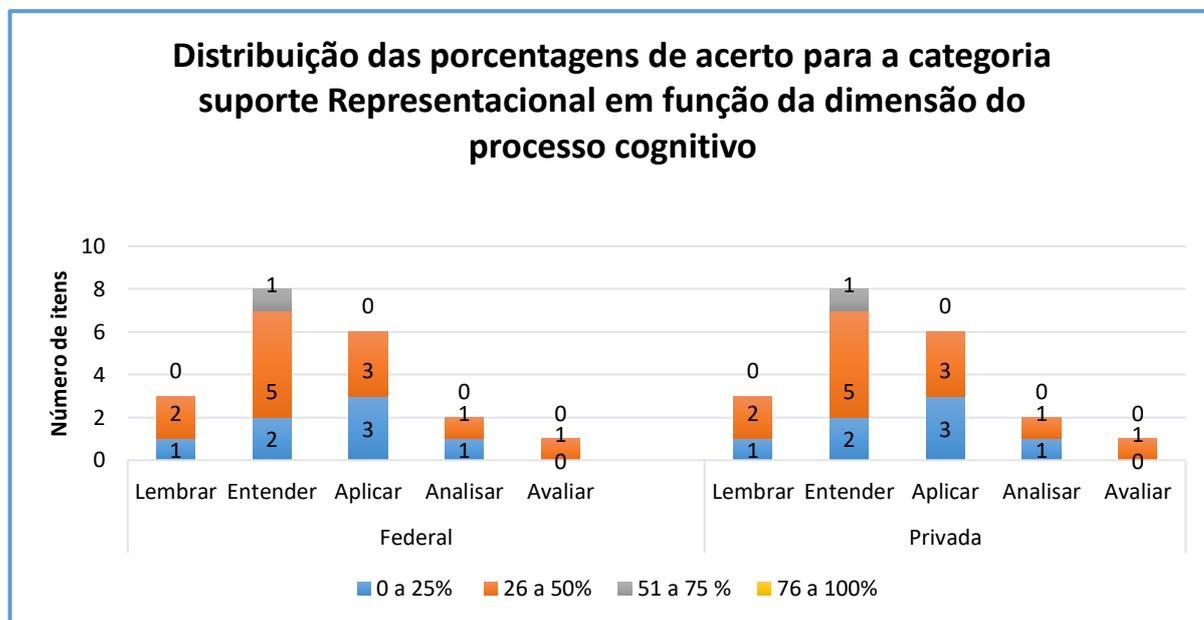
4.4. Análise relacional entre as categorizações

Dentre os objetivos da pesquisa temos o reconhecimento de padrões e relações entre as categorias utilizadas no desenvolvimento deste trabalho. Os resultados obtidos até o momento demonstraram que não conseguiríamos chegar nas respostas que estamos buscando utilizando todos os dados obtidos, e, também uma dificuldade de relacionar esses dados devido a disparidade entre os resultados dos estudantes da rede Municipal e Estadual comparativamente com os oriundos da rede Federal e Privada. Assim, optamos em selecionar as dependências administrativas Federal e Privada, por apresentar resultados próximos e menos influenciados por questões socioeconômicas e verificar as relações entre as categorias a fim de identificar se existe alguma relação entre elas, já que como um todo, isso não foi possível.

Ao relacionar a categoria Suporte Representacional com a dimensão do processo cognitivo da Taxonomia de Bloom Revisada para as dependências administrativas Federal e Privada, foi possível identificar algumas características nos dados analisados, que somaram um total de 20 itens. Há uma concentração dos itens na dimensão Entender e Analisar. Se olharmos para a tabela abaixo do gráfico da Figura 3, podemos identificar 4 itens que tiveram porcentagens de acerto abaixo de 20%, são eles: 10_83, 13_46, 17_113 e 18_130 (somente para rede Federal).

A maior parte dos itens, correspondendo a 60%, estão na faixa de acerto de 26 a 50%. Somente 1 item obteve porcentagem de acerto acima de 50% (item 09_02).

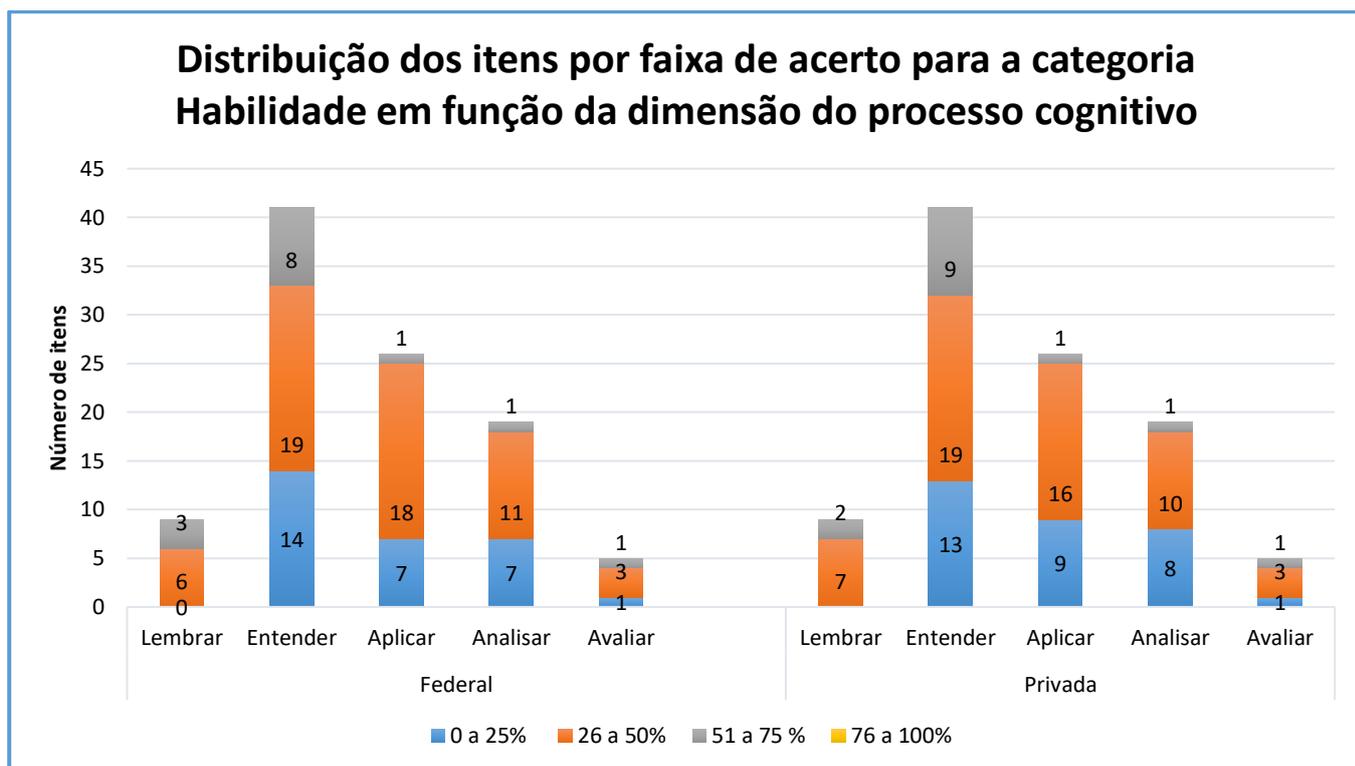
Figura 34: Relação entre a dimensão do processo cognitivo e a categoria suporte representacional.



Fonte: Autoria própria

Ao relacionar a categoria Suporte Habilidade com a dimensão do processo cognitivo da Taxonomia de Bloom para as dependências administrativas Federal e Privada (ver Figura 34) podemos observar uma concentração dos itens na dimensão do processo cognitivo Entender, Aplicar e Analisar. No total foram 100 itens com essas características. O número de itens na região de 0 a 20% é semelhante, proporcionalmente, ao ocorrido para a categoria Suporte Representacional. A maior parte dos itens estão concentrados na faixa de acerto de 26 a 50%, correspondendo a 57% dos itens. Outro ponto interessante é que para esta relação de categorias houve mais itens nas regiões de alta demanda cognitiva, porém proporcionalmente ao número de itens, os resultados foram semelhantes para a relação com a categoria Suporte Representacional.

Figura 35: Relação entre a dimensão do processo cognitivo e a categoria suporte habilidade.



Fonte: Autoria própria

Ao relacionar a Taxonomia de Bloom Revisada com as categorias de Johnstone, obteve-se os resultados presentes no Quadro 16. O quadro mostra a distribuição dos itens por faixa de acerto para todos os níveis representacionais (ver Quadro 2) e para cada um a relação com as dimensões do processo cognitivo em termos de quantidade de itens com essas características. Podemos destacar a categoria Macrosubmicroscópico e Submicrosimbólico, em que os itens ficaram na região do 0 a 25%, apresentando os piores resultados em relação as demais. Para o nível Simbólico, mesmo os itens com baixa demanda cognitiva, ficaram concentrados em regiões de até 50% de acerto. Os itens nas categorias Macroscópicas e correlações apresentaram resultados melhores que àquelas relacionadas com o nível Submicroscópico, mesmo quando este último estava associado a baixas demandas cognitivas. A maior parte dos conceitos químicos são de natureza abstrata, assim, a aprendizagem de química requer o desenvolvimento do raciocínio abstrato e da capacidade de imaginar e modelar esses conceitos para incorporá-los mentalmente, o que gera dificuldades em sua aprendizagem (SOUZA, LEITE, LEITE, 2015). Além disso, o estudante precisa ser capaz de transitar entre as três dimensões do conhecimento químico, principalmente quando consideramos que os itens do ENEM trazem situações-problema que normalmente partem do macroscópico. A superação dessas



dificuldades características associadas ao processo de ensino-aprendizagem de química mais uma vez é reforçada pelos resultados das análises dos dados, como requisito necessário para que o estudante consiga corresponder adequadamente a demanda exigida nas provas.

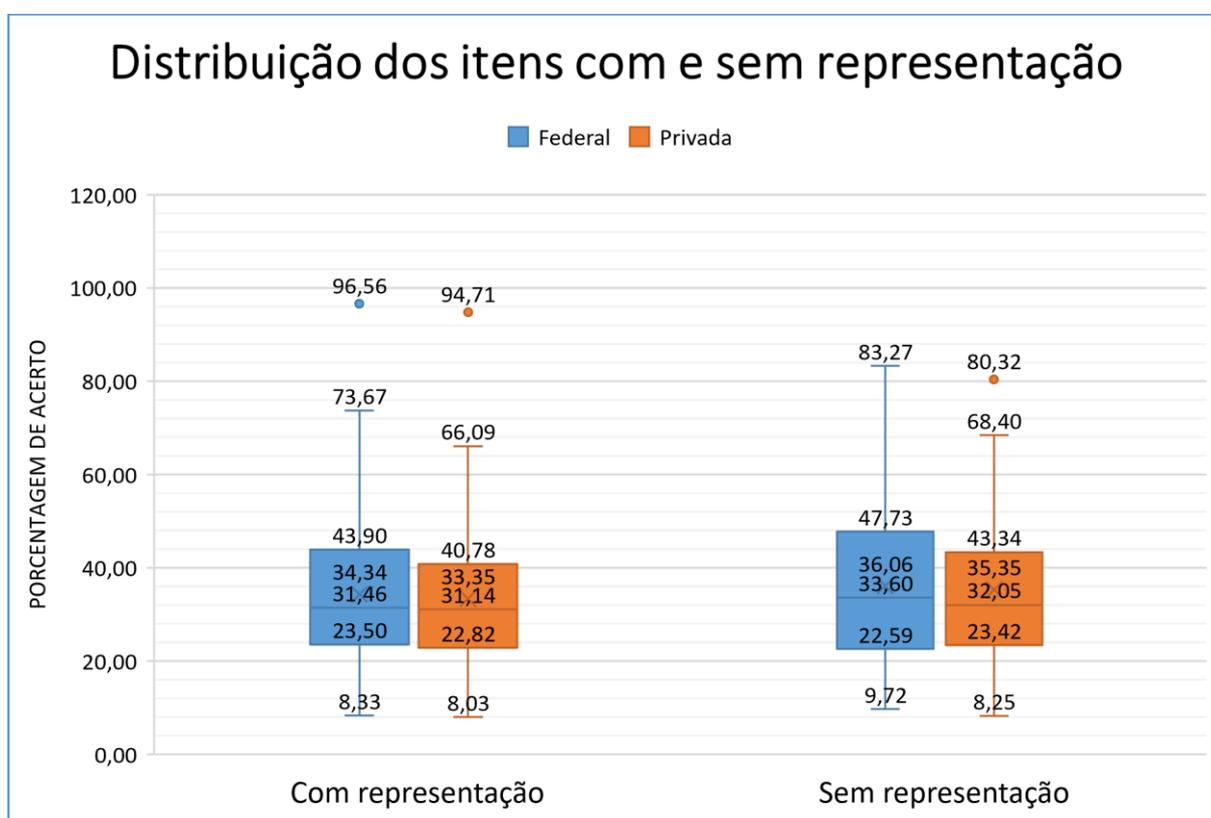
Quadro 16: Relação entre a categoria de Johnstone e a Taxonomia de Bloom Revisada.

| | | Federal | | | | | Total | Privada | | | | | Total |
|------------------------|-----------|---------|----------|---------|----------|---------|-------|---------|----------|---------|----------|---------|-------|
| | | Lembrar | Entender | Aplicar | Analisar | Avaliar | | Lembrar | Entender | Aplicar | Analisar | Avaliar | |
| Macroscópico | 0 a 25% | | | 1 | | | 1 | | | 1 | | | 1 |
| | 26 a 50% | 1 | 1 | | 1 | | 3 | 1 | 1 | | 1 | | 3 |
| | 51 a 75 % | | | | | | | | | | | | 0 |
| | 76 a 100% | | | | | | | | | | | | 0 |
| Macrosimbólico | 0 a 25% | | 2 | | | 1 | 3 | | | | 1 | 1 | 2 |
| | 26 a 50% | 1 | | | 2 | | 3 | 1 | 1 | | 2 | | 4 |
| | 51 a 75 % | | 1 | | 1 | | 2 | | 2 | | | | 2 |
| | 76 a 100% | | | | | | | | | | | | 0 |
| Macrosubmicroscópico | 0 a 25% | | 1 | | | | 1 | | 1 | | | | 1 |
| | 26 a 50% | | | | | | | | | | | | 0 |
| | 51 a 75 % | | | | | | | | | | | | 0 |
| | 76 a 100% | | | | | | | | | | | | 0 |
| Macrosubmicrosimbólico | 0 a 25% | | 1 | | 1 | | 2 | | 1 | | 1 | | 2 |
| | 26 a 50% | | 1 | | | | 1 | | 1 | | | | 1 |
| | 51 a 75 % | | | | | | | | | | | | 0 |
| | 76 a 100% | | | | | | | | | | | | 0 |
| Submicroscópico | 0 a 25% | 1 | | | | | 1 | 1 | | | | | 1 |
| | 26 a 50% | | 3 | | | | 3 | | 3 | | | | 3 |
| | 51 a 75 % | | | | | | | | | | | | 0 |
| | 76 a 100% | | | | | | | | | | | | 0 |
| Submicrosimbólico | 0 a 25% | | | | 1 | | 1 | | | | 1 | | 1 |
| | 26 a 50% | | | | | | | | | | | | 0 |
| | 51 a 75 % | | | | | | | | | | | | 0 |
| | 76 a 100% | | | | | | | | | | | | 0 |
| Simbólico | 0 a 25% | | 14 | 9 | 5 | | 28 | | 13 | 11 | 6 | | 30 |
| | 26 a 50% | 6 | 18 | 21 | 9 | 4 | 58 | 7 | 19 | 19 | 8 | 4 | 57 |
| | 51 a 75 % | 3 | 8 | 1 | 1 | 1 | 14 | 2 | 8 | 1 | 1 | 1 | 13 |
| | 76 a 100% | | 1 | | | | 1 | | 1 | | | | 1 |

Fonte: Autoria própria

A Figura 35 compara os resultados dos estudantes da rede Federal e Privada, para itens com e sem a presença de representação. A rede Federal apresentou mediana igual a 31,46% para itens com representação e 33,60% para itens sem representação. Quando olhamos para o valor referente ao quartil superior, temos o valor de 43,90% para a posição 75% com representação e 47,73% para itens sem representação. Os estudantes da rede Privada apresentaram valores semelhantes, sendo 31,14% de mediana para itens com representação e 32,05% para itens sem representação. Já o quartil superior foi igual a 40,78% para itens com representação e 43,34% para itens sem representação. Esses dados mostram que os resultados gerais, não apresentam muitas diferenças com relação a presença ou não de representação, demonstrando que a presença de representação no item não traz mudanças significativas, para mais ou para menos, nos resultados dos estudantes.

Figura 35: Boxplot com as taxas de acerto para as dependências administrativas Federal e Privada, comparando itens com e sem a presença de representações visuais.



Fonte: Autoria própria

No sentido de fazer uma análise mais profunda na busca de entender a influência das representações nos resultados, buscamos itens que avaliaram o mesmo objeto do conhecimento, que apresentam características semelhantes quanto ao tipo de conhecimento necessário para a resolução do item, com a mesma dimensão do conhecimento segundo a taxonomia de Bloom

revisada, com e sem a presença de representação.

Com relação a subárea compostos orgânicos e como objeto do conhecimento propriedades de compostos orgânicos (polaridade), foram encontrados dois itens com características semelhantes. Tanto o item 12_70 (ver Quadro 17 e Figura 36) quanto o item 16_85 (ver Quadro 18 e Figura 37) têm a mesma classificação quanto a dimensão do processo cognitivo e quanto a dimensão do conhecimento. Diferem na classificação Habilidade/Representacional, já que o primeiro não tem representação e o segundo sim. Na resolução do item 12_70 os estudantes precisam entender o que significa a nomenclatura do composto para relacionar com a fórmula estrutural, que irá apresentar uma parte polar e uma parte apolar. Os hidrocarbonetos são compostos apolares e irão interagir com a região apolar do para-dodecil-benzenossulfonato, e a região polar irá interagir com a água, possibilitando assim a solubilização do hidrocarboneto em questão. Na resolução do item 16_85, também se tem um tensoativo como questão central, e os estudantes precisa entender que a região polar desta substância irá interagir com a água e a região apolar não irá fazer nenhuma interação. Ambas apresentam a mesma situação-problema, sendo que a segunda questão tem a presença de representações demonstrando toda a situação.

Quadro 17: Categorização completa do item 70 da edição 2012 do ENEM.

| Ano/Item | Descrição | Nível representacional | Habilidade/Representacional |
|---------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| 12_70 | Não apresenta representação | | Linguagem natural |
| Dimensão do processo cognitivo | | Dimensão do conhecimento | |
| Entender | | Conceitual | |
| Percentual de acerto | | | |
| Federal | | Privada | |
| 42,46% | | 38,62% | |
| Área da química | Compostos orgânicos | | |

Fonte: Autoria própria

Figura 36: Item 12_70.

QUESTÃO 70

Em uma planície, ocorreu um acidente ambiental em decorrência do derramamento de grande quantidade de um hidrocarboneto que se apresenta na forma pastosa à temperatura ambiente. Um químico ambiental utilizou uma quantidade apropriada de uma solução de para-dodecil-benzenossulfonato de sódio, um agente tensoativo sintético, para diminuir os impactos desse acidente.

Essa intervenção produz resultados positivos para o ambiente porque

- A promove uma reação de substituição no hidrocarboneto, tornando-o menos letal ao ambiente.
- B a hidrólise do para-dodecil-benzenossulfonato de sódio produz energia térmica suficiente para vaporizar o hidrocarboneto.
- C a mistura desses reagentes provoca a combustão do hidrocarboneto, o que diminui a quantidade dessa substância na natureza.
- D a solução de para-dodecil-benzenossulfonato possibilita a solubilização do hidrocarboneto.
- E o reagente adicionado provoca uma solidificação do hidrocarboneto, o que facilita sua retirada do ambiente.

Fonte: Caderno de CN azul do ENEM aplicada em 2012.

Quadro 18: Categorização completa do item 85 da edição 2016 do ENEM.

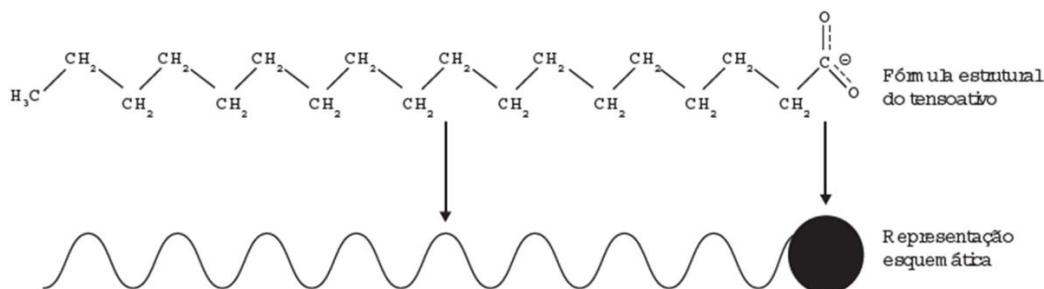
| Ano/Item | Descrição | Nível representacional | Habilidade/Representacional |
|---------------------------------------|---------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| 16_85 | Estrutura orgânica | Macrosubmicrosimbólico | Habilidade |
| Dimensão do processo cognitivo | | Dimensão do conhecimento | |
| Entender | | Conceitual | |
| Percentual de acerto | | | |
| Federal | | Privada | |
| 22,24% | | 18,75% | |
| Área da química | Compostos orgânicos | | |

Fonte: Autoria própria

Figura 37: Item 16_85.

QUESTÃO 85

Os tensoativos são compostos capazes de interagir com substâncias polares e apolares. A parte iônica dos tensoativos interage com substâncias polares, e a parte lipofílica interage com as apolares. A estrutura orgânica de um tensoativo pode ser representada por:



Ao adicionar um tensoativo sobre a água, suas moléculas formam um arranjo ordenado.

Esse arranjo é representado esquematicamente por:



Fonte: Caderno de CN azul do ENEM aplicada em 2012.

Esses itens apresentam uma porcentagem de acerto consideravelmente diferentes, com porcentagem de acerto quase 50% superior no caso do item sem representação.

Os itens 11_83 (ver Quadro 19 e Figura 38: Item 11_83.Figura 38) e 19_99 (ver Quadro 20 e Figura 39) são da subárea Ambiental e têm como objeto do conhecimento ciclo biogeoquímico. São classificados como entender e factual para a dimensão do processo cognitivo e dimensão do conhecimento, respectivamente. Para resolução do item 11_83, o estudante precisa entender que o nitrogênio em sua forma ativa estará como íon nitrato e amônio, compostos tóxicos e solúveis em água. Esses nutrientes utilizados para o crescimento da cana-de-açúcar podem contaminar rios e lagos ao serem levados pelos lençóis freáticos. O item 19_99 apresenta uma situação relacionada aos resíduos gerados na agricultura de café, citando as substâncias que compõe esse resíduo, que ao serem utilizados como fertilizante possibilitam a reciclagem e devolução do carbono e do nitrogênio inorgânico ao solo. Ambas trazem um questão Ambiental, porém a primeira traz as informações quanto as substâncias envolvidas na forma de fórmula química, já a segunda apresenta o nome dos compostos.

Quadro 19: Categorização completa do item 83 da edição 2011 do ENEM.

| Ano/Item | Descrição | Nível representacional | Habilidade/Representacional |
|---------------------------------------|---------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| 11_83 | Fórmulas químicas/Símbolo | Simbólico | Habilidade |
| Dimensão do processo cognitivo | | Dimensão do conhecimento | |
| Entender | | Factual | |
| Percentual de acerto | | | |
| Federal | | Privada | |
| 20,71% | | 19,89% | |
| Área da química | Ambiental | | |

Fonte: Autoria própria

Figura 38: Item 11_83.

QUESTÃO 83 

O etanol é considerado um biocombustível promissor, pois, sob o ponto de vista do balanço de carbono, possui uma taxa de emissão praticamente igual a zero. Entretanto, esse não é o único ciclo biogeoquímico associado à produção de etanol. O plantio da cana-de-açúcar, matéria-prima para a produção de etanol, envolve a adição de macronutrientes como enxofre, nitrogênio, fósforo e potássio, principais elementos envolvidos no crescimento de um vegetal.

Revista Química Nova na Escola, nº 28, 2008.

O nitrogênio incorporado ao solo, como consequência da atividade descrita anteriormente, é transformado em nitrogênio ativo e afetará o meio ambiente, causando

- A o acúmulo de sais insolúveis, desencadeando um processo de salinificação do solo.
- B a eliminação de microrganismos existentes no solo responsáveis pelo processo de desnitrificação.
- C a contaminação de rios e lagos devido à alta solubilidade de íons como NO_3^- e NH_4^+ em água.
- D a diminuição do pH do solo pela presença de NH_3 , que reage com a água, formando o NH_4OH (aq).
- E a diminuição da oxigenação do solo, uma vez que o nitrogênio ativo forma espécies químicas do tipo NO_2 , NO_3^- , N_2O .

Fonte: Caderno de CN azul do ENEM aplicada em 2011.

Quadro 20: Categorização completa do item 99 da edição 2019 do ENEM.

| Ano/Item | Descrição | Nível representacional | Habilidade/Representacional |
|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| 19_99 | Não apresenta representação | | Linguagem natural |
| Dimensão do processo cognitivo | | Dimensão do conhecimento | |
| Entender | | Factual | |
| Percentual de acerto | | | |
| Federal | | Privada | |
| 40,76% | | 40,24% | |
| Área da química | Ambiental | | |

Fonte: Autoria própria

Figura 39: Item 19_99.

Questão 99

A cada safra, a quantidade de café beneficiado é igual à quantidade de resíduos gerados pelo seu beneficiamento. O resíduo pode ser utilizado como fertilizante, pois contém cerca de 6,5% de pectina (um polissacarídeo), aproximadamente 25% de açúcares fermentáveis (frutose, sacarose e galactose), bem como resíduos de alcaloides (compostos aminados) que não foram extraídos no processo.

LIMA, L. K. S. et al. Utilização de resíduo oriundo da torrefação do café na agricultura em substituição à adubação convencional. *ACSA — Agropecuária Científica no Semi-Árido*, v. 10, n. 1, jan.-mar., 2014 (adaptado).

Esse resíduo contribui para a fertilidade do solo, pois

- A** possibilita a reciclagem de carbono e nitrogênio.
- B** promove o deslocamento do alumínio, que é tóxico.
- C** melhora a compactação do solo por causa da presença de pectina.
- D** eleva o pH do solo em função da degradação dos componentes do resíduo.
- E** apresenta efeitos inibidores de crescimento para a maioria das espécies vegetais pela cafeína.

Fonte: Caderno de CN azul do ENEM aplicada em 2019.

Com relação a porcentagem de acerto, assim como na análise anterior, as porcentagens de

acerto mostram uma diferença superior de aproximadamente 50% para o item sem a presença de representação.

Os itens 10_80 (ver Quadro 21 e Figura 40) e 18_132 (ver Quadro 22 e Figura 41) pertencem a subárea Compostos orgânicos e têm como objeto do conhecimento Nomenclatura de compostos orgânicos. Ambos são classificados como Entender, quanto a dimensão do processo cognitivo, e como Factual e Conceitual, respectivamente, em relação a dimensão do conhecimento. Para resolução do item 11_80, o estudante precisa entender a nomenclatura orgânica para identificar nas alternativas a substância que apresenta o grupo etoxi e a dupla ligação do fósforo com o enxofre, além de conhecer os símbolos dos elementos citados.

Quadro 21: Categorização completa do item 80 da edição 2010 do ENEM.

| Ano/Item | Descrição | Nível representacional | Habilidade/Representacional |
|---------------------------------------|---------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| 10_80 | Estrutura orgânica | Simbólico | Habilidade |
| Dimensão do processo cognitivo | | Dimensão do conhecimento | |
| Entender | | Factual | |
| Percentual de acerto | | | |
| Federal | | Privada | |
| 46,28% | | 42,38% | |
| Área da química | Compostos orgânicos | | |

Fonte: Autoria própria

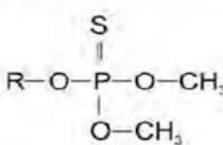
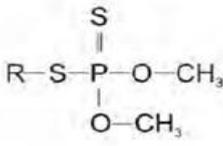
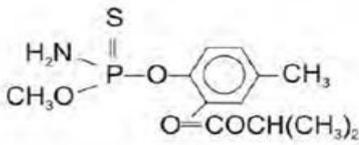
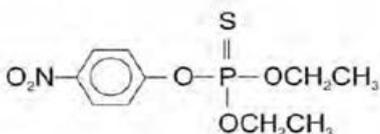
Figura 40: Item 10_80.

Questão 80

Os pesticidas modernos são divididos em várias classes, entre as quais se destacam os organofosforados, materiais que apresentam efeito tóxico agudo para os seres humanos. Esses pesticidas contêm um átomo central de fósforo ao qual estão ligados outros átomos ou grupo de átomos como oxigênio, enxofre, grupos metoxi ou etoxi, ou um radical orgânico de cadeia longa. Os organofosforados são divididos em três subclasses: **Tipo A**, na qual o enxofre não se incorpora na molécula; **Tipo B**, na qual o oxigênio, que faz dupla ligação com fósforo, é substituído pelo enxofre; e **Tipo C**, no qual dois oxigênios são substituídos por enxofre.

BAIRD, C. *Química Ambiental*. Bookman, 2005.

Um exemplo de pesticida organofosforado **Tipo B**, que apresenta grupo etoxi em sua fórmula estrutural, está representado em:

- Ⓐ 
- Ⓑ 
- Ⓒ 
- Ⓓ 

Fonte: Caderno de CN azul do ENEM aplicada em 2010.

Para resolução do item 18_132, o estudante, assim como no item anterior, precisa entender sobre a nomenclatura de compostos orgânicos, já que no enunciado da questão, é dado os nomes dos compostos que diferenciam a abelha-rainha de uma operária, e a partir do entendimento da nomenclatura é possível identificar que tipo de característica difere uma da outra, para assim chegar na alternativa correta.

Nesta comparação, a diferença de porcentagem de acerto entre os itens é menos discrepante, não apresentando uma diferença significativa quanto a presença ou não de representação.

Quadro 22: Categorização completa do item 132 da edição 2018 do ENEM.

| Ano/Item | Descrição | Nível representacional | Habilidade/Representacional |
|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| 18_132 | Não apresenta representação | | Linguagem natural |
| Dimensão do processo cognitivo | | Dimensão do conhecimento | |
| Entender | | Conceitual | |
| Percentual de acerto | | | |
| Federal | | Privada | |
| 44,55% | | 49,47% | |
| Área da química | Compostos orgânicos | | |

Fonte: Autoria própria

Figura 41: Item 18_132.

QUESTÃO 132

As abelhas utilizam a sinalização química para distinguir a abelha-rainha de uma operária, sendo capazes de reconhecer diferenças entre moléculas. A rainha produz o sinalizador químico conhecido como ácido 9-hidroxidec-2-enoico, enquanto as abelhas-operárias produzem ácido 10-hidroxidec-2-enoico. Nós podemos distinguir as abelhas-operárias e rainhas por sua aparência, mas, entre si, elas usam essa sinalização química para perceber a diferença. Pode-se dizer que veem por meio da química.

LE COUTEUR, P.; BURRESON, J. *Os botões de Napoleão: as 17 moléculas que mudaram a história*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2006 (adaptado).

As moléculas dos sinalizadores químicos produzidas pelas abelhas rainha e operária possuem diferença na

- A fórmula estrutural.
- B fórmula molecular.
- C identificação dos tipos de ligação.
- D contagem do número de carbonos.
- E identificação dos grupos funcionais.

Fonte: Caderno de CN azul do ENEM aplicada em 2018.

Os itens 16_60 (Quadro 23 e Figura 42) e 17_102 (Quadro 24 e Figura 43) pertencem a subárea Ligações químicas e têm como objeto do conhecimento as forças intermoleculares. São classificados como Entender Conceitual segundo a Taxonomia de Bloom Revisada. Para resolução do item 16_60, além de entender sobre as interações intermoleculares, o estudante precisa conhecer as estruturas do carvão e do benzeno, para assim chegar à conclusão de que

são compostos apolares, realizando assim, interações do tipo dipolo induzido. O item 17_102 também traz como situação-problema a identificação do tipo de interação intermolecular duas substâncias irão realizar, mas neste caso, temos a água, uma molécula polar, que interage com o sal de amônio, um composto iônico, assim, neste caso, a interação que irá ocorrer é do tipo íon-dipolo. Esta última apresenta uma equação química genérica que demonstra a reação de formação do sal de amônio, como representação.

Quadro 23: Categorização completa do item 60 da edição 2016 do ENEM.

| Ano/Item | Descrição | Nível representacional | Habilidade/Representacional |
|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| 16_60 | Não apresenta representação | | Linguagem natural |
| Dimensão do processo cognitivo | | Dimensão do conhecimento | |
| Entender | | Conceitual | |
| Percentual de acerto | | | |
| Federal | | Privada | |
| 21,76% | | 20,18% | |
| Área da química | Ligações químicas | | |

Fonte: Autoria própria

Figura 42: Item 16_60.

QUESTÃO 60



O carvão ativado é um material que possui elevado teor de carbono, sendo muito utilizado para a remoção de compostos orgânicos voláteis do meio, como o benzeno. Para a remoção desses compostos, utiliza-se a adsorção. Esse fenômeno ocorre por meio de interações do tipo intermoleculares entre a superfície do carvão (adsorvente) e o benzeno (adsorvato, substância adsorvida).

No caso apresentado, entre o adsorvente e a substância adsorvida ocorre a formação de:

- A) Ligações dissulfeto.
- B) Ligações covalentes.
- C) Ligações de hidrogênio.
- D) Interações dipolo induzido – dipolo induzido.
- E) Interações dipolo permanente – dipolo permanente.

Fonte: Caderno de CN azul do ENEM aplicada em 2016.

Quadro 24: Categorização completa do item 102 da edição 2017 do ENEM.

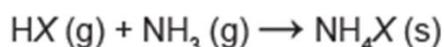
| Ano/Item | Descrição | Nível representacional | Habilidade/Representacional |
|---------------------------------------|-------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| 17_102 | Equação química | Simbólico | Habilidade |
| Dimensão do processo cognitivo | | Dimensão do conhecimento | |
| Entender | | Conceitual | |
| Percentual de acerto | | | |
| Federal | | Privada | |
| 43,98% | | 51,22% | |
| Área da química | Ligações químicas | | |

Fonte: Autoria própria

Figura 43: Item 17_102.

QUESTÃO 102

Partículas microscópicas existentes na atmosfera funcionam como núcleos de condensação de vapor de água que, sob condições adequadas de temperatura e pressão, propiciam a formação das nuvens e conseqüentemente das chuvas. No ar atmosférico, tais partículas são formadas pela reação de ácidos (HX) com a base NH_3 , de forma natural ou antropogênica, dando origem a sais de amônio (NH_4X), de acordo com a equação química genérica:



FELIX, E. P.; CARDOSO, A. A. Fatores ambientais que afetam a precipitação úmida. *Química Nova na Escola*, n. 21, maio 2005 (adaptado).

A fixação de moléculas de vapor de água pelos núcleos de condensação ocorre por

- A) ligações iônicas.
- B) interações dipolo-dipolo.
- C) interações dipolo-dipolo induzido.
- D) interações íon-dipolo.
- E) ligações covalentes.

Fonte: Caderno de CN azul do ENEM aplicada em 2017.

Com relação as porcentagens de acerto, o item com a presença de representação obteve porcentagem de acerto aproximadamente 50% superior em relação ao item sem a presença de representação, situação inversa do que ocorreu nas primeiras duas comparações entre itens com

características semelhantes. No caso deste último, a representação foi classificada como Suporte Representacional, diferente dos anteriores com representação, em que todos tinham Suporte Habilidade em sua classificação.

Os itens 16_72 (ver Quadro 25 e Figura 44) e 15_51 (ver Quadro 26 e Figura 45) referem-se a subárea Misturas e têm como objeto do conhecimento Métodos de separação de misturas. Ambos foram classificados como Lembrar Factual quanto a Taxonomia de Bloom Revisada.

O item 16_72 traz uma situação em que folhas de capim-cidreira e de eucalipto são utilizadas para aromatizar uma sauna úmida. Neste processo o vapor de água solubiliza os compostos presentes nas folhas, responsáveis pelo aroma, e dispersa-os na sauna, processo denominado extração por arraste. Para resolver a questão o estudante precisava lembrar dos métodos de separação de mistura para nomear de forma correta o processo descrito no enunciado e ilustrado na representação.

Quadro 25: Categorização completa do item 72 da edição 2016 do ENEM.

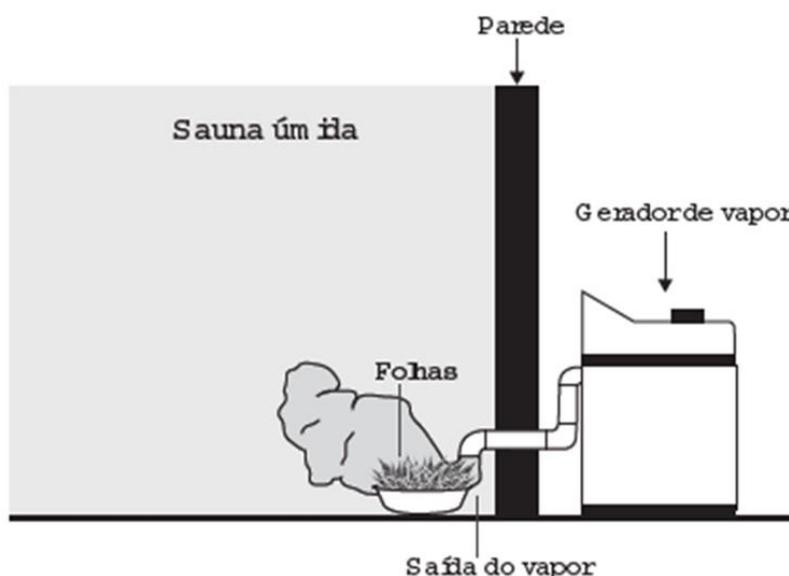
| Ano/Item | Descrição | Nível representacional | Habilidade/Representacional |
|---------------------------------------|--------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| 16_72 | Figura ilustrativa | Macroscópico | Representacional |
| Dimensão do processo cognitivo | | Dimensão do conhecimento | |
| Lembrar | | Factual | |
| Percentual de acerto | | | |
| Federal | | Privada | |
| 27,48% | | 32,69% | |
| Área da química | Misturas | | |

Fonte: Autoria própria

Figura 44: Item 16_72.

QUESTÃO 72

Uma pessoa é responsável pela manutenção de uma sauna úmida. Todos os dias cumpre o mesmo ritual: colhe folhas de capim-cidreira e algumas folhas de eucalipto. Em seguida, coloca as folhas na saída do vapor da sauna, aromatizando-a, conforme representado na figura.



Qual processo de separação é responsável pela aromatização promovida?

- A Filtração simples.
- B Destilação simples.
- C Extração por arraste.
- D Sublimação fracionada.
- E Decantação sólido-líquido.

Fonte: Caderno de CN azul do ENEM aplicada em 2016.

Para resolução do item 15_51, o estudante, assim como no anterior, precisa lembrar dos métodos de separação de misturas e suas aplicações para identificar qual o adequado para a situação descrita no enunciado. A questão cita a formação de agregados entre o petróleo e o LCC, processo chamado de floculação. Além disso, são misturados ao LCC nanopartículas magnéticas que vão permitir a separação magnética dos agregados, facilitando a remoção de petróleo contaminante da água. As porcentagens de acerto, embora o item com representação apresenta valores ligeiramente superiores, são próximos.

Quadro 26: Categorização completa do item 51 da edição 2015 do ENEM.

| Ano/Item | Descrição | Nível representacional | Habilidade/Representacional |
|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| 15_51 | Não apresenta representação | | Linguagem natural |
| Dimensão do processo cognitivo | | Dimensão do conhecimento | |
| Lembrar | | Factual | |
| Percentual de acerto | | | |
| Federal | | Privada | |
| 23,37% | | 23,10% | |
| Área da química | Misturas | | |

Fonte: Autoria própria

Figura 45: Item 15_51.

QUESTÃO 51 ◆◆◆◆

Um grupo de pesquisadores desenvolveu um método simples, barato e eficaz de remoção de petróleo contaminante na água, que utiliza um plástico produzido a partir do líquido da castanha-de-caju (LCC). A composição química do LCC é muito parecida com a do petróleo e suas moléculas, por suas características, interagem formando agregados com o petróleo. Para retirar os agregados da água, os pesquisadores misturam ao LCC nanopartículas magnéticas.

KIFFER, D. Novo método para remoção de petróleo usa óleo de mamona e castanha-de-caju. Disponível em: www.faperj.br. Acesso em: 31 Jul. 2012 (adaptado).

Essa técnica considera dois processos de separação de misturas, sendo eles, respectivamente,

A flotação e decantação.

B decomposição e centrifugação.

C floculação e separação magnética.

D destilação fracionada e peneiração.

E dissolução fracionada e magnetização.

Fonte: Caderno de CN azul do ENEM aplicada em 2015.

Essa análise trouxe um resultado interessante, os itens que apresentaram representação classificada como Suporte Representacional, contribuiu de forma positiva nos resultados dos estudantes, se comparado com os itens sem representação. O inverso ocorreu para as representações classificadas como Suporte Habilidade. A Tabela 4 apresenta um resumo dos dados analisados na comparação dos itens.

Em suma, esse resultado traz uma conclusão importante, mesmo que de um modo geral as representações não parecem ter um papel significativo nos resultados dos estudantes, se comparada com itens sem representação, quanto à um aumento ou diminuição nas porcentagens de acerto, quando comparamos itens com características semelhantes, principalmente quanto a Taxonomia de Bloom Revisada, àqueles que pertencem ao Suporte Representacional oferecem uma condição favorável na resolução do item, contribuindo para um melhor entendimento da questão. Por outro lado, representações visuais com a presença da linguagem específica da química, que não são representações universais, se apresentam como um obstáculo na resolução do item e quando ausentes causam, em itens com características semelhantes, resultados melhores por parte dos estudantes. Em convergência aos referenciais utilizados neste trabalho, e mais uma vez destacando a questão da articulação dos aspectos da química, os resultados demonstram que os estudantes não são capazes de criar, de forma efetiva, uma conexão entre a representação visual simbólica ou microscópica com a situação-problema dos itens, em que no enunciado normalmente parte de uma situação real/macroscópica. Essa articulação, com um conhecimento integrado dos conceitos e aspectos químicos, é parte crucial para que os estudantes tenham melhores desempenho na resolução destes itens. As representações visuais com Suporte Habilidade “forçam” esse pensamento múltiplo, e mesmo que apresentem baixa demanda cognitiva, se o estudante não tem essa habilidade, ele não vai conseguir chegar na resolução do item.

Tabela 4: Classificação completa dos itens selecionados para comparação quanto a presença ou não de representação.

| Ano/Item | Descrição da representação | Nível representacional | Habilidade/Representacional | Dimensão do processo cognitivo | Subcategorias | Dimensão do conhecimento | Área da Química | Federal | Privada |
|----------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------|---------------|--------------------------|---------------------|---------|---------|
| 11_83 | Fórmulas químicas/símbolos | Simbólico | Habilidade | Entender | Interpretar | Factual | Ambiental | 20,71 | 19,89 |
| 19_099 | Não apresenta representação | Não apresenta representação | Linguagem natural | Entender | Explicar | Factual | Ambiental | 40,76 | 40,24 |
| 10_80 | Estrutura orgânica | Simbólico | Habilidade | Entender | Identificar | Factual | Compostos orgânicos | 46,28 | 42,38 |
| 12_70 | Não apresenta representação | Não apresenta representação | Linguagem natural | Entender | Explicar | Conceitual | Compostos orgânicos | 42,46 | 38,62 |
| 16_85 | Estrutura orgânica | Macrosimbólico | Habilidade | Entender | Explicar | Conceitual | Compostos orgânicos | 22,24 | 18,75 |
| 18_132 | Não apresenta representação | Não apresenta representação | Linguagem natural | Entender | Explicar | Conceitual | Compostos orgânicos | 44,55 | 49,47 |
| 16_60 | Não apresenta representação | Não apresenta representação | Linguagem natural | Entender | Classificar | Conceitual | Ligações químicas | 21,76 | 20,18 |
| 17_102 | Equação química | Simbólico | Habilidade | Entender | Classificar | Conceitual | Ligações químicas | 10,90 | 11,33 |
| 15_51 | Não apresenta representação | Não apresenta representação | Linguagem natural | Lembrar | Reconhecer | Factual | Misturas | 23,37 | 23,10 |
| 16_72 | Figura ilustrativa | Macroscópico | Representacional | Lembrar | Reconhecer | Factual | Misturas | 27,48 | 32,69 |

Fonte: Autoria própria

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo realizado buscou analisar as representações presentes nas edições do ENEM de 2009 a 2019 no sentido de compreender suas influências nos resultados dos respondentes, como estão sendo utilizadas como ferramenta de avaliação, e reconhecer padrões e relações entre as categorias estabelecidas que pudessem contribuir para ter uma visão aprofundada das características dos itens de Química e do perfil da prova nestes 11 anos de ENEM.

No total, foram analisados 178 itens, sendo que 121 itens foram identificados como apresentando algum tipo de representação, o que corresponde a quase 70 % dos itens. Isso demonstra a importância dos aspectos representacionais, específicos ou não da química, e como eles vêm sendo valorizados nesse Exame. Assim, o seu conhecimento se torna parte fundamental para que os estudantes alcancem bons resultados.

O estudo explicitou uma distribuição irregular quanto as subáreas da química, com uma predominância de itens relacionadas a conhecimentos de química orgânica. Isso pode ser visto como um ponto negativo, já que ao se avaliar exaustivamente conhecimentos de uma mesma subárea, conhecimentos de outras subáreas deixam de ser contemplados.

Podemos concluir, quanto à análise das categorias propostas por Johnstone (1993) Kiill (2009), que houve mudanças no perfil da prova com relação a distribuição dos tipos de representações, que foram se diversificando ao longo dos anos, mas o nível simbólico ainda apresenta uma quantidade superior em relação as outras categorias. Acreditamos que essa valorização se dá por conta da complexidade associada a essa categoria, em que indiretamente, é uma forma de avaliar o conhecimento como um todo, considerando as dimensões da química, e verificar o quanto o aluno consegue articular os conhecimentos envolvidos nestas dimensões. A dimensão simbólica correspondeu a quase 80% das representações presentes nas edições analisadas.

Com relação às categorias com suporte representacional, habilidade e linguagem natural, os estudos apontaram que itens pertencentes à categoria representacional apresentaram menos discrepância com relação as taxas de acerto entre os estudantes das diferentes dependências administrativas. Esse é um ponto interessante quando pensamos que as avaliações devem avaliar os estudantes, sem favorecimento de grupos específicos, para que se torne uma ferramenta justa de acesso ao ensino superior.

O estudo com o referencial da Taxonomia de Bloom Revisada mostrou que os itens se concentraram em cinco regiões da tabela dimensional, relacionadas como baixa demanda cognitiva.

Conseguir enxergar as relações entre os três níveis de representação da química (macroscópico, submicroscópico e simbólico) (Johnstone, 1993) relacionados a um determinado fenômeno exige um amadurecimento de conhecimentos. Muitas vezes, a resolução de uma situação-problema não se limita a transitar sobre as três pontas do triângulo sobre determinado tema/conceito, mas transitar também entre os “triângulos” de outros conceitos. Para nós professores, que já temos esse conhecimento geral e integrado, é quase intuitivo, mas para quem está no processo de aprendizagem, não seria nem um obstáculo, mas o aluno pode não ter ainda a bagagem, o tempo de amadurecimento das informações, para ter essa visão e realizar essas relações, que na verdade são múltiplas. Como já citado, é necessário que o estudante concatene diferentes aspectos de um determinado conhecimento, algumas vezes complexo, associado ao reduzido número de aulas de química semanais e com o trabalho do conteúdo somente no Ensino Médio. Nesse cenário, o candidato encontra um verdadeiro abismo considerando as exigências da prova, bastante extensa e com um limitado tempo para a resolução e a complexidade dos itens.

Inicialmente realizamos uma análise individual das categorias propostas para todas as dependências administrativas. Porém, devido ao volume de dados obtidos e a disparidade entre os resultados dos estudantes das dependências administrativas Municipal e Estadual em comparação com os oriundos da rede Federal e Privada, optamos em selecionar as duas últimas por apresentarem resultados próximos e menos influenciados por questões socioeconômicas e as categorias intensidade e relação imagem/texto foram desconsideradas nas análises seguintes por não apresentarem contribuições significativas nas análises.

Em resumo, os resultados relacionais entre as categorias trouxeram duas conclusões importantes. A primeira é de que quando comparamos os resultados gerais dos estudantes, para as duas dependências (Federal e Privada) para itens com e sem representação, as representações não parecem ter um papel determinante, não trazendo modificações significantes quanto à um aumento ou diminuição nas porcentagens de acerto dos participantes. A segunda é de que quando comparamos itens com características semelhantes, principalmente quanto a Taxonomia de Bloom Revisada, àqueles que são classificados como Suporte Representacional têm representações que contribuem para o desenvolvimento da resolução do item. Por outro lado, representações visuais com a presença da linguagem específica da química, e por isso, classificados como Suporte Habilidade, se mostram como um obstáculo na resolução do item e quando ausentes causam, em itens com características semelhantes, resultados melhores por parte dos estudantes.

Em concordância com os referenciais utilizados neste trabalho, os resultados demonstraram, mais uma vez, que os estudantes não são capazes de correlacionar a representação visual com a situação-problema do item, em sua maioria, dentro do aspecto macroscópico. Quando o enunciado os obriga a realizar essa articulação, mesmo itens com baixa demanda cognitiva, os resultados são inferiores em comparação com itens pertencentes ao classificados como Linguagem Natural.

Pensando na contribuição desta pesquisa para o nosso trabalho como professor, fica claro o quanto o uso de representações com linguagem simbólica e submicroscópicas precisa fazer parte do cotidiano de sala de aula, reforçando junto aos estudantes de que forma se conversam com o fenômeno que está sendo representado. A situação inversa também pode auxiliar, os estudantes construindo essas imagens para situações macroscópicas estudadas. A familiaridade com essa linguagem pode trazer melhores resultados quando, numa situação de vestibular, forem convocados a realizar esse tipo de relação. Os resultados sugerem que as representações universais têm sido valorizadas nas aulas e àquelas com a linguagem específica da química não.

A pesquisa juntamente com o produto educacional podem auxiliar no planejamento de professores e gestores escolares, tanto para conhecer o perfil da prova do ENEM e auxiliar os estudantes na preparação para o vestibular, quanto para buscar itens que atendam às características específicas de interesse, no sentido de desenvolver determinadas habilidades que julgarem importantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, L. W.; KRATHWOHL, D. R. **A taxonomy for learning, teaching, and assessing**: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives. Nova York: Longman, 2001.
- ARAÚJO, R. F. R. **Aspectos representacionais e textuais na área de ciências da natureza: um olhar sobre os itens do ENEM**. 2017. 152 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2017.
- ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de Química**: questionando a vida moderna e o meio ambiente. 3. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- BARQUEIRO, B.; SCHOTZ, W.; REUTER, S. Adolescents and adult's skills to visually communicate knowledge with Graphic. **Infancia y Aprendizaje**, v. 90, p. 71-97, 2000.
- BRASIL. Inep Anísio Teixeira. Portaria Ministerial n. 109, de 27 de maio de 2009. Institui o Novo Exame Nacional do Ensino Médio. *Diário Oficial da União*: Brasília, 2009a. Disponível em: < https://download.inep.gov.br/educacao_basica/enem/legislacao/2009/portaria_enem_2009_1.pdf > Acesso em: 16 ago. 2022.
- BRASIL. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. Institucional, 2021a. Disponível em: <<https://www.gov.br/inep/pt-br/areas-de-atuacao/avaliacao-e-exames-educacionais/enem>>. Acesso em: 16 ago. 2022.
- BRASIL. Instituto de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira Leite. Exame Nacional do Ensino Médio: relatório pedagógico 2011-2012. Disponível em: < https://download.inep.gov.br/publicacoes/institucionais/avaliacoes_e_exames_da_educacao_basica/relatorio_pedagogico_enem_2011_2012.pdf >. Acesso em: 16 ago. 2022.
- BRASIL. Ministério da Educação e Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. Matriz de Referência ENEM 2022. Brasília, 2022.
- CARVALHO, A. M. P. As condições de diálogo entre professores e formador para um ensino que promova a enculturação científica dos alunos. In: DALBEN, A. I. L. DE F.; et al. (org). **Convergências e tensões no campo da formação e do trabalho docente. Coleção Didática e Práticas de Ensino**. Textos Selecionados do XV ENDIPE. Belo Horizonte: Autêntica, 2010, p. 282-300.
- CISZEWSKI, E. O. S.; SOUSA, E. C. CINTRA, E. P. Há sincronismo entre os conteúdos conceituais avaliados nos itens de química do ENEM e aqueles propostos no currículo estadual paulista?. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 24, n. 3, p. 244 – 257, 2019.
- CINTRA, E. P.; MARQUES JUNIOR, A. C.; SOUSA, E. C. DE. Correlação entre a matriz de referência e os itens envolvendo conceitos de Química presentes no ENEM de 2009 a 2013. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 22, p. 707–725, 2016.
- DEL PINO, J. C.; FRISON, M. D. Química: Um conhecimento científico para a formação do cidadão. **Revista de Educação, Ciências e Matemática**, v. 1, n. 1, p. 36-48, 2011.

- DE MEDEIROS, A. D.; NETO, L. S. O ENEM como ferramenta (RE) formuladora do currículo escolar e da prática docente. **Revista Eletrônica Debates em Educação Científica e Tecnológica**, v. 8, n. 02, p. 146–167, 2018.
- FERRAZ, A. P. do C. M.; BELHOT, R. V. Taxonomia de Bloom: revisão teórica e apresentação das adequações do instrumento para definição de objetivos instrucionais. **Gestão & Produção**, v. 17, n. 2, p. 421-431, 2010.
- GAUDÊNCIO, J. DA S. **Estudo das representações visuais em questões de Química dos exames vestibulares de universidades públicas do estado de São Paulo**. 2015. 162 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Interunidades em Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo, 2015.
- GIBIN, G. B.; FERREIRA, L. H. Avaliação dos Estudantes sobre o Uso de Imagens como Recurso Auxiliar no Ensino de Conceitos Químicos. **Química Nova na Escola**, v. 35, n. 1, p. 19–26, fev. 2013.
- JOHNSTONE, A. H. The development of Chemistry Teaching. **Journal of Chemical Education**, v. 70, n. 9, p. 701–705, set. 1993.
- JOHNSTONE, A. H. Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem, **Journal of Computer Assisted Learning**, v. 7, n. 2, 75–83, 1991.
- JUNIOR, J. C. C. Estratégias de ensino que podem minimizar as dificuldades em cálculo. **SynThesis Revista Digital FAPAM**, Pará de Minas, v. 5, n. 5, 265-289, 2014.
- KIILL, K. B. **Caracterização de imagens em livros didáticos e suas contribuições para o processo de significação do conceito de equilíbrio químico**. 2009. 278 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, 2009.
- LEMKE, J. L. **Aprender a hablar ciência** - Lenguaje, aprendizaje y valores. Barcelona: Paidós, 1997.
- LÓPEZ, J. C. P.; BARRIGA, J. F. R. Procesamiento conjunto de lenguaje e imágenes en contextos didáticos: Una aproximación cognitiva. **Anales de psicología**, v. 21, n. 1, p. 129–146, jun. 2005.
- LORENZETTI, L.; DELIZOICOV, D. A alfabetização científica no contexto das séries iniciais. **Revista Ensaio**, v. 3, n. 1, p. 1-17, 2001.
- MACHADO, J. M. B; CINTRA, E. P.; SOUSA, E. C. Conceitos de química orgânica avaliados nos itens do enem 2009 – 2014. **Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas**, p. 5287 – 5292, 2017.
- MEMBIELA, P.; CEBREIROS, M. I.; VIDAL, M. **Perspectivas y prácticas docentes em la enseñanza de las ciencias**. Ourense: Edita Educación, 2021.
- 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, n. 2, p. 273–283, 2000.

- MORTIMER, E. F.; VIEIRA, A. C. F. R. Letramento científico em aulas de química para o ensino médio: diálogo entre linguagem científica e linguagem cotidiana. In: DALBEN, A. I. L. de F.; et al. (org). *Convergências e tensões no campo da formação e do trabalho docente. Coleção Didática e Práticas de Ensino*. Textos Selecionados do XV ENDIPE. Belo Horizonte: Autêntica. 2010. P. 301-326.
- PANDAE, P.; CHANDRASEKHARAN, S. Representational competence: towards a distributed and embodied cognition account. *Studies in Science Education*, v. 53, n. 1, p. 1–43, nov. 2016.
- PERALES, F. J.; JIMÉNEZ, J. DE D. Las ilustraciones en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias. Análisis de libros de texto. *Investigación Didáctica*, v. 20, n. 3, p. 369–386, 2002.
- PERALES PALACIOS, F. J. Uso (y abuso) de la imagen en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, v. 24, n. 1, p. 13–30, 2006.
- PEREIRA, J. E. **Formação da habilidade de interpretar gráficos cartesianos em licenciandos em química segundo a teoria de P. Ya. Galperin**. 2013, 333 f. Tese (Doutorado em Educação) – Centro de Educação, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2013.
- RODRIGUES, L. S.; VESTENA, R. F. O livro didático e a alfabetização científica em ciências: uma análise nos anos iniciais do ensino fundamental da modalidade de Educação de Jovens e Adultos. *Disciplinarum Scientia*, v. 14, n. 1, p. 47-64, 2013.
- SANTOS, G. S. **Análise das representações visuais em questões de Química nas provas do ENEM de 2009 a 2017**. 2018. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro de Formação de Professores, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2018.
- SANTOS, J. L; CINTRA, E. P. As representações visuais em Química: em busca de categorizações. In: Pedro Membiela, María Isabel Cebreiros y Manuel Vidal (editores). (Org.). *Perspectivas y prácticas docentes em la enseñanza de las ciencias*. 1 ed. Ourense: Edita Educación, 2021, p. 487-492.
- SILVA, G. S.; BRAIBANTE, M. E. F.; PAZINATO, M. S. Os recursos visuais utilizados na abordagem dos modelos atômicos: uma análise nos livros didáticos de Química. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 13, n. 2, p. 159–182, 2013.
- SILVA, H. C. DA et al. Cautela ao usar imagens em aulas de ciências. *Ciência E Educação*, v. 12, n. 2, p. 219–233, 2006.
- SILVA, V. A. da.; MARTINS, M. I. Análise de questões de física do ENEM pela taxonomia de Bloom Revisada. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências* (Belo Horizonte), v. 16, n. 3, p. 189-202, 2014.
- SOUZA, I. P. M. **Análise mista das imagens em livros didáticos de química de segunda série do ensino médio**. 2018. 84 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Química) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, 2018.

- SOUZA, J. I. R. de; LEITE, Q. dos S. S.; LEITE, B. S. Avaliação das dificuldades dos ingressos no curso de licenciatura em Química no sertão pernambucano. **Revista Docência do Ensino Superior**, Belo Horizonte, v. 5, n. 1, p. 135-159, 2015.
- TALANQUER, V. Chemical rationales: another triplet for chemical thinking. **International Journal of Science Education**, v. 40, n. 15, p. 1874–1890, ago. 2018.
- TERUYA, L. C.; MARSON, G. A. A pesquisas em visualização no ensino de Química na última década. Atas do VIII ENPEC. **Anais...Campinas**: 2011.
- TREAGUST, D.; CHITTLEBOROUGH, G.; MAMIALA, T. The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. **International Journal of Science Education**, v. 25, n. 11, p. 1353–1368, 1 nov. 2003.
- TABER, K. S., Revisiting the chemistry triplet: drawing upon the nature of chemical knowledge and the psychology of learning to inform chemistry education, **Chemistry Education Research Practice**., v. 14, n. 2, p. 156–168, 2013.
- WARTHA, E. J.; REZENDE, D. de B. Os níveis de representação no ensino de química e as categorias da semiótica de Peirce (The levels of representation in de teaching of chemistry and the categories of Peirce's semiotics). **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 16, n. 2, p. 275–290, 2011.
- WILLIAMSON, D. F.; PARKER, R. A.; KENDRICK, J. S. The box plot: A simple visual method to interpret data. **Annals of internal medicine**. v. 110, n. 11, p. 916-921, 1989.
- WU, H.; KRAJCIK, J. S.; SOLOWAY, E. Promoting understanding of chemical representations: Students' use of a visualization tool in the classroom. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 38, n. 7, p. 821–842, 2001.
- ZOLLER, U.; TSAPARLIS, G. Higher and lower-order cognitive skills: the case of chemistry. **Research in Science Education**, v. 27, n. 1, p. 117–130, 1997.

PRODUTO EDUCACIONAL

O produto educacional é um dos pré-requisitos do Mestrado Profissional e nesta pesquisa, escolhemos como produto uma planilha onde constam a descrição da representação, a área da Química a qual o item pertence, o processo cognitivo, o objeto do conhecimento e um link para a imagem do item em questão.

Essa planilha estará disponível de forma online e irá permitir que professores e estudantes, interessados nas provas do ENEM, das edições de 2009 a 2019, possam filtrar informações de interesse, como por exemplo, selecionar o objeto de conhecimento que esteja ensinado/estudando e a planilha irá mostrar quais são os itens que tratam desse tema, qual número e edição, o tipo de representação, como gráfico, quadro e equações químicas e a pessoa terá acesso direto a imagem do item em questão com o gabarito.

Acreditamos que esse material irá contribuir para o trabalho do professor, facilitando a busca por características ou temas de interesse, principalmente para aqueles que valorizam a preparação dos estudantes para as provas de larga escala, otimizando desta forma o seu trabalho. Esse material também contribui para estudantes que estejam se preparando para os vestibulares, pois permite que ele acesse de forma rápida os itens sobre os temas de interesse.

Nos dias de hoje se discute muito o uso da tecnologia no ensino, mas as ferramentas disponíveis ainda são limitadas, esperamos com esse produto, contribuir como um instrumento facilitador no trabalho do professor.