

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE QUÍMICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA

**Uma proposta de sequência didática para o ensino de Termodinâmica  
de Soluções a partir da Taxonomia Revisada de Bloom**

*Lesson sequencing of Thermodynamics of Solutions using Bloom's  
Revised Taxonomy*

Dissertação de Mestrado

**Daniele Prestes Daniel**

Porto Alegre, 2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE QUÍMICA

PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA

**Uma proposta de sequência didática para o ensino de Termodinâmica  
de Soluções a partir da Taxonomia Revisada de Bloom**

Dissertação de Mestrado

**Daniele Prestes Daniel**

Dissertação apresentada como requisito  
parcial para a obtenção do grau de  
Mestre em Química.

Prof. Dra. Camila Greff Passos

Orientadora

Prof. Dra. Livia Streit

Coorientadora

Porto Alegre, 2021

*Ao meu querido tio Izabelino e à toda a falta que ele faz aqui.*

## AGRADECIMENTOS

Gratidão é a palavra. Quando ouvi pela primeira vez, lá em 2019, sobre a Taxonomia de Bloom, me encantei com as possibilidades a serem exploradas no ensino de Química. E aí entrou o contexto: a físico-química, tão temida por tantos alunos, inclusive por mim. A possibilidade de elaborar um produto que busca contribuir para reverter essa fama surgiu. Nós agarramos. E ao longo do caminho, pessoas maravilhosas somaram suas presenças para que aqui chegássemos. Primeiro a Lívia Streit com a Taxonomia, e o contexto da Físico-Química II-C. Aí minha querida orientadora Camila Passos, que aceitou o desafio mesmo desconhecendo o referencial inicialmente, e que ao longo do caminho me motivou, me auxiliou e me entendeu em todos os momentos difíceis, demonstrando como ser a melhor orientadora possível. E seguindo na caminhada, meus queridos amigos Arthur Exner, Bruno de Araújo, Eduam Boeira, Maurício Closs, Sheila Krigger, contribuindo com seus conhecimentos adquiridos na nossa graduação e com o mais importante: o apoio. É, amigos... “Fundamental é mesmo o amor, é impossível ser feliz sozinho.”, já diria a letra de Tom Jobim. Eu diria ainda que “fundamental é mesmo o amor, é impossível escrever uma dissertação na pandemia sozinho”, para tentar enfatizar o quanto se fez necessário este suporte durante este período. Sou muito grata pela colaboração de todos. Este período foi muito difícil de superar, mas sem vocês, teria sido impossível.

Também preciso agradecer ao meu querido tio Izabelino, que não se encontra mais entre nós, mas que também me auxiliou da melhor maneira possível: com amor e carinho. Tio, faltou tu aqui pra dizer “*Veni, vidi, vici!*”.

Para estes citados e para outros que também deixaram suas contribuições no percurso, fica o meu agradecimento de coração. Espero que o nosso trabalho possa somar contribuições positivas na área de ensino da Química.

Por último, fica um agradecimento à CAPES e ao financiamento da pesquisa. Existem ainda muitos outros bons trabalhos a serem feitos por pesquisadores competentes e que agregarão muito valor à ciência e conseqüentemente ao desenvolvimento de nosso país. Lutemos em defesa da ciência!

## TRABALHOS E COLABORAÇÕES REALIZADOS DURANTE O MESTRADO

Selbach, Á.L.; **Daniel**, D.P.; de Azevedo Ribeiro, D.D.C.; Passos, C.G. O método de Estudos de Caso na promoção da argumentação no Ensino Superior de Química: uma revisão bibliográfica. Química Nova Na Escola **2021**, 43, 1, p.38.

## Sumário

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	5
<b>2.1 AVANÇOS E DESAFIOS DO ENSINO DE FÍSICO-QUÍMICA NO ENSINO SUPERIOR</b> .....	5
2.1.1. <i>O desafio de ensinar</i> .....	5
2.1.2 <i>O desafio de aprender</i> .....	8
<b>2.2 O EMPREGO DA TAXONOMIA DE BLOOM A NÍVEL NACIONAL</b> .....	11
2.2.1 <i>Encontro Nacional de Ensino de Química e Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências</i> .....	11
2.2.2. <i>Publicações em Revistas e Periódicos Nacionais</i> .....	15
<b>2.3 A TAXONOMIA DE BLOOM E A QUÍMICA NO MUNDO</b> .....	17
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	29
<b>3.1 A TAXONOMIA DE BLOOM</b> .....	29
3.1.1 <i>Os objetivos educacionais</i> .....	30
3.1.2 <i>As classes Taxonômicas</i> .....	31
<b>3.2 A REVISÃO DA TAXONOMIA</b> .....	34
3.2.1 <i>A Tabela Taxonômica</i> .....	35
3.2.2 <i>Modificações nas declarações de objetivos</i> .....	36
3.2.3 <i>Mudanças da Dimensão do Conhecimento</i> .....	37
3.2.4 <i>Mudanças na Dimensão das Classes</i> .....	40
3.2.5 <i>Outras Mudanças</i> .....	42
<b>3.3 METODOLOGIAS ATIVAS E RECURSOS DIDÁTICOS</b> .....	42
3.3.1 <i>Brainwriting Pool</i> .....	43
3.3.2 <i>Mapas Conceituais e Mentais</i> .....	44
3.3.3 <i>Peer Instruction</i> .....	44
3.3.4 <i>A aprendizagem baseada em problemas: Resolução de Problemas e Estudos de Caso</i> ....	46
<b>3.4 TERMODINÂMICA DE SOLUÇÕES</b> .....	47
3.4.1 <i>Soluções líquidas</i> .....	47

3.4.2 Soluções Ideais.....	48
3.4.3 Soluções não-ideais.....	49
<b>4. METODOLOGIA .....</b>	<b>51</b>
<b>4.1 PRESSUPOSTOS TEÓRICOS DA METODOLOGIA QUALITATIVA.....</b>	<b>51</b>
<b>4.2 PROPOSTA DE ANÁLISE DO PLANO DE ENSINO E DAS PROVAS DA FÍSICO-QUÍMICA II – C SEGUNDO A TAXONOMIA REVISADA .....</b>	<b>52</b>
<b>4.3 PERFIL DA TURMA .....</b>	<b>52</b>
<b>4.4 ELABORAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....</b>	<b>52</b>
<b>4.5 AULAS PRESENCIAIS – ANTES DA PANDEMIA .....</b>	<b>54</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>55</b>
<b>5.1. FÍSICO-QUÍMICA II-C: ANÁLISE DO PLANO DE ENSINO E DE AVALIAÇÕES REFERENTES AO MÓDULO DE TERMODINÂMICA DE SOLUÇÕES.....</b>	<b>55</b>
<b>5.2 ANÁLISE DO PERFIL ACADÊMICO DA TURMA DE 2020/1 – ATIVIDADE PRESENCIAL: <i>BRAINWRITING POOL E MAPA MENTAL</i>.....</b>	<b>61</b>
<b>5.3 DA PROPOSIÇÃO DE NOVOS OBJETIVOS EDUCACIONAIS PARA A FÍSICO-QUÍMICA II - C.....</b>	<b>70</b>
<b>5.4 DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA E MATERIAL DIDÁTICO .....</b>	<b>73</b>
<b>6 CONCLUSÕES .....</b>	<b>90</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>93</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>98</b>
<b>APÊNDICE A - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO.....</b>	<b>98</b>
<b>APÊNDICE B - PLANO DE ENSINO – FÍSICO-QUÍMICA II – C.....</b>	<b>99</b>
<b>APÊNDICE C - MATERIAL DIDÁTICO .....</b>	<b>102</b>
<b>APÊNDICE D - ATIVIDADE DE RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS .....</b>	<b>138</b>
<b>APÊNDICE E - ATIVIDADE DE ESTUDOS DE CASO .....</b>	<b>139</b>
<b>APÊNDICE F - QUESTIONÁRIO FINAL .....</b>	<b>140</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Esquema representativo da proposição de atividades com foco no estudante ou no professor. Inspirada em Mack e Towns (2016). Fonte: A autora. ....	7
<b>Figura 2.</b> Publicações de Trabalhos Completos utilizando a Taxonomia de Bloom como temática nos eventos ENEQ e ENPEC entre 2010 e 2019. Fonte: A autora. ....	12
<b>Figura 3.</b> Esquema organizacional da Taxonomia de Objetivos Educacionais de 1956. Fonte: A autora. ....	34
<b>Figura 4.</b> Recorte de imagem de atividade de Brainwriting Pool contendo respostas dos estudantes acerca dos conceitos mais fáceis aprendidos na Físico-Química I-B. Fonte: A autora. ....	63
<b>Figura 5.</b> Conceitos tomados pelos alunos como de maior facilidade de aprender a partir de sua experiência na Físico-Química I-B. ....	64
<b>Figura 6.</b> Recorte de imagem de atividade de Brainwriting Pool contendo as respostas dos estudantes quanto às maiores dificuldades na disciplina de Físico-Química I-B. Fonte: A autora. ....	65
<b>Figura 7.</b> Dificuldades apontadas pelos alunos de suas experiências na disciplina de Físico-Química I-B. Fonte: A autora. ....	66
<b>Figura 8.</b> Recorte de imagem de atividade de Brainwriting Pool contendo as respostas dos estudantes acerca de termos relacionados ao tópico de soluções. Fonte: A autora. ....	67
<b>Figura 9.</b> Conceitos relativos ao tópico de soluções indicados pelos alunos. Fonte: A autora. .	68
<b>Figura 10.</b> Mapa Mental desenvolvido no quadro negro pelos alunos. Fonte: A autora. ....	69
<b>Figura 11.</b> Recorte de questão envolvendo o conteúdo de quantidades parciais molares explorando os processos cognitivos da classe de aplicar. Fonte: A autora. ....	77
<b>Figura 12.</b> Recorte de apresentação em slides da atividade de Peer Instruction cobrindo o tópico de quantidades parciais molares. Fonte: A autora. ....	78
<b>Figura 13.</b> Recorte de apresentação em slides da atividade de Peer Instruction cobrindo o tópico de quantidades de mistura. Fonte: A autora. ....	78
<b>Figura 14.</b> Recorte de apresentação em slides da atividade de Peer Instruction cobrindo o tópico das leis de Raoult e Henry. Fonte: A autora. ....	79
<b>Figura 15.</b> Recorte de apresentação em slides da atividade de Peer Instruction cobrindo o tópico da lei de Henry. Fonte: A autora. ....	79
<b>Figura 16.</b> Recorte de imagem apresentando um exemplo de atividade abordando as quantidades parciais molares. ....	82
<b>Figura 17.</b> Atividade baseada em resolução de problema sobre o tópico de propriedades coligativas. Fonte: A autora. ....	84
<b>Figura 18.</b> Recorte de imagem da atividade de Estudo de Caso. Fonte: A autora. ....	86



## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1.</b> Informações obtidas da procura por “Taxonomia de Bloom” nas ferramentas de busca de Revistas e Periódicos Nacionais selecionados.....	15
<b>Quadro 2.</b> Artigos publicados que apresentam a aplicação da Taxonomia de Bloom no ensino de Química (2010-2020) .....	18
<b>Quadro 3.</b> Tabela Taxonômica proposta por Anderson e Krathwohl (2001).....	35
<b>Quadro 4.</b> Classificação dos objetivos do plano de ensino da Físico-Química II-C em 2019/1	56
<b>Quadro 5.</b> Classificação dos objetivos da prova 1 da Físico-Química II-C (2019/1) .....	60
<b>Quadro 6.</b> Nova proposição para a classificação dos objetivos educacionais para a disciplina de Físico-Química II – C para 2020/1.....	71
<b>Quadro 7.</b> Proposição de sequência didática para o módulo de termodinâmica de soluções para a disciplina de Físico-Química II-C considerando os objetivos educacionais elaborados.....	74

## SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

APB: APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS

EC: ESTUDOS DE CASO

ENEQ: ENCONTRO NACIONAL DE QUÍMICA

ENEM: EXAME NACIONAL DO ENSINO MÉDIO

ENPEC: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE CIÊNCIAS

ERE: ENSINO REMOTO EMERGENCIAL

FACTS: *FORMATIVE ASSESSMENT CLASSROOM TECHNIQUES*

PBL: *PROBLEM-BASED LEARNING*

PIBID: PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSA DE INICIAÇÃO À DOCÊNCIA

RP: RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS

TAXONOMIA REVISADA: UMA REVISÃO DA TAXONOMIA DE BLOOM DOS OBJETIVOS EDUCACIONAIS

UFRGS: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi analisar as potencialidades de elaboração de uma sequência didática para o ensino de tópicos de termodinâmica de soluções a partir do referencial da versão revisada da Taxonomia dos Objetivos Educacionais para a disciplina de Físico-Química II-C da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. A Taxonomia Revisada, proposta por Anderson e Krathwohl (2001) a partir da Taxonomia de Bloom (1956), foi utilizada tanto para a análise do plano de ensino e da avaliação da Físico-Química II-C quanto para o planejamento e projeto de uma nova sequência didática considerando principalmente aspectos conceituais e habilidades procedimentais. A presente pesquisa é do tipo qualitativa, de natureza exploratória e usou de característica indutiva para a análise dos dados. Os resultados apontaram que o plano de ensino original da Físico-Química II-C possui objetivos educacionais vagamente descritos, e é focado na classe de “aplicar”, tal como categorizado segundo a Taxonomia Revisada (2001). A nova sequência didática foi proposta considerando os conceitos a serem abordados na disciplina, as considerações dos estudantes sobre preocupações quanto à matemática, e um pedido da professora titular considerando outros métodos de ensino que explorem as metodologias ativas. Foi criado um material complementar escrito explorando as classes de 1 a 4 do domínio cognitivo da estrutura da Taxonomia, contendo explicações resumidas e problemas de tópicos considerados. Também foram introduzidas à sequência didática atividades baseadas em técnicas e metodologias ativas tais como Mapas Mentais, *Brainwriting Pool*, *Peer Instruction*, e metodologias baseadas em problemas, tal como a Resolução de Problemas e os Estudos de Caso. A sequência didática foi proposta considerando o tempo disponível de 9 encontros com 1 h 40 min de duração cada, bem como o conhecimento prévio de estudantes sobre conceitos de termodinâmica e conhecimentos matemáticos. Como resultado, apresenta-se uma proposta de sequência didática explorando todas as classes e conhecimentos da estrutura taxonômica referente ao domínio cognitivo, aplicando atividades baseadas em metodologias ativas e explorando o contexto conceitual da físico-química focando em tópicos centrais da termodinâmica de soluções. Considerando o cenário de pandemia da Covid-19, considera-se que o presente trabalho atingiu os objetivos propostos, pois apresenta-se como uma proposição teórica de uma sequência didática para o ensino de termodinâmica de soluções no contexto da formação de futuros professores de Química, considerando as sugestões para a delimitação dos objetivos educacionais da Taxonomia Revisada de Bloom.

Palavras-chave: Termodinâmica de Soluções, Taxonomia de Bloom, Metodologias Ativas, Ensino de Físico-Química, Sequência Didática.

## ***ABSTRACT***

The goal of this work was to analyze the potentialities of designing a lesson sequencing for the teaching of topics of thermodynamics of solutions using the Revision of the Taxonomy for Educational Objectives for the discipline of Physical Chemistry II-C from Universidade Federal do Rio Grande do Sul. The Revision of the Taxonomy, proposed by Anderson and Krathwohl (2001) based on Bloom's Taxonomy (1956), was used both for analyzing the previous Physical Chemistry II-C's teaching planning and evaluation as for the planning and design of a new teaching sequence mainly considering conceptual aspects and procedural abilities. This research is qualitative, exploratory, and used inductive features for data analysis. The results showed that the previous Physical Chemistry II-C's teaching planning vaguely described educational objectives and it is mainly focused on the "apply" category, as categorized by the Revision of the Taxonomy (2001). The new teaching sequence was proposed considering the concepts presented in the course, students' considerations regarding mathematical concerns and a request from the discipline regent teacher about implementing other teaching approaches exploring active methodologies. A complementary textbook was created exploring the first 4 categories of the cognitive domain from the Taxonomy's framework containing brief explanations and problems regarding the discipline topics. Also, teaching techniques and active methodologies were introduced in the teaching sequence as Mind Maps, Brainwriting Pool, Peer Instruction, and Problem-Based Learning methodologies as Problem Resolution and Case Studies. The teaching sequence was proposed considering the available time to work – 9 meetings of 1 h 40 min each, and students' previous knowledge about thermodynamics and mathematics. As a result, it is shown a teaching sequence proposal exploring all the categories and knowledge dimensions in the Taxonomy's framework regarding the cognitive domain, applying active methodologies and exploring the physical chemistry's conceptual context without making the students uncomfortable with a large amount of topics to study, focusing on the main ones. Considering the Covid-19 pandemics context, it is considered that this work has accomplished its proposed goals, as it is shown as a teaching sequence theoretical proposal for thermodynamics of solutions in the context of future chemistry teacher's development, considering the Revision of the Taxonomy's suggestions for educational objectives delimitations.

Keywords: thermodynamics of solutions, bloom's taxonomy, active methodologies, physical chemistry teaching, teaching sequence.

# 1 INTRODUÇÃO

Planejar uma aula não é uma tarefa fácil. Entre conteúdos e habilidades, reflexões, tais como “o quê”, “como” ou “por que” ensinar, perpassam o planejamento do professor (ZABALA, 1998). Portanto, torna-se importante considerar o processo de ensino e aprendizagem enquanto um ato intencional, realizado por pessoas e pautado por suas histórias de vida.

No caso da Química, enquanto ciência natural, um processo educacional que resulte na formação de um cidadão consciente, criativo, desperto para as questões sociais e do espírito científico é encorajado pelas Diretrizes Curriculares Nacionais dos cursos de Química (BRASIL, 2001), assim como na literatura (HOLME, 2019). A separação da mesma em áreas permite, na sua abrangência, estudar a matéria, as transformações que ela passa, as trocas energéticas envolvidas e outros aspectos. Uma destas áreas, a físico-química, trata da intersecção da Química com outra área: a Física. Neste caso, a compreensão de fenômenos diversos ocorre através de leis e de um rigoroso desenvolvimento matemático, expandido e aplicado para outras áreas, tais como Biologia, Metalurgia, Engenharias, e outras (CASTELLAN, 2014).

Considerando a vastidão de cobertura da físico-química: de aproximações moleculares até sistemas macroscópicos, pode-se perceber a magnânima influência da área na ciência Química. E como trabalhar com toda essa extensão de conhecimentos no processo de ensino? Por que ensinar físico-química? O que ensinar em físico-química?

Retornando à questão da formação dos profissionais da Química: Para a composição do processo formativo, poderia-se pensar em habilidades tais como a resolução de problemas, a investigação, a autonomia e o pensamento crítico como algumas a se objetivar, juntamente com uma base sólida de conhecimentos específicos da área em questão. Nesse sentido, qual seria o nível de exigência da formação? Uma formação pautada em mecanismos de memorização e reprodução de algoritmos seria suficiente? Pelas experiências pessoais da autora, vivenciadas ao longo da graduação e mestrado, acredita-se que não. Sendo assim, mais uma pergunta é adicionada à nossa coleção: Como promover um processo de ensino capaz de desenvolver estas habilidades e conhecimentos?

Tal como Zabala (1998), concorda-se com a ideia de existência de muitas variáveis envolvidas nos processos de ensino e aprendizagem, tais como o ambiente, o tempo, as pessoas envolvidas... E que se faz necessária, então, a escolha de uma referência capaz de orientar a tomada de decisão da melhor maneira possível para articular estes fatores de forma sinérgica. Frente ao exposto, optou-se por utilizar como referência a Revisão da Taxonomia dos Objetivos Educacionais (também chamada como Taxonomia Revisada ou Revisão da Taxonomia de Bloom neste trabalho). A versão revisada foi proposta por Anderson e Krathwohl (2001) a partir da Taxonomia de Objetivos Educacionais de Bloom e colaboradores (1956). Considerou-se tal referência para a análise e estruturação dos objetivos educacionais associados ao “por que”, e “o quê” ensinar na físico-química. Para as questões relacionadas ao “como”, recorreu-se ao uso das metodologias ativas. Apresenta-se aqui, portanto, uma possibilidade, entre muitas, de propor uma estrutura a ser utilizada para o desenvolvimento das habilidades e conhecimentos, citados anteriormente, por meio da elaboração de um material didático e de uma sequência didática direcionada para o ensino da termodinâmica de soluções.

Tal como Bloom e colaboradores (1956) mencionaram no manual da Taxonomia original, ressaltam-se aqui propostas de trabalho com base em um determinado contexto, sendo este a disciplina de Físico-Química II – C do sexto semestre (terceiro ano) do curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Para tanto, o perfil dos sujeitos, as experiências anteriores, as dificuldades de aprendizagem e os conhecimentos iniciais dos estudantes foram considerados como elementos-chave para a construção da sequência didática a partir dos objetivos educacionais pretendidos.

Prospecta-se ao longo da delimitação dos objetivos educacionais, com base no referencial da Taxonomia, os possíveis resultados a se obter ao fim do processo educacional (BLOOM *et. al*, 1956). Considerando os estudantes - futuros professores - como sujeitos da pesquisa e principalmente o foco central do processo de ensino e aprendizagem, as atividades propostas baseadas em *Peer Instruction* (MAZUR, 1991), Estudos de Caso (SÁ; QUEIROZ, 2010), Resolução de Problemas (GIL-PÉREZ; TORREGROSA, 1983) e outras metodologias foram utilizadas. Tais perspectivas ativas foram englobadas com o intuito de prover a vivência dos estudantes com abordagens de ensino capazes de explorar e desenvolver os conhecimentos e habilidades de formas



diferenciadas, para além daquela tradicional e assim, favorecer que essas sejam aplicadas em suas futuras atuações (BRASIL, 2001; HOLME, 2019).

A literatura aponta, a nível internacional, a grande exigência matemática, a grande carga de conteúdos desenvolvida em pouco tempo e a falta de conexão dos conceitos com a realidade como alguns fatores ligados à desmotivação para os estudos de termodinâmica clássica (MACK; TOWNS, 2016; SÖZBILIR, 2004). Entende-se que nos cursos de graduação aqui no Brasil, vivencia-se a mesma realidade. Relatos de colegas próximos e a própria experiência da autora desta dissertação (de desempenho apenas “satisfatório” durante o percurso das disciplinas de físico-química da graduação) contribuíram para esta impressão e como um fator adicional à motivação do desenvolvimento deste trabalho, mesmo após o contato ao longo de 7 meses com outro projeto durante o mestrado. Além disso, acrescenta-se à este trabalho a intenção de propor uma sequência que contribua na orientação do ensino, por parte do professor, e da aprendizagem, por parte do estudante, quanto a alguns tópicos de termodinâmica clássica.

Portanto, o objetivo geral deste trabalho compreende analisar as potencialidades do processo de elaboração de uma sequência didática para o ensino de tópicos de termodinâmica de soluções a partir do referencial da Revisão da Taxonomia dos Objetivos Educacionais para a disciplina de Físico-Química II-C da UFRGS. Como objetivos específicos, pretendeu-se: 1) Realizar levantamento bibliográfico acerca das dificuldades dos processos de ensino e aprendizagem de termodinâmica clássica no Ensino Superior, 2) Realizar levantamento bibliográfico sobre a utilização da Taxonomia de Bloom (BLOOM *et. al*, 1956) e Revisão da Taxonomia dos Objetivos Educacionais (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001) na área de Ensino de Química; 3) Avaliar, à luz da Revisão da Taxonomia dos Objetivos Educacionais (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001) os objetivos educacionais da atual configuração da disciplina Físico-Química II-C e a sua implementação quanto a planejamento e avaliação; e 4) Propor uma sequência didática para o módulo de termodinâmica de soluções baseada nas classes presentes na Revisão da Taxonomia dos Objetivos Educacionais (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001) contendo atividades fundamentadas em metodologias ativas para o desenvolvimento de habilidades cognitivas de níveis diversos.

Acrescido a este capítulo introdutório, o Capítulo 2 apresenta uma revisão da literatura considerando as dificuldades apontadas por professores e estudantes quanto ao

ensino e aprendizagem da termodinâmica clássica e como o referencial da Taxonomia de Bloom (BLOOM *et. al.*, 1956) e de suas revisões vêm sendo trabalhadas no ensino de química nacionalmente e internacionalmente. No capítulo 3 de referencial teórico são apresentadas a Taxonomia de Bloom (BLOOM *et. al.*, 1956) e a Taxonomia Revisada (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001), a descrição das metodologias ativas selecionadas para embasar as propostas deste trabalho e uma breve descrição sobre a termodinâmica de soluções. Já no capítulo 4, referente à metodologia, descreve-se a natureza da pesquisa conduzida neste trabalho, os sujeitos e as etapas de elaboração da sequência didática, cuja finalização é apresentada no capítulo 5 de Resultados e Discussão. Além da sequência didática, são apresentados também os resultados da análise documental da disciplina de Físico-Química II-C quanto ao plano de ensino e provas, categorizados com base na Taxonomia Revisada (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001). As conclusões deste trabalho, são, por fim, apresentadas no capítulo 6.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo tem por objetivo apresentar elementos referentes à revisão da literatura realizada no início da pesquisa quanto aos estudos prévios relacionados ao ensino e aprendizagem de termodinâmica clássica e quanto às aplicações da Taxonomia de Bloom (BLOOM *et. al.*, 1956) e de suas revisões em âmbito nacional e internacional. No capítulo 3 apresenta-se os pressupostos teóricos das diferentes versões da Taxonomia – a Taxonomia de Bloom (BLOOM *et. al.*, 1956) e a Revisão proposta por Anderson e Krahthwohl (2001). Além disso pesquisou-se de forma mais abrangente sobre termodinâmica clássica, pois o conteúdo específico de termodinâmica de soluções foi selecionado como sendo foco principal da sequência didática ao longo da pesquisa.

### 2.1 AVANÇOS E DESAFIOS DO ENSINO DE FÍSICO-QUÍMICA NO ENSINO SUPERIOR

Buscou-se nesta seção procurar entender o que as publicações nas áreas de físico-química apresentam quanto às dificuldades no processo de ensino e aprendizagem, por parte dos estudantes e professores, no que se refere aos tópicos de termodinâmica clássica. O recorte feito para esta busca delimitou o período compreendido entre 2000 e 2019. Termos como “*thermodynamics*”, “*chemistry*”, “*difficulties*”, “*teaching*” e “*learning*” foram utilizados de forma associada na busca das bases do *Web of Science* e *Scopus*. Os dados foram organizados nas categorias “o desafio de ensinar” e “o desafio de aprender”. Salienta-se que estes processos estão inter-relacionados, mas para organização dos dados e identificação das dificuldades dos distintos sujeitos, os artigos foram agrupados e analisados com estes enfoques.

#### 2.1.1. O desafio de ensinar

A físico-química engloba o estudo dos princípios físicos fundamentais que governam as propriedades e o comportamento dos sistemas químicos (LEVINE, 2009). É também uma área da química desafiadora, como apontam algumas sugestões das referências bibliográficas das disciplinas em suas apresentações (CASTELLAN, 2014; LEVINE, 2009; MCQUARRIE, 1997; PILLA, 2006). Com suas quatro subáreas principais – termodinâmica, mecânica estatística, química quântica e cinética, a físico-química busca estudar a mudança em propriedades e processos de sistemas do micro ao macroscópico. Com uma enorme variedade de aspectos englobados pela área, é natural

que surjam dúvidas aos educadores sobre porquê, o quê e como trabalhar a físico-química em cursos em nível de graduação.

Mack e Towns (2016) apresentaram uma ampla pesquisa abrangendo essas questões no contexto norte-americano. Segundo os autores, a forma como os professores encaram o ensino de físico-química surge do modo como estes entendem a educação a nível superior e a relação de ensino e aprendizagem, bem como de suas experiências anteriores de práticas em educação e pela própria cultura na qual trabalham. Consequentemente, tais crenças são refletidas nas suas práticas educacionais.

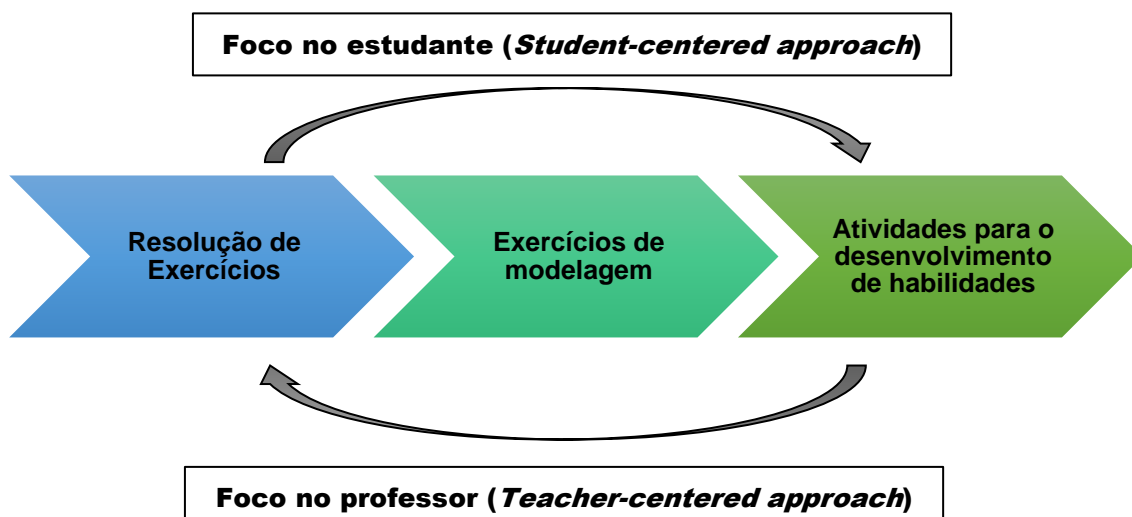
Dos dados da literatura, os autores perceberam que na visão dos professores, a prática do ensino de físico-química é majoritariamente focada no professor, representada por manifestações de abordagens que busquem principalmente melhorar o currículo dos cursos e que as dificuldades enfrentadas pelos estudantes são muitas vezes de conhecimento dos professores, mas que nem sempre estes usam dessas informações para promover mudanças em aspectos pedagógicos (MACK; TOWNS, 2016).

Na investigação conduzida por Mack e Towns (2016) entrevistando professores da área de físico-química de diversas instituições, foram apontados motivos diversos pelos quais os professores acreditam que a físico-química deve ser ensinada na graduação. Considerando um ponto de vista conceitual, para a maioria dos professores a físico-química enquanto disciplina serve para ajudar os estudantes a desenvolver o conhecimento conceitual dos pilares da físico-química (a área). Para isso, argumentos sobre a promoção de um currículo que fomente o desenvolvimento de habilidades matemáticas e físicas se tornaram frequentes. Para os professores, a forma como se dá o desenvolvimento do conhecimento conceitual pelos estudantes é através da resolução de exercícios, pois seriam nesses momentos de resolução que os alunos conseguem enxergar a prática dos conteúdos apresentados em aula. No entanto, a investigação de Mack e Towns (2016) apontou que poucos professores dispuseram-se a analisar a limitação dessa proposta de desenvolvimento através da resolução de problemas de livros-texto, considerando que nestes momentos os estudantes se detêm a olhar para as variáveis apresentadas no problema e a procurar no formulário por uma equação adequada para resolvê-lo, sem no entanto realizar uma reflexão mais profunda sobre a situação em questão. A solução, segundo esses professores, é trabalhar com exercícios que fazem uso

da modelagem e o uso de dados experimentais para fazer com que os alunos entendam as suposições e limitações envolvidas em determinado conceito, como ilustrado na Figura 1.

Somente para alguns professores o entendimento de que trabalhar conteúdos procedimentais e atitudinais é tão importante para o desenvolvimento profissional dos estudantes quanto os conteúdos conceituais. Para estes professores em específico, a aula de físico-química pode prover mais do que ensinar cálculo aos alunos, podendo promover o pensamento crítico, o trabalho em equipe, entre outros (MACK, TOWNS, 2016).

Em resumo, nesta publicação, Mack e Towns (2016) evidenciam o amplo espectro de crenças sobre o ensino de físico-química na graduação na visão dos professores, que acaba por se refletir em suas práticas em um contexto de investigação norte-americano. O contexto aqui apresentado servirá de referência para a análise a seguir neste trabalho.



**Figura 1.** Esquema representativo da proposição de atividades com foco no estudante ou no professor. Inspirada em Mack e Towns (2016). Fonte: A autora.

Na revisão bibliográfica de Mack e Towns (2016) também são citadas investigações diversas que procuram apontar os fatores determinantes no aprendizado de disciplinas de físico-química. Entre elas, são citadas as de Sözbilir (2004), Fox e Roehring (2015), que serão descritas no próximo item desta dissertação. Para os professores entrevistados no trabalho de Fox e Roehring (2015), por exemplo, a aprendizagem da físico-química é dificultada principalmente pela falta de conhecimentos matemáticos dos estudantes e da falha de conexões desta matemática com os conceitos apresentados, aliadas à uma falta de esforço das turmas. Trabalhos prévios como o de Nicoll e Francisco (2001) buscaram também encontrar correlações entre desempenho na disciplina e fatores

como conhecimentos de matemática, percepções equivocadas sobre a dificuldade da disciplina e habilidades de resolução de problemas e de pensamento lógico. Os autores apontaram que para os sujeitos que participaram da pesquisa se evidenciou que as habilidades matemáticas com cálculo avançado não são determinantes para o sucesso na disciplina, mas sim um bom desenvolvimento de matemática básica aliado ao pensamento lógico. Apesar da grande variedade de possíveis causas apontadas pelos professores entrevistados nestes trabalhos, a questão conceitual e a sua relação com a matemática se faz presente em muitas das respostas. No próximo item serão apresentados trabalhos que tenham tido o cuidado em avaliar também a opinião dos estudantes quanto aos aspectos gerais da físico-química no que concerne às dificuldades de aprendizagem e sugestões de melhorias do processo.

### *2.1.2 O desafio de aprender*

Segundo Sözbilir (2004), os maiores problemas envolvidos no aprendizado dos conceitos de físico-química pelos estudantes estão relacionados a i) a abstração de conceitos; ii) a sobrecarga de conteúdos; iii) as pedagogias centradas no professor e iv) a falta de motivação dos estudantes. Neste artigo também existe uma evidência de que, muito embora as dificuldades de aprendizagem citadas por alunos e professores apresentem uma boa convergência, as propostas de solução não demonstram o mesmo. Os dados coletados de sujeitos de 2 turmas de físico-química (91 alunos no total) e de dois professores dos departamentos de Físico-Química das universidades foram analisados, onde os sujeitos deveriam responder a duas perguntas: “O que você acha que dificulta a compreensão de ideias de química na físico-química?” e “O que você acha que poderia ser feito para ajudar a se entender melhor essas ideias?” (Traduções da autora). As respostas foram agrupadas em 3 eixos: Fatores relacionados aos estudantes, ao curso e à equipe docente. Segundo os estudantes, as maiores dificuldades de aprendizagem da disciplina de físico-química estão relacionadas à própria postura do estudante em termos de falta de motivação e interesse; em termos do curso foram apontados problemas relacionados à apresentação de conceitos abstratos, à sobrecarga desses conceitos, falta de entendimento profundo e inconsistência entre aulas e avaliações. Para os fatores relacionados ao eixo da equipe, foi citada como dificuldade principal o ensino centrado no professor. Nota-se nas respostas desses estudantes que a físico-química ensinada apresentava-se como difícil pois os estudantes não viam propósito em estudar a disciplina, uma vez que os conceitos eram muitos e de difícil compreensão, com aulas que pouco os

engajava e avaliações que priorizavam não a demonstração do domínio das ideias abordadas na disciplina, mas tão somente de reproduções de algoritmos de resolução de exercícios e das aulas do próprio professor. Para solucionar esses problemas, os alunos propuseram que as aulas apresentassem conexões com os seus cotidianos, que houvesse consistência entre aulas e avaliações, e que mais atividades de resoluções de problemas fossem utilizadas (SÖZBILIR, 2004).

Já os professores disseram que os estudantes apresentaram dificuldades de aprendizagem devido às diferenças nos conhecimentos prévios e nas condições socioeconômicas, devido à falta de interesse em aprender o conteúdo, devido à baixa motivação apresentada no curso e à presença de estudantes de sucesso, que acaba por intimidar estudantes com dificuldade. Quanto ao curso, a falta de recursos das instituições turcas foi apontada como um problema, com falta de bibliotecas nas instituições, a falta de tutores para auxiliar esses professores e também pelo fato de as aulas das disciplinas serem lotadas. Outras dificuldades do mesmo eixo foram apontadas e são as mesmas relatadas pelos estudantes: A sobrecarga de conteúdos, os métodos de ensino centrados no professor, os conceitos abstratos da disciplina e também os exames que verificam a memorização. Neste ponto, estudantes e professores apresentaram o maior grau de concordância, evidenciando que alguns desses problemas são conhecidos por ambos sujeitos envolvidos nos processos de ensino e aprendizagem. E para o eixo equipe, as respostas dos professores apresentaram-se mais relacionadas às questões institucionais, na medida em que a falta de tempo e suporte, a sobrecarga de trabalho de ensino, a falta de oportunidades de desenvolvimento profissional e o acúmulo de coisas diferentes para fazer foram citados. Na visão dos professores, as propostas de resolução desses problemas estão na mudança de postura desses estudantes, se fazendo mais engajados nas aulas; na melhoria de recursos da instituição, em mudanças curriculares e nas atribuições da equipe docente, entre outros. As propostas de resolução que se mostram iguais às apresentadas pelos estudantes foram a redução da sobrecarga de ensino, o maior envolvimento nas atividades, o melhor uso de laboratório em atividades práticas e mudanças no procedimento de avaliação (SÖZBILIR, 2004). A publicação de Sözbilir mostra-se como uma referência interessante para comparação com novas publicações que investigam dificuldades de ensino e aprendizagem nas disciplinas de físico-química na visão de professores e estudantes e se essa realidade da sala de aula turca de 2004 reflete-se em outras regiões e em tempos mais recentes.

Em 2014, Bain *et. al* expandiram essa discussão, ao analisar 56 estudos relacionados ao aprender e ensinar tópicos de termodinâmica. Os autores buscaram entender quais fatores influenciam o sucesso dos estudantes ao aprender termodinâmica; o entendimento da termodinâmica através de conceitos e representações matemáticas; o raciocínio utilizado para a compreensão da natureza particulada da matéria e quais concepções alternativas os estudantes sujeitos desses estudos apresentaram. Novamente, foram citados trabalhos como os de Nicoll e Francisco (2001), Sözbilir (2004), entre outros, referências também presentes nos trabalhos de Mack e Towns (2016) e Fox e Roehring (2015), evidenciando a escassez na publicação de artigos que abordam pesquisas sobre as dificuldades relacionadas ao aprendizado de físico-química.

Os resultados desta parte da revisão indicam a necessidade de se reavaliar os objetivos delimitados para o ensino de físico-química. Uma unanimidade entre as respostas de professores e estudantes é quanto à dificuldade dos conceitos apresentados e também quanto à quantidade. Faz-se necessária a busca pela compreensão de quais conhecimentos (fatuais, conceituais, procedimentais ou metacognitivos) podem vir a contemplar estes objetivos, como serão avaliados e de que tal forma a instrução/aula será entregue. Tanto nas respostas de professores quanto de estudantes a desmotivação foi um fator apontado nas dificuldades, atrelados tanto ao método de ensino utilizado quanto às avaliações propostas, priorizando principalmente a memorização (SÖZBILIR, 2004). Logo, o recorte de assuntos prioritários, a proposição de outras metodologias de ensino e avaliações que avaliem processos cognitivos de ordens diversas se apresentam como algumas das proposições de resolução para estas questões.

Frente ao exposto, e se tratando do recorte temporal de 2000 a 2019, os poucos artigos identificados neste trabalho de revisão evidenciam as potencialidades de pesquisas na área de Ensino de Química com enfoque nos conhecimentos de Físico-Química. Nesse sentido, na sequência apresenta-se a etapa de revisão sobre o uso da Taxonomia de Bloom (BLOOM *et. al*, 1956) e de outras versões da mesma para o ensino de química a contexto nacional, visto que neste trabalho considera-se que as proposições apresentadas por estes referenciais podem auxiliar os professores a repensarem as suas práticas em termos dos objetivos pretendidos.

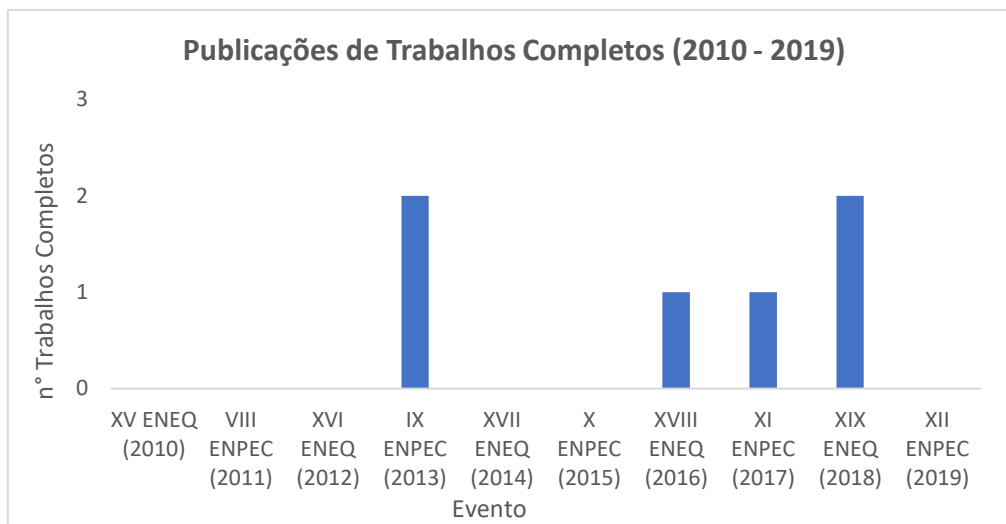


## **2.2 O EMPREGO DA TAXONOMIA DE BLOOM A NÍVEL NACIONAL**

A primeira parte da pesquisa consistiu em procurar saber como a Taxonomia de Bloom (BLOOM *et. al.*, 1956) e a Taxonomia Revisada (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001) vêm sendo trabalhadas no ensino de química e ciências a nível nacional. Posteriormente, buscou-se também saber se, e como tal referencial vem sendo aplicado ao ensino de físico-química, e se tal movimento é também comum ao Ensino Superior. Salienta-se que no Capítulo 3, de Referencial Teórico, serão apresentadas a Taxonomia de Bloom (BLOOM *et. al.*, 1956) e também a Taxonomia Revisada (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001). Como início da busca, voltou-se os esforços para dois dos maiores eventos de divulgação de trabalhos na área de química e de ensino de ciências: o Encontro Nacional de Ensino de Química (ENEQ) e o Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências (ENPEC). Em um segundo momento, ampliou-se o escopo de busca para as revistas nacionais da área. Para finalizar a etapa de revisão, buscou-se o contexto internacional nas bases *Web of Science* e *Scopus*.

### *2.2.1 Encontro Nacional de Ensino de Química e Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências*

Os resultados foram obtidos a partir da procura do termo “Taxonomia de Bloom”, sem aspas, aplicado nas ferramentas de busca próprias dos eventos. Foram considerados apenas os trabalhos completos que apresentam o termo no título ou nos resumos indicados pelas buscas nos anais. Utilizou-se como recorte temporal o período entre 2010 – 2019.



**Figura 2.** Publicações de Trabalhos Completos utilizando a Taxonomia de Bloom e outras versões como temática nos eventos ENEQ e ENPEC entre 2010 e 2019. Fonte: A autora.

Conforme ilustrado na Figura 2, com a revisão nos anais foi possível identificar 6 trabalhos dentro da temática. Nota-se que apesar de ser um referencial há muito conhecido, originalmente publicado ainda nos anos 1950, sua aplicação na área ainda é bastante limitada.

Na IX edição do ENPEC, do ano de 2013, foram encontrados dois trabalhos completos tratando sobre a Taxonomia de Bloom (BLOOM *et. al*, 1956). O primeiro, intitulado “Taxonomia de Bloom como instrumento da prática avaliativa na educação” (TEIXEIRA *et. al*, 2013) apresenta uma aplicação da Taxonomia para o desenvolvimento de uma atividade avaliativa para o Ensino Médio sobre o tema de soluções, e para avaliar como esse assunto foi retratado em duas edições de um livro de mesma autoria. A escolha do tema se deu devido à recorrência deste assunto em provas do Exame Nacional do Ensino Médio – ENEM no período, e portanto, na avaliação dos livros didáticos buscou-se entender como este assunto foi trabalhado através das classes da Taxonomia em uma oficina com estudantes do PIBID. Além disso, os estudantes tiveram a oportunidade de aprender sobre a Taxonomia de Bloom (BLOOM *et. al*, 1956) e sobre a Revisão da Taxonomia (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001), bem como ambas podem ser aplicadas no contexto da sala de aula.

O segundo trabalho deste mesmo evento foi intitulado “O Construcionismo de Papert na criação de um objeto de aprendizagem e sua avaliação segundo a taxionomia

de Bloom” (NUNES; SANTOS, 2013) e teve como objetivo apresentar a utilização de uma ferramenta chamada *Photo Story* para o auxílio de ensino da matemática através de uma narrativa. Neste contexto, a Taxonomia (BLOOM *et. al*, 1956) foi aplicada como referência para avaliar os níveis cognitivos alcançados pelos alunos no decorrer da atividade, cujo resultado final apontou que a maioria dos alunos (13) pôde alcançar até a classe 3 da Taxonomia (aplicação), delimitado pelos professores; 4 alcançaram a segunda classe (compreensão) e outros 3 não alcançaram nenhuma ao não identificar a proposta da atividade.

No ano de 2016 foi publicado um trabalho completo na edição XVIII do ENEQ, intitulado “Perguntas elaboradas por alunos sobre textos científicos: análise da aprendizagem por meio da taxonomia de Bloom” (AGUIAR; SIMONI, 2016). Neste trabalho, os autores buscaram utilizar a Taxonomia (BLOOM *et. al*, 1956) como ferramenta de análise de discurso, usando-a para avaliar o processo de aprendizagem referente à leitura/interpretação de texto desenvolvida pelos alunos de uma turma de terceiro semestre de Engenharia Química em uma disciplina de química analítica. A proposta consistia em apresentar artigos da área para os estudantes, que deveriam realizar a leitura e propor a formulação de perguntas, que seriam posteriormente respondidas por colegas. As perguntas foram analisadas conforme os verbos nela contidos e à classe da Taxonomia a qual pertenciam. A necessidade do desenvolvimento desta atividade se deu como alternativa às aulas experimentais, com o objetivo de instigar a curiosidade e também o envolvimento na atividade pelos alunos, sendo realizada ao longo de 4 encontros.

O trabalho do XI ENPEC (2017), “Aprendizagem Significativa: Análise de uma avaliação diagnóstica estruturada a partir da Taxonomia de Bloom” (RIBEIRO ERROBIDART, 2017) apresenta como objetivo a avaliação diagnóstica de questões elaboradas a partir da Taxonomia de Bloom (BLOOM *et. al*, 1956) e da aprendizagem significativa para avaliação da assimilação de conteúdos relacionados ao estudo do calor. As atividades foram realizadas com alunos do curso técnico em alimentos. Os autores organizaram as questões de forma com que a Taxonomia de Bloom (BLOOM *et. al*, 1956) servisse como referência para a construção daquelas que representassem os domínios de conhecimento, compreensão e aplicação, e o referencial de Ausubel para aquelas do domínio da Análise. As três questões descritas no artigo abordaram os três primeiros

domínios da categoria, e assim foi possível verificar que houve ao longo da atividade uma melhoria na construção dos conhecimentos apresentados pelos estudantes.

Já a edição do XIX ENEQ (2018) apresentou 2 trabalhos. O primeiro foi intitulado “3 VERDADES E 1 MENTIRA: Trabalhando química forense por meio do Role Playing Game” (PINHEIRO *et. al*, 2018). Através de um jogo simulando uma cena de crime, os alunos de ensino médio poderiam interagir realizando testes físico-químicos para avaliar suspeitos. A Taxonomia de Bloom (BLOOM *et. al*, 1956) foi aplicada como método para avaliação do material e como ele poderia auxiliar no processo de ensino-aprendizagem quanto aos níveis de análise e avaliação. Ao final, se concluiu que os alunos puderam alcançar os resultados obtidos pelos idealizadores. Por fim, o último trabalho, de (MACHADO; ORTIZ, 2018) é “Uso da Taxonomia de Bloom Digital Gamificada no Ensino de Química: Reflexões teóricas e possibilidades” e traz em seu contexto a aplicação da Taxonomia de Bloom Digital (CHURCHES, 2009) como referência no processo de gamificação em um cenário de formação de professores, para que possam ter contato com esse tipo de atividade no contexto escolar.

Nota-se que poucas publicações na área de química nestes eventos apresentam a aplicação da Taxonomia de Bloom e que seu uso é bastante variado: como ferramenta avaliativa de desempenho de estudantes (2) e de material (1); ou como referência direta (1) ou indireta para a construção de avaliações e de material didático. Também seu público-alvo de aplicação é bastante diverso: Ensino Médio (2); Ensino Superior (1); Ensino Técnico (1) e Formação de Professores (1). Além disso, a maioria das publicações destes eventos traz como referencial a Taxonomia de Bloom (BLOOM *et. al*, 1956) como preferência frente a outras versões. Desta busca, nota-se que 3 dos 6 trabalhos encontrados utilizam da Taxonomia para o trabalho com assuntos de disciplinas de físico-química. Esse resultado é um indicativo sobre a viabilidade do uso da referência para pesquisas na área de Ensino de Química, com enfoque nos conhecimentos de Físico-Química.

Uma vez que tais eventos têm como objetivo a divulgação das pesquisas de ensino e formação de professores e interação de pesquisadores nas áreas da ciência (no caso do ENPEC) e especificamente na química (no caso do ENEQ), este levantamento denota que mesmo frente a versatilidade para o uso da Taxonomia de Bloom, este referencial foi pouco utilizado nos últimos anos no contexto de ensino de ciências e química, o que possibilita uma gama de possibilidades em nível de pesquisas na área a serem exploradas.

### 2.2.2. Publicações em Revistas e Periódicos Nacionais

Dando continuidade à busca por trabalhos com a Taxonomia de Bloom aplicada ao ensino de química, voltou-se o foco para buscas em revistas e periódicos nacionais da área com extrato de Qualis B1, A2 e A1, no quadriênio 2013-2016, nas áreas de Ensino ou Educação e das revistas da Sociedade Brasileira de Química (SBQ). Para tal, foram considerados artigos publicados durante o período compreendido entre 2010 e 2019, e através da busca por “Taxonomia de Bloom”, considerou-se os resultados que apontavam o termo no título, resumo ou palavra-chave. O Quadro 1 resume as informações obtidas.

**Quadro 1.** Informações obtidas da procura por “Taxonomia de Bloom” nas ferramentas de busca de Revistas e Periódicos Nacionais selecionados.

Revista	Número de artigos
Acta Scientiae – Revista de Ensino de Ciências e Matemática	-
ACTIO: Docência em Ciências	-
Ciência e Educação	-
Ensaio: Pesquisa em Educação Em Ciências	1
Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista (ENCITEC)	-
Experiências em Ensino de Ciências (EENCI)	-
Investigações em Ensino de Ciências (IIENCI)	-
Pro-Posições	-
Química Nova (QN)	-
Química Nova Na Escola (QNEsc)	1
Química Nova Interativa (QNIInt)	-

Revista Brasileira de Educação	-
Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (RBPEC)	-
Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia (RBECT)	1
Revista Prática Docente (RPD)	-
Revista Linhas	-
Revista Thema	-
Revista Virtual de Química (RVq)	-
Total	<b>3</b>

Fonte: A autora.

Na revista Ensaio foi publicado o artigo “Análise de Questões de Física do ENEM pela Taxonomia de Bloom Revisada”, de autoria de Silva e Martins (2014). Como o título sugere, os autores analisaram as questões de física de 5 edições do ENEM e as classificaram entre as classes da Taxonomia, além de avaliar os tipos de conhecimentos presentes nas mesmas. A análise dos dados levou os autores a concluir que para as edições escolhidas, as questões privilegiaram buscar no aluno a melhor desenvoltura de conhecimentos conceituais e que tais questões pertencem aos dois primeiros níveis da Taxonomia Revisada (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001).

Guimarães e Mendonça (2014) publicaram o artigo “Avaliação de habilidades cognitivas em um contexto sociocientífico com foco nas habilidades argumentativas” na QNEsc. Neste, as autoras descreveram a aplicação da metodologia de Estudos de Caso a turmas dos três anos do Ensino Médio e promoveram a avaliação da produção dos alunos segundo o referencial da Taxonomia Revisada (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001) e a qualidade da argumentação presente nessas produções pelo referencial de Stephen Toulmin. Para cada uma das resoluções dos casos, foram atribuídas classificações segundo as classes da Taxonomia referentes a complexidade daquele trabalho realizado pelo aluno. Assim, alunos que alcançaram classes de níveis mais altos da Taxonomia, definidos pelos autores como aqueles que abrangiam uma resolução completa e uma

argumentação e análise sólidas sobre o problema apresentado teriam as qualidades de suas argumentações analisadas segundo Toulmin. A conclusão da atividade foi que a argumentação dos alunos apresentou níveis de baixa qualidade, evidenciando um subdesenvolvimento das habilidades de níveis cognitivos mais baixos.

Já a publicação da RBECT, intitulada “A WebQuest e a Taxonomia de Bloom como uma nova coreografia didática para a educação online” de Paiva e Padilha (2012) é o artigo mais antigo encontrado contendo a temática na área. Nele, os autores apresentam uma análise da aplicação da metodologia de WebQuest como roteiro de pesquisa de conteúdos na internet em um curso ofertado na modalidade à distância através do referencial da Taxonomia de Bloom Digital (CHURCHES, 2009).

Portanto, nota-se que a nível nacional existe um escasso conjunto de publicações fundamentadas na Taxonomia como foco principal para o desenvolvimento de trabalhos na área de ensino de Química, e que se faz presente uma tendência na utilização desse referencial como estrutura de análise para avaliações, como é convergente com a proposta. No caso de revistas e periódicos nacionais, as publicações vêm explorando outras versões da Taxonomia, em especial a revisão de Anderson e Krathwohl (2001). Sendo também tão poucas as publicações deste caráter voltadas para o Ensino Superior, com foco em físico-química. Todavia, acredita-se no potencial de aporte desse referencial e de nível de ensino como temas de pesquisa para a geração de novos debates sobre o ensino de química.

### **2.3 A TAXONOMIA DE BLOOM E A QUÍMICA NO MUNDO**

No que se refere à revisão da literatura, a última parte da pesquisa consiste em procurar visualizar os direcionamentos do uso da Taxonomia no ensino de química em publicações de artigos a nível global. Para realizar a busca, recorreu-se uma vez mais aos bancos de dados da *Web of Science* e *Scopus*. Nas linhas de pesquisa utilizou-se dos termos “*Bloom’s Taxonomy*”, “*Revised Taxonomy*” e “*Taxonomy of Educational Objectives*” acompanhados de “*Chemistry*” para artigos publicados no intervalo de 2010 a 2020. Foram excluídos os resultados de artigos que somente citam os termos relacionados à química e à Taxonomia, mas que não os apresentam no corpo do trabalho. Os artigos restantes que efetivamente são voltados para a aplicação da Taxonomia de Bloom no ensino de Química são apresentados no Quadro 2.

**Quadro 2.** Artigos publicados que apresentam a aplicação da Taxonomia de Bloom no ensino de Química (2010-2020)

Título do Artigo	Revista/Periódico	Ano de publicação	Contexto de aplicação
1. Investigating the relationship between faculty cognitive expectations about learning chemistry and the construction of exam questions	Chemistry Research and Practice	2010	Química Geral
2. Active-learning exercises to teach drug-receptor interactions in a medicinal chemistry course	American Journal of Pharmaceutical Education	2010	Química Medicinal
3. An analysis of the alignment of the Grade 12 Physical Sciences examination and the core curriculum in South Africa	South African Journal of Education	2010	Análise Curricular
4. The examination of secondary education chemistry curricula published between 1957-2007 in terms of the dimensions of rationale, goals, and subject-matter	Educational Sciences: Theory and Practice	2013	Análise Curricular
5. Developing an array binary code assessment rubric for multiple-choice questions using item arrays and binary-coded responses	Journal of Chemical Education	2014	Desenvolvimento de avaliações
6. Doing it for themselves: students creating a high quality peer-learning environment	Chemistry Education Research and Practice	2015	Desenvolvimento de avaliações



7. Simulation Approach to Learning Polymer Science	Journal of Chemical Education	2018	Polímeros
8. The Change in the intended Senior High School Chemistry Curriculum in China: focus on intellectual demands	Chemistry Education Research and Practice	2020	Análise Curricular
9. Inquiry-Based Science Education as a Revision Strategy	Journal of Baltic Science Education	2020	Ensino por Investigação e Reações químicas
10. Influence of formative assessment classroom techniques (FACTs) on student's outcomes in chemistry at Secondary school	Journal of Baltic Science Education	2020	Desenvolvimento de avaliações e Misturas.
11. The intellectual demands of the intended chemistry curriculum in Czechia, Finland, and Turkey: a comparative analysis based on the revised Bloom's Taxonomy	Chemistry Education Research and Practice	2020	Análise Curricular

Fonte: A autora.

O artigo 1 - “Investigating the relationship between faculty cognitive expectations about learning chemistry and the construction of exam questions”, por Sanabrá-Rios e Bretz (2010), teve como objetivo descobrir se o aprendizado conceitual de química era valorizado pelos professores nos objetivos educacionais e, caso afirmativo, como isso seria trabalhado nas avaliações das disciplinas de química geral, de forma alinhada ou não. A classificação tanto dos objetivos quanto das questões dos exames foi feita segundo a Taxonomia de Bloom de 1956 e suas 6 classes (BLOOM *et. al*, 1956). Além disso, as questões dos exames foram categorizadas como questões de definição, do tipo algorítmicas ou de cunho conceitual. Os resultados obtidos da pesquisa mostraram que as questões dos exames refletiam os objetivos educacionais delimitados pelos professores e

que as questões foram distribuídas das 3 formas – com base na definição, em algoritmos ou conceitos dependendo da natureza do tópico a ser trabalhado. As questões selecionadas para os exames mostraram-se alinhadas às categorias da Taxonomia de Bloom: Questões que requerem o conhecimento de definição mostraram correlação com os níveis de Conhecimento e Compreensão (classes 1 e 2); as questões algorítmicas convergem aos objetivos do nível de aplicação (classe 3) e as questões conceituais são correlacionadas aos níveis de análise, síntese e avaliação (classes 4, 5 e 6).

O artigo 2 – “Active-learning Exercises to Teach Drug-Receptor interactions in a Medicinal Chemistry Course”, de Satyanarayanajois (2010), apresenta um trabalho realizado no curso de química medicinal com o uso de atividades de aprendizagem ativa para o ensino de tópicos de química medicinal relacionados ao design de fármacos e suas ações, e cuja avaliação, dada através de testes, teve suas questões elaboradas a partir da Taxonomia de Bloom (BLOOM *et. al*, 1956). O curso, voltado para turmas de doutorado em farmácia, contava com a mescla de aulas na forma de palestra, uso de softwares (especialmente para a visualização 3D das estruturas de moléculas) e gráficos computacionais, sessões de interação usando clickers e debates, e sessões de laboratório. A Taxonomia de Bloom (BLOOM *et. al*, 1956). foi usada como referência para as questões dos testes, que compunham a avaliação, juntamente com quizzes, exercícios de laboratório e trabalho em sala de aula. As questões propostas variavam no estilo entre verdadeiro ou falso, múltipla escolha ou questões abertas. Apesar dos apontamentos dos autores quanto ao bom resultado de aprendizado dos estudantes, não foi mostrado no artigo como a Taxonomia de Bloom foi utilizada no contexto.

O artigo 3 – “An analysis of the alignment of the Grade 12 Physical Sciences examinations and the core curriculum in South Africa” (Edwards, 2010), apresenta uma análise sobre a convergência entre documentos de avaliação com documentos curriculares centrais para o ensino de química e física no Ensino Médio da África do Sul. O nível de alinhamento foi verificado de forma quantitativa, através de estatística, e qualitativa, utilizando a Taxonomia Revisada (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001) para análise dos processos cognitivos representados nestes documentos. A análise curricular de química para este nível de ensino mostra que uma grande ênfase de conceitos é dada para o processo cognitivo de relembrar (48,8%), seguido por entender (37,5%) e aplicar (10%). Quanto aos exames, foi notada uma discrepância grande quanto às classes, uma vez que a de relembrar mostrou-se sub-representada enquanto houve uma grande expressão para

as classes de entender e aplicar. Além da discrepância de processos cognitivos na análise curricular e nos exames, outros apontamentos quanto aos assuntos as disciplinas e aspectos históricos foram feitos para justificar os resultados dos estudantes da África do Sul em avaliações internacionais de ciências e matemática.

O artigo 4 – “The Examination of Secondary Education Chemistry Curricula Published Between 1957 – 2007 in terms of the Dimension of Rationale, Goals and Subject-Matter”, de autoria de Pekdag e Erol (2013), voltou-se para analisar 15 currículos de educação química para o ensino secundário da Turquia em um intervalo de 50 anos em termos de justificativas, metas e assuntos. A Taxonomia de Bloom (BLOOM et. al, 1956) foi aplicada para analisar as metas estabelecidas nos currículos, particularmente analisando a quais dos três domínios (cognitivo, psicomotor ou afetivo) se encaixariam essas metas. Ao analisar as metas de 11 dos 15 currículos, a distribuição de metas estabelecidas pelos currículos e encontradas pelos autores foi de: ganho de conhecimento (44.2%) – relacionada ao domínio cognitivo; ganho de habilidades (34.6%) – relacionada ao domínio psicomotor e desenvolvimento de atitude (21.2%) – relacionada ao domínio afetivo. Os autores notaram, no entanto, que os currículos nem sempre mantiveram um foco tão grande nas metas de cunho cognitivo, e que na era dos currículos de ensino com enfoque construtivista, por exemplo, a ênfase dada aos três domínios prezava pela equidade.

O artigo 5, do ano de 2014 - “Developing an array binary code assessment rubric for multiple-choice questions using item arrays and binary-coded responses” (HARO, HARO; 2014), apresenta um novo sistema para avaliações de múltipla escolha utilizando código binário nas tabelas de respostas para representar o item associado na questão como tentativa de ampliar a possibilidade de avaliações para além do formato padrão de 5 questões como respostas possíveis. Segundo os autores, um sistema que utilize de outro formato para este tipo de avaliação permite o trabalho com questões mais amplas, e justifica-se essa necessidade para a obtenção de uma melhor compreensão sobre as percepções dos estudantes sobre os assuntos trabalhados. É justificado no artigo que a aplicação desta rubrica para avaliação permite que níveis mais altos das classes da Taxonomia de Bloom (BLOOM et. al, 1956) (embora o trabalho seja apresentado segundo as classes da Taxonomia Revisada (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001) possam ser compreendidos nas avaliações de múltipla escolha, não somente aqueles das classes mais baixas (referentes à categoria do conhecimento e da compreensão, como em

questões de múltipla escolha padrão). O artigo mostra exemplos de questões utilizando desta rubrica para avaliações de tópicos diversos de química, como química geral, analítica e química orgânica, cujas respostas, envolvendo átomos, moléculas e números para coeficientes estequiométricos e cálculos são dispostos em um arranjo com opções diversas a disposição da escolha do estudante. A Taxonomia Revisada (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001) é utilizada aqui como referência para a construção das questões. Assim, para a questão da categoria do conhecimento, o estudante deve recordar da memória qual dos símbolos químicos presentes representa o átomo de sódio; para a questão da classe de compreensão foi proposto que escolhessem entre as opções aquela que representaria a fórmula química para o butano, e assim por diante, passando por toda a Taxonomia. Como resultado da aplicação de uma avaliação com mais do que 5 opções para questões de múltipla escolha, notou-se uma diminuição nas notas dos testes dos estudantes, uma vez que a probabilidade para acertos via mecanismos de “chutes” diminui com o aumento de itens. Os autores relataram que problemáticas envolvendo a implementação da rubrica de avaliação deveriam ser sanadas com práticas de preenchimento pelos estudantes, um planejamento para considerar o tempo extra para preenchimento das elipses e arranjos prévios para prováveis erros de preenchimento e para facilitar o processo de correção das avaliações por parte dos professores.

No artigo 6 - “Doing it for themselves: students creating a high quality peer-learning environment” (GALLOWAY; BURNS, 2015), os autores buscaram avaliar as contribuições da aprendizagem aos pares em um sistema online onde os estudantes elaboram, respondem e avaliam as questões formuladas por eles mesmos. A plataforma *PeerWise* foi utilizada como meio onde os estudantes fariam tarefas para ajudá-los na revisão de conteúdos e também para prepará-los para os exames finais do módulo de química no Ensino Superior (GALLOWAY; BURNS, 2015). Avaliou-se a correlação do engajamento dos estudantes na plataforma com as notas finais e características sobre a qualidade das questões e soluções criadas. A Taxonomia Revisada (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001) foi utilizada como referencial para classificação do nível cognitivo das questões elaboradas. Assim, um grande número de questões da classe “Aplicar” foram propostas, representadas por problemas que envolvem um cálculo numérico ou a aplicação de um determinado tipo de conhecimento. Questões que poderiam ser classificadas segundo as classes de “Entender” e “Avaliar” aparecem em destaque também. Os resultados demonstram um grande engajamento dos estudantes com

relação às tarefas da plataforma, e que a proposta foi avaliada como um sucesso, na medida em que as questões e soluções apresentadas foram classificadas como de qualidade, estruturadas de forma coerente e correta e exigindo de processos cognitivos de mais alto nível. Juntamente com a análise de outros fatores, os resultados obtidos apontaram para uma contribuição positiva do uso da plataforma para o aprendizado dos estudantes.

O artigo 7 demonstra um salto no intervalo entre as publicações. Do ano de 2018 (AL-MOAMERI *et. al*, 2018), o “Simulation Approach to Learning Polymer Science” apresenta uma proposta de livro didático e que faz o uso de simulações para o ensino de tópicos de engenharia de polímeros, devido a uma defasagem entre o conteúdo coberto pela literatura e as aplicações práticas e de pesquisa nestes tópicos. Segundo os autores, a cobertura dada pelos livros nos tópicos de polímeros – entre apresentação de monômeros comuns, estruturas, propriedades, reações de polimerização, etc é pertencente aos níveis das classes de relembrar e entender da Taxonomia de Bloom. A reformulação pelo ensino de simulações é descrita pelos autores como capaz de atender a classes superiores da Taxonomia, com criação, manipulação e manutenção de programas de computador que possam resolver problemas pertinentes à engenharia de polímeros. São propostas atividades com programação dos códigos para cada um dos níveis da Taxonomia (os autores apresentam a sequência da Taxonomia Revisada (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001), mas referenciam a Taxonomia original (BLOOM *et. al*, 1956)).

No artigo 8 – “The change in the intended senior high school chemistry curriculum in China: Focus on intellectual demands”, Wei (2020) apresenta uma análise histórica de currículos de química para o Ensino Médio da China. Utilizando da Taxonomia Revisada (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001), Wei (2020) demonstra a mudança de ênfase entre os objetivos de aprendizagem cognitiva com relação aos tipos de conhecimentos e classes taxonômicas empregadas nos documentos curriculares ao longo de 2 décadas (1996, 2003 e 2018) e como as orientações curriculares associam-se aos resultados esperados. A Taxonomia Revisada (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001) foi utilizada como referência para a análise de conteúdo dos 3 documentos, considerando os 4 tipos de conhecimento e as 6 classes de processos cognitivos. Quanto aos tipos de conhecimentos, de 1996 a 2003 há um grande aumento na ênfase de conhecimentos do tipo factuais e procedimentais e uma expressiva diminuição na ênfase de conhecimentos conceituais, vista também de 2003 a 2018. O currículo de 2018 apresenta uma diminuição no enfoque

factual, compensado por um leve aumento no enfoque conceitual e procedimental, e uma pequena expressão do conhecimento meta-cognitivo, aparecendo pela primeira vez no currículo. A justificativa para essas mudanças se deu como uma tentativa de tornar os conteúdos dos currículos mais próximos da vida cotidiana (através do aumento do conhecimento factual), e menos avançados em teoria (pela diminuição dos conhecimentos conceituais), mas que pudessem também promover atividades de investigação científica e pensamento sobre o papel da química (expressas pelo aumento na presença de conhecimentos procedimentais e metacognitivos). Já quanto às classes, nota-se uma grande mudança do currículo de 1996 até o mais atual. Se em 1996 a ênfase era para as duas classes inferiores, com pouca ou nenhuma expressão para classes superiores da Taxonomia e quase  $\frac{3}{4}$  do currículo representado pelo processo de relembrar, em 2018 essa influência das primeiras classes da Taxonomia diminuiu drasticamente, com representações dos 6 diferentes processos cognitivos presentes, e mais espaço para os processos cognitivos de analisar, entender e aplicar, respectivamente. Essa mudança, no entanto, se mostrou gradual, uma vez que em 2003 o currículo apresentado trocou a ênfase no processo de relembrar para entender, e com os demais processos aparecendo de forma modesta, evidenciando portanto uma grande influência das classes inferiores. Novamente, a mudança na distribuição dos processos cognitivos ao longo do tempo foi guiada pela mudança na proposta de um currículo que trabalhasse a investigação científica e o pensamento crítico de alunos, entre outros (WEI, 2020). Nesse estudo, o autor mostra que a mudança em um currículo de uma abordagem menos técnica para mais generalista não deixa de ser mais desafiadora quanto aos processos de ensino e aprendizagem, e que pode apresentar objetivos mais variados e que levem a habilidades de ordem superior.

No artigo 9 – “Inquiry-based science education as a revision strategy” Sotáková et al. (2020) investigaram os efeitos do ensino baseado em investigação na aplicação de atividades trabalhando a temática de reações químicas na educação básica (baseado na idade dos sujeitos, seria o equivalente aos últimos anos do ensino fundamental no Brasil). Com base em evidências sobre a performance média dos alunos da Eslováquia em avaliações internacionais, observou-se que processos cognitivos de classes inferiores (1 e 2) eram alcançadas pelos estudantes ensinados através de abordagens tradicionais de ensino quanto aos seus conhecimentos e habilidades. Como proposta de trabalho os autores propuseram 5 atividades de revisão baseadas na investigação por confirmação e no modelo Educacional 5E (Engajar, Explorar, Explicar, Elaborar, e Avaliar) como

tentativa de promover o desenvolvimento destes conhecimentos e habilidades nas classes superiores para a temática “mudanças nas reações químicas” e prês e pós-testes baseados na Taxonomia Revisada (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001) para avaliar os resultados de aprendizagem após-revisão. Os testes consistiam de 10 itens cuja distribuição em termos de conhecimento se deu da seguinte forma: 8 itens de conhecimento conceitual e os outros dois para conhecimento factual e procedimental e em termos de processos cognitivos foram 4 questões para entender, 4 para aplicar, 1 para lembrar e 1 para analisar, compreendendo assim, as 4 primeiras classes da Taxonomia, com metade das questões de múltipla escolha e a outra com questões abertas. Os resultados após a aplicação do pós-teste evidenciaram que os estudantes pertencentes às turmas onde foram feitas as atividades de investigação obtiveram resultados mais altos em questões de conhecimento conceitual e de processos cognitivos superiores frente àqueles estudantes das turmas onde não foram realizadas estas atividades, evidenciando que é possível obter resultados de aprendizagem mais profunda quando o estudante torna-se ativo durante o processo.

No artigo 10 – “Influence of formative assessment classroom techniques (FACTs) on students’ outcomes in chemistry at Secondary school” de Babinčáková et al. (2020) apresenta mais um exemplo de aplicação da Taxonomia Revisada (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001) como instrumento de avaliação de conhecimentos e habilidades de estudantes em testes. A proposta dos autores foi destacar a importância do trabalho com avaliações de caráter formativo para o desenvolvimento destes conhecimentos e habilidades em classes de processos cognitivos superiores. O grupo de sujeitos, de 12 a 13 anos composto por 202 estudantes da Educação Básica da Eslováquia (Nível K7, equivalente ao 7º ano do Ensino Fundamental no Brasil) foram separados em dois grupos – um de controle, e um experimental. Para o grupo experimental foram aplicadas atividades de avaliação formativa para o ensino do tópico de misturas, que define conceitos como substância, mistura, soluto, solvente, métodos de separação, composições das misturas e outros. Inicialmente, como demonstrado no pré-teste, tanto quanto aos conhecimentos de química como demais habilidades as turmas mostraram-se com resultados equivalentes. Assim, randomicamente foram separadas em turma controle e turma experimental, que após 10 aulas sobre misturas, foram novamente avaliadas em um pós-teste quanto ao conteúdo e um questionário sobre as atividades empregadas durante este período. Para a turma experimental, as atividades com avaliações de cunho formativo

foram desenvolvidas através de declarações de verdadeiro ou falso, mapas conceituais entre outros. A Taxonomia Revisada de 2001 foi então aplicada no pós-teste, com as dez questões declaradas, tal como nas primeiras 4 classes da Taxonomia. Assim, foram aplicadas 6 questões de múltipla-escolha aos níveis de lembrar, entender e analisar, 1 questão de ordenação, em nível de entender, 2 questões abertas, aos níveis de entender e aplicar e 1 questão de escala diferencial semântica, no nível de lembrar. O questionário aplicado junto pretendia avaliar a percepção dos estudantes do grupo experimental quanto à experiência das atividades com avaliação formativa. Os resultados obtidos de forma estatística demonstraram significativa variação entre o grupo de controle e o experimental, com este último tendo se saindo muito melhor na pontuação média do pós-teste em todas as questões, e portanto, em todos os níveis da Taxonomia empregados. Também os resultados obtidos da análise dos questionários evidenciam que as práticas de avaliação formativa foram bem recebidas. Os autores concluem, no artigo, que é importante adicionar a avaliação formativa à avaliação somativa na prática diária de aprendizagem, uma vez que os estudantes conseguem desenvolver conhecimentos e habilidades em diversos níveis ao receberem retornos contínuos do seu desempenho nas atividades.

O último artigo encontrado, de número 11, foi intitulado como “The intellectual demands of the intended chemistry curriculum in Czechia, Finland, and Turkey: a comparative analysis based on the revised Bloom’s Taxonomy” (ELMAS, *et. al*, 2020). Aqui, a Taxonomia Revisada de 2001 representa um papel central, como referência para a análise curricular da química em nível de Ensino Médio nestes 3 países. A escolha da investigação curricular nestes países especificamente partiu de fatores diversos, tais como quantidade de períodos de química por semana nas escolas, quantidade de aulas obrigatórias de química, integração com períodos de matemática, salário médio de professores entre outros, tal como a média dos estudantes no PISA (Programa Internacional de Avaliação de Alunos), onde a Finlândia se destaca no topo do ranking de alfabetização científica, a República Tcheca com um resultado médio e a Turquia com desempenhos abaixo da média (ELMAS *et. al*, 2020). A flexibilidade curricular em cada país também foi trazida para discussão, com a Turquia apresentando documentos orientadores de currículos mais rígidos quanto a assuntos disciplinares e resultados esperados e a República Tcheca e a Finlândia com uma maior flexibilização a partir do documento central. Quanto aos destaques curriculares nos 3 países, Elmas *et al.* (2020)



declararam que no currículo de química para o Ensino Médio da República Tcheca segue os mesmos padrões desde 1989. Ao longo de 3 anos, os estudantes têm contato com 2 a 3 aulas de química por semana nas quais são apresentados a um grande número de assuntos da disciplina, direcionada pelas seleções das universidades do país. Já no caso da Finlândia, o currículo central de 2015 fornece conteúdos e temas que podem a vir ser trabalhados através de ensino por investigação e outros métodos ativos, incentiva a tecnologia digital e é usado como referência para a construção de currículos locais, de acordo com as necessidades de cada região, sendo que somente 1 dos 5 currículos de química é obrigatório – “a química ao redor” que apresenta 3 objetivos do domínio cognitivo. E para o caso da Turquia, o currículo de 2018 é desenvolvido com base em temáticas, e para cada nível, existem unidades com uma quantidade variada de objetivos. Os currículos foram então analisados em ambas dimensões da Taxonomia Revisada de 2001 – os objetivos declarados foram categorizados quanto à dimensão cognitiva e aos tipos de conhecimento contidos. A análise dos documentos curriculares demonstrou que o currículo da República Tcheca apresenta muitos objetivos pertencentes ao nível da classe de aplicação (40%), com alguns nos níveis de entender e avaliar (20%), e nenhum objetivo nos níveis de lembrar ou criar. Já quanto aos conhecimentos, há uma predominância de itens conceituais (53,3%) e procedimentais. Nenhum item de conhecimento factual ou metacognitivo foi encontrado. O currículo da Finlândia também apresenta uma grande predominância do processo cognitivo de aplicar (47,1%), seguidos de criar (23,5%) e entender (17,6%). Não foram encontrados registros correspondentes ao nível de lembrar. Quanto aos tipos de conhecimentos, os objetivos priorizam os conceituais (41,2%) e procedimentais (35,3%), e em menor expressão, os metacognitivos (23,5%). Não foram encontrados registros de conhecimentos factuais. E o currículo da Turquia apresenta-se majoritariamente focado em processos cognitivos de entender (77,2%), analisar (7,1%) e aplicar (7,1%) e aparecendo em menor expressão os processos de lembrar (4,7%). Também nota-se uma predominância de conhecimentos conceituais (59,8%), seguido dos procedimentais (29,1%), factuais (7,1%) e em menor quantidade, conhecimento metacognitivo (3,9%). Assim, foi possível perceber que níveis mais altos das classes da Taxonomia, referentes a analisar, avaliar e criar – aparecem em maior expressão nos currículos da Finlândia, República Tcheca e Turquia, respectivamente. E que há similaridades nos 3 currículos quanto ao enfoque no conhecimento conceitual e procedimental, enquanto características dos currículos de química e física. Quanto às diferenças nos enfoques dos objetivos, algumas hipóteses levantadas para a grande

divergência entre o currículo da Turquia (majoritariamente composto por objetivos cujos itens são pertencentes à categorias de processos cognitivos mais baixos) em relação aos outros dois é de que os currículos da Turquia são separados por ano, apresentando 127 objetivos, e é guiado pela premissa de admissão em exames de Universidades, ao passo em que na República Tcheca e na Finlândia, os currículos contém um número menor de objetivos (15), declarados de forma mais geral, e através de unidades temáticas, possibilitando assim uma maior flexibilidade a ser explorada pelas escolas e professores. Através das pontuações médias de estudantes de Ensino Médio nas avaliações internacionais apontadas anteriormente, a conclusão que os autores chegam é a de que países que apresentam currículos de química com objetivos focados em classes superiores de processos cognitivos apresentam melhores resultados.

Evidencia-se a utilização da Taxonomia como estrutura teórica de referência para análise curricular, presente em 4 dos 11 trabalhos apresentados e para o desenvolvimento de avaliações em 3. Há também uma grande expressão de aplicação deste referencial para a Educação Básica (Ensino Fundamental e Médio), em 6 trabalhos. A Taxonomia Revisada de 2001 mostra-se como referencial principal utilizado, em comparação à Taxonomia de Bloom de 1956. Frente a estes resultados, percebe-se uma maior aceitação pela revisão, evidenciando a importância das contribuições trazidas por Anderson e Krathwohl na Taxonomia Revisada de 2001. Tal como na maioria dos relatos da literatura, nesta pesquisa o referencial adotado também é o da Taxonomia Revisada (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001). Os pressupostos teóricos sobre ambas as Taxonomias descritas acima constam no capítulo de referencial teórico desta dissertação.

### **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

Neste capítulo serão apresentadas a Taxonomia de Bloom (1956), a Taxonomia Revisada (2001), as metodologias ativas e os assuntos da termodinâmica clássica selecionados para a elaboração deste trabalho.

#### **3.1 A TAXONOMIA DE BLOOM**

A Taxonomia dos Objetivos Educacionais ou Taxonomia de Bloom, é uma proposta desenvolvida por Benjamin Bloom e colaboradores em 1956 para delimitar objetivos educacionais, a fim de que estudantes, professores e demais profissionais da educação possam ter uma clareza maior sobre quais metas devem ser alcançadas pelos estudantes durante o processo de aprendizagem e também sobre o desenvolvimento de avaliações no planejamento curricular (BLOOM *et. al*, 1956).

A Taxonomia pode ser aplicada de diversas formas e propósitos. Uma aplicação, reportada na publicação de 1956, aponta o uso das classes presentes como estrutura de referência para análise de processos educacionais. Para tal, os objetivos educacionais devem ser apresentados em termos classificáveis e não-vagos. Como exemplo, se um processo educacional dita que um objetivo a ser alcançado pelo estudante é o de “desejável cidadão”, declarado de forma vaga, então este objetivo não pode ser classificável pelo sistema (BLOOM *et. al*, 1956). Exemplos dessa aplicação para a Taxonomia foram reportados na sessão de revisão bibliográfica deste trabalho de dissertação.

A ideia original para a criação da Taxonomia surgiu da reunião de examinadores universitários na convenção da Associação Psicológica Americana, em Boston, no ano de 1948, com a intenção de desenvolver uma estrutura de referência para facilitar a comunicação entre examinadores (BLOOM *et al*, 1956). O resultado da discussão levou à elaboração de um sistema de classificação de metas dos objetivos educacionais – a Taxonomia. Ao desenvolvê-la, os autores empenharam-se em uma tentativa de padronizar o uso de termos ambíguos utilizados nos processos educacionais da época, como “resolução de problemas”, entre as diferentes instituições, permitindo assim a comparação entre similaridades e diferenças de metas educacionais nestes espaços de ensino e também uma possível troca de dados, podendo-se obter um panorama sobre a efetividade dessas instituições de ensino (BLOOM *et. al*, 1956). O sistema criado explora

a aprendizagem através de perspectivas diferentes, sendo elas representadas pelos domínios cognitivo e afetivo. O cognitivo refere-se aos objetivos de lembrar e reconhecer conhecimento e ao desenvolvimento de habilidades intelectuais e destrezas – e apresenta-se como foco de estudo deste trabalho. Já o afetivo descreve mudanças em interesses, atitudes e valores e o desenvolvimento e apreciações e adequados ajustes (BLOOM *et. al*, 1956).

Sendo assim, a Taxonomia de Bloom foi criada para se mostrar como uma classificação de comportamentos estudantis que representam os objetivos pretendidos no processo educacional (BLOOM *et. al*, 1956). O comportamento estudantil desejado é apontado pelos autores como o resultado da participação de uma unidade instrucional no que se refere a formas de agir, pensar ou sentir. Ao final de uma dada instrução, os comportamentos desejados delimitados pelos objetivos são alcançados pelos estudantes em diversos níveis, com os sujeitos podendo desenvolver as habilidades desejadas de forma total, parcial ou não desenvolver em nível nenhum (BLOOM *et. al*, 1956). Ressalta-se que os ditos comportamentos desejados descritos por Bloom e colaboradores estão sujeitos às ideias compartilhadas pela sociedade da época em que o trabalho fora publicado.

### *3.1.1 Os objetivos educacionais*

A seqüência da Taxonomia foi construída em cima da premissa de que a classificação deve ser feita a partir de comportamentos mais simples, e evoluir de forma progressiva até os mais complexos, sem, no entanto, ignorar a presença dos comportamentos mais simples em níveis superiores. Essa progressão no sistema taxonômico aplicado ao processo educacional é representada através de seis grandes classes na qual a Taxonomia de 1956 está organizada. São elas: 1) conhecimento; 2) compreensão; 3) aplicação; 4) análise; 5) síntese e 6) avaliação. Isto é, há uma evolução na complexidade com que as situações de aprendizagem são apresentadas aos estudantes, com objetivos mais exigentes e comportamentos esperados mais rigorosos quanto a articulação dos sujeitos. Declarados os objetivos educacionais, são esperadas mudanças nas formas de pensar, sentir e agir dos estudantes durante o processo educacional, e tais objetivos podem ser formulados pelos professores de formas diversas: a partir de experiências prévias, das informações sobre o conhecimento prévio dos estudantes, dos interesses e demandas da sociedade contemporânea, e também das contribuições que o assunto em questão pode trazer para o indivíduo – pois há de se refletir afinal sobre quais

são os benefícios de se explorar determinado conteúdo. E por último, os autores recomendam que os objetivos educacionais devam estar relacionados a alguma psicologia de aprendizagem, de forma com que o professor ou a equipe de ensino envolvida tenha uma maior clareza sobre quais objetivos podem ou não ser alcançados sob determinadas condições – em termos de tempo disponível, de sujeitos envolvidos, entre outros, permitindo assim que se estabeleça uma sequência de aprendizagem e uma visão clara da disposição e inter-relação entre os objetivos (BLOOM *et. al*, 1956). Em suma, trata-se a Taxonomia não como um produto pronto, mas como um modelo de referência presente para auxiliar os professores na análise sobre suas práticas educacionais.

### 3.1.2 As classes Taxonômicas

A partir da listagem dos objetivos educacionais mais mencionados pelos processos da época, foram elaboradas as seis classes taxonômicas. A primeira delas, o conhecimento (*Knowledge*) distingue-se das demais ao apresentar-se como uma classe representada por comportamentos mais simples, tais como lembrar e reconhecer. As demais classes são apontadas pelos autores como as que lidam com comportamentos ligados a habilidades e destrezas do aluno. Assim, a classe do conhecimento tem por objetivo traçar situações avaliativas nas quais os alunos possam utilizar de conhecimentos previamente aprendidos através da memorização e da aprendizagem mecânica, e que se mostram também como válidos para diversas situações de aprendizagem. A inclusão deste nível na Taxonomia também foi justificada por apresentar objetivos frequentemente selecionados nos currículos escolares, independentemente da avaliação de sua eficácia.

A classe do conhecimento também apresenta subclassificações referentes ao nível de dificuldade ao lembrar ou reconhecer um determinado assunto ou a sua natureza de estudo – do objetivo ao subjetivo, por exemplo. Lembrar conhecimentos específicos é, portanto, uma subclassificação do conhecimento mais simples do que do conhecimento de teorias, mas a forma como esse conhecimento relaciona-se a demais informações em um contexto também deve ser considerada, uma vez que será mais fácil para o aluno reter uma determinada informação específica se esta vier junto a uma generalização maior pertencente a um fenômeno ao invés de somente buscar dificultosamente pela memorização de informações específicas sem conexão (BLOOM *et. al*, 1956), portanto, também existe uma preocupação sobre como este conhecimento será explorado pelo aluno e a sua aplicabilidade. A importância desta classe para o processo de aprendizagem reside na ideia de que a classe do conhecimento abarca um nível básico de informações

que o indivíduo deve possuir a fim de trabalhar ou desenvolver habilidades e destrezas prossequintes – com os termos “habilidades e destrezas” que futuramente serão explicados quanto ao sentido. Como exemplo, os autores citam a capacidade de resolver problemas e a dependência que estas situações possuem com as informações que os estudantes já detêm a fim de resolvê-las e assim realizar demais processos como julgamentos de adequação ou de precisão das resoluções. Assim, os objetivos englobados pela classe do conhecimento posicionam-se como pré-requisitos para a continuidade no processo taxonômico (BLOOM *et. al*, 1956).

A etapa seguinte ao conhecimento e obtenção de informações e afins envolve a articulação deste conhecimento em novas situações e problemas. Ao falar sobre o desenvolvimento de destrezas e habilidades, os autores referem-se à resolução de problemas e pensamento crítico como expressões equivalentes a essa. Trata-se, portanto, da preparação do indivíduo para o exercício de suas próprias decisões baseadas no seu intelecto.

A classe 2 da Taxonomia é a da compreensão (*Comprehension*). Esta classe está relacionada à comunicação relacionada a um dado tópico ou informação. É como o estudante traduz, interpreta ou faz extrapolações baseadas em um único contexto (BLOOM *et. al*, 1956). Um estudante demonstra o domínio da compreensão e da tradução quando ele consegue reformular uma situação com suas próprias palavras, trazendo exemplos para ilustrações, quando lê um enunciado de um problema declarado verbalmente e consegue traduzir para uma relação matemática e vice-versa ou claro, quando consegue traduzir por conta própria uma poesia de uma língua para outra (BLOOM *et. al*, 1956). Um sujeito interpreta quando é apresentado a uma dada mensagem e consegue reter as ideias principais, fazendo generalizações apropriadas, e dá sentido às mesmas. Por último, a extrapolação é verificada quando, após feitos processos de tradução e interpretação de uma mensagem, o estudante consegue expandir as declarações feitas pelo autor, identificando lacunas ou fazendo predições de continuações e tendências com base nos dados apresentados na mensagem (BLOOM *et. al*, 1956).

A classe 3, aplicação (*Application*), trabalha os conhecimentos previamente compreendidos - como métodos, regras, teorias, princípios e abstrações em geral - aplicados em novas situações que não apresentam nenhum tipo de orientação para uma possível solução. O sucesso da aplicação de assuntos compreendidos requer que o

estudante aprenda conceitos e generalizações aplicáveis a mais situações do que em momentos específicos, que aprenda a resolver problemas e que tenha autoconfiança (BLOOM *et. al*, 1956). Se encaixam como exemplos de aplicação os momentos em que os estudantes conseguem aplicar princípios científicos, postulados ou teoremas a novas situações ou quando consegue aplicar fenômenos discutidos por um artigo em outros artigos (BLOOM *et. al*, 1956). Nota-se, portanto, que a categoria de aplicação começa a desenvolver em um nível mais avançado a autonomia e a postura que um estudante deve demonstrar em novas situações.

A análise (*analysis*), classe 4, refere-se à quebra de um material em suas partes constituintes, percebendo a relação entre eles, onde se estuda a intencionalidade de um material. Existe, portanto, uma preocupação com o estudo do conteúdo e da forma de comunicação. De forma progressiva, os objetivos englobados pela análise esperam que o aluno identifique elementos presentes na comunicação de um material, em seguida que consiga determinar as relações entre esses elementos e por último que faça uma análise da estrutura e da comunicação como um todo (BLOOM *et.al*, 1956). Pode-se também perceber a análise como uma etapa prévia necessária ao trabalho de síntese.

A quinta classe é a de síntese (*synthesis*). Os objetivos desta classe são elaborados a partir da ideia principal de juntar elementos para formar um todo e assim apresentar um produto novo diferente do ponto de partida inicial. Trabalha-se as habilidades de síntese quando deseja-se comunicar ideias a outros, seja para informar, para instruir um conjunto de operações ou para obter um conjunto de relações abstratas a partir de uma análise (BLOOM *et. al*, 1956). Não se limita, portanto, às habilidades de escrita, e engloba objetivos de comportamentos estudantis desejáveis a todos os níveis de ensino. São as composições, escritas ou faladas, os planejamentos para a elaboração de uma instrução e formulações de teorias e hipóteses apropriadas alguns exemplos destes objetivos.

Por último, encontra-se a classe de avaliação (*Evaluation*). A avaliação está relacionada a fazer julgamentos de valor sobre ideias, trabalhos, soluções, métodos e materiais (BLOOM *et. al*, 1956), e posiciona-se no topo do sistema taxonômico por abranger todas as demais classes apresentadas anteriormente e ser a ponte entre o esquema cognitivo e afetivo. A capacidade de avaliação relaciona-se mais à análise de um fenômeno e o julgamento com base em critérios ao invés de uma rasa opinião informada. Quando estudantes utilizam de regras para avaliar um determinado material, quando são

apontadas inconsistências em uma declaração ou quando é possível comparar um material com uma referência do mesmo assunto são aplicados os objetivos da avaliação (BLOOM *et. al*, 1956). Na Figura 3 é ilustrado o esquema organizacional da Taxonomia dos Objetivos Educacionais.



**Figura 3.** Esquema organizacional da Taxonomia de Objetivos Educacionais de 1956. Fonte: A autora.

A Taxonomia dos Objetivos Educacionais serviu de referência internacional por muitos educadores na implementação de currículos e avaliações durante o século XX (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001). Dada a sua relevância enquanto uma tentativa de estrutura orientadora para o esboço de currículos e avaliações, e, portanto, adaptável conforme a proposta original, versões alternativas da mesma foram propostas buscando atualizá-la conforme os avanços nas pesquisas relacionadas às formas de aprender e ensinar apresentadas pelo ramo da psicologia da educação. Krathwohl, colaborador da publicação original de Bloom, juntamente a Anderson, publicaram em 2001 uma versão oficial de revisão da Taxonomia.

### **3.2 A REVISÃO DA TAXONOMIA**

Anderson e Krathwohl (2001) publicaram uma revisão da estrutura da Taxonomia original 45 anos após a sua publicação. Segundo os autores, a revisão se fez necessária por dois motivos. O primeiro deles é ressaltar a importância do trabalho realizado em 1956 quanto à sua aplicação no desenvolvimento e implementação de currículos,



avaliações e demais programas, e o outro motivo é atualizar a proposta da Taxonomia quanto às novas teorias associadas à psicologia da educação. Como produto final das reuniões do novo grupo responsável pela sua elaboração, uma tabela abrangendo um conjunto reorganizado e renomeado das classes e divisões de conhecimento foi proposta.

### 3.2.1 A Tabela Taxonômica

O Quadro 3 ilustra a nova versão da Taxonomia que se apresenta através de um caráter bidimensional, com suas dimensões compostas pelas seis classes do domínio cognitivo - as colunas, que são representadas através dos verbos presentes nos objetivos educacionais; e pelas divisões do conhecimento, cujas linhas se encarregam de descrever quatro subcategorias de conhecimento possivelmente compreendidos pelos objetivos delineados e que se materializam nestes através de substantivos.

A aplicação da Taxonomia Revisada se dá através da análise do currículo ou de demais documentos de planejamento, e de avaliações (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001). Ao pensar na sua aula, o professor deve se perguntar sobre o que realmente vale a pena ser ensinado considerando o tempo e cenário destinado para determinada atividade, e tal resposta não é obtida de forma simples. O uso da tabela taxonômica, no entanto, se propõe a facilitar a análise deste planejamento de maneira descomplicada, tal que o professor possa avaliar quais são os objetivos educacionais mais importantes para aquela estratégia de ensino e quais outros poderiam estar presentes, provendo um melhor entendimento sobre o currículo ou avaliação e possibilitando que o professor descubra e avalie as diferentes possibilidades a serem exploradas durante o processo de ensino e aprendizagem. Enquanto ferramenta de análise para etapas de planejamento, o principal objetivo da tabela é promover a convergência entre os objetivos pretendidos com a aula e a avaliação, eximindo o professor da preocupação quanto à correta associação dos objetivos declarados à posição na tabela (ANDERSON, KRATHWOHL, 2001).

**Quadro 3.** Tabela Taxonômica proposta por Anderson e Krathwohl (2001).

Dimensão do	Dimensão dos Processos Cognitivos					
Conhecimento	1. relembrar	2. entender	3. aplicar	4. analisar	5. avaliar	6. criar
conhecimento factual						

conhecimento conceitual						
conhecimento procedimental						
conhecimento metacognitivo						

Fonte: (ANDERSON, KRATHWOHL, 2001).

Juntamente com a proposição de uma tabela taxonômica, uma readequação nas classes do domínio cognitivo e da dimensão do conhecimento foi proposta para que melhor se facilitasse a compreensão da declaração do objetivo pretendido. Primeiramente, nota-se de forma explícita a mudança efetuada nas classes maiores quanto à nomenclatura e ordem. Nota-se também a separação da dimensão do conhecimento das demais e a inclusão do conhecimento metacognitivo. Pretende-se agora tornar explícito quais mudanças foram trazidas com a proposição da revisão da taxonomia, em linhas gerais.

### 3.2.2 *Modificações nas declarações de objetivos*

À luz dos avanços da psicologia da educação, principalmente no que se refere à aceitação da psicologia cognitiva como uma das perspectivas mais aceitas nas visões de teoria da aprendizagem, Anderson e Krathwohl (2001) propuseram alterações na declaração de objetivos na qual a Taxonomia de Bloom (1956) é apoiada. Baseada em Ralph Tyler (1949, apud ANDERSON; KRATHWOHL, 2001), a declaração de objetivos é feita espelhando-se nos comportamentos que se deseja alcançar. Na revisão de 2001, Anderson e Krathwohl propuseram a substituição do termo “comportamento” por “processo cognitivo” e tal troca se justifica como transparente à intenção de explicitar o tipo de perspectiva de aprendizagem a se utilizar de guia. É de fácil associação remeter “Comportamento” imediatamente ao Comportamentalismo (do inglês *Behaviorism*), teoria que se refere ao aprendizado condicionado, isto é, associar um dado resultado de instrução à um estímulo, um dado comportamento controlado, e que, segundo Anderson e Krathwohl, não é refletido nas ideias de Ralph Tyler, e, portanto, também não na Taxonomia de Bloom, muito embora ambos sejam contemporâneos à época de grande influência do Comportamentalismo. Assim, como tentativa de não manifestar novas confusões, e explicitando o referencial de aprendizagem norteador do trabalho – baseado na teoria cognitivista e construtivista, Anderson e Krathwohl (2001) explicitam o processo cognitivo de interesse na declaração de objetivos através de verbos. As seis

grandes classes são apresentadas no infinitivo, enquanto que as subcategorias, representantes dos tipos de processos cognitivos presentes no objetivo, são representadas no gerúndio. Um segundo componente presente nas declarações dos objetivos são os substantivos, representados pela dimensão dos tipos de conhecimento. Com as categorias de processos cognitivos representados através da forma verbal, é possível estabelecer uma relação verbo-substantivo e tornar mais explícita a declaração do objetivo proposto (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001).

### *3.2.3 Mudanças da Dimensão do Conhecimento*

Como brevemente apresentado anteriormente, uma das modificações trazidas pela revisão da Taxonomia foi a divisão do conhecimento em quatro categorias – conhecimento factual, conhecimento conceitual, conhecimento procedimental e conhecimento metacognitivo, retirados das subcategorias da dimensão de conhecimento da Taxonomia de 1956 e declarados na forma de substantivos (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001). O conhecimento refere-se à forma como o conteúdo da disciplina é abordado na atividade de ensino. Assim, quatro diferentes tipos de conhecimentos permitem quatro tipos de enfoques dados ao conteúdo trabalhado, diferenciando a maneira como a aula será conduzida e como as avaliações serão realizadas (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001).

Segundo os autores, desenvolver uma estrutura que separe conhecimentos de elementos discretos – o conhecimento factual, de conjuntos mais organizados tais como os modelos, teorias, etc – pertencentes ao conhecimento conceitual, se faz necessário para que os professores deem uma maior atenção ao ensino mais focado a como aquela informação permeia a vida cotidiana dos estudantes, fazendo conexões entre os diferentes tipos de fatos ao invés de somente apresentar uma grande quantidade de informação que deve ser memorizada e apresentada em determinados momentos. Bem como se faz necessária uma instrução atenta ao modo como os estudantes percebem a forma como aprendem (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001).

O conhecimento factual representa o conjunto de elementos básicos que o estudante deve estar familiarizado para prosseguir com os trabalhos na disciplina ou em situações de resolução de problemas (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001). São pertencentes a esse conjunto: 1) o conhecimento de terminologia, com os símbolos próprios do assunto em questão e o 2) conhecimento de detalhes e elementos específicos.

Nessa categoria, podemos usar como ilustração a apresentação dos termos de “sistema” e “vizinhança” na introdução de aulas de termodinâmica, como terminologia básica para o desenvolvimento de aulas, e os nomes de Dalton, Thomson, Rutherford, Bohr, etc como cientistas responsáveis pelo desenvolvimento de modelos atômicos ensinados ainda na educação básica.

O conhecimento conceitual refere-se ao conhecimento organizado, e, portanto, abrange as formas de organização do mesmo – em categorias ou classificações e as relações associadas (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001). No conhecimento conceitual, as partes da informação são vistas de forma conjunta e a análise de suas conexões representa um conhecimento sistemático novo. Os subtipos de conhecimento conceitual são: 1) o conhecimento de classificações e categorias, que permite a organização de elementos já existentes e novos – por exemplo, a classificação de um material em um determinado estado físico segundo características de cada estado ou a correta nomenclatura de um determinado composto orgânico segundo as regras da IUPAC; 2) o conhecimento de princípios e generalizações, que utiliza do conhecimento de classificações e categorias para o estudo de fenômenos e faz uso das generalizações para resolver um problema (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001). Um exemplo poderia ser o conhecimento da lei dos gases perfeitos, uma vez que faz uso de generalizações (o gás a ser trabalhado possui restrições quanto a interação, quanto ao volume, etc) para o tratamento de um determinado gás em estudo sob condições especificadas, obtida de observações conduzidas por diferentes cientistas ou o princípio de exclusão de Pauli. e 3) o conhecimento de teorias, modelos e estruturas, que representa uma grande estrutura com princípios e generalizações aplicáveis a um determinado assunto ou problema (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001). O conhecimento da Teoria de Ligação de Valência é um exemplo da interconexão entre diversos princípios e generalizações para explicar a ligação covalente entre dois átomos.

O conhecimento procedimental refere-se ao como fazer alguma coisa. Os procedimentos – algoritmos, técnicas ou métodos específicos das disciplinas, e os critérios de aplicação destes estão relacionados a forma de aplicação dos conhecimentos factuais e conceituais (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001). O conhecimento procedimental pode ser dividido nos seguintes subtipos: 1) O conhecimento de habilidades específicas das disciplinas e algoritmos, isso é, o procedimento a ser seguido para obter uma determinada resposta esperada, como no exemplo dos cálculos

estequiométricos envolvendo balanceamento de reações, reagentes em excesso, pureza, etc; 2) o conhecimento de técnicas e métodos específicos de disciplinas, que representa a aplicação de conhecimentos para se obter um resultado não previsível. Assim, conhecer e aplicar técnicas científicas para resolver um problema é um exemplo representativo deste subtipo (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001). E por fim, 3) o conhecimento de critérios para determinar quando usar procedimentos adequados, que reflete também o conhecimento de como aplicar esses procedimentos. Pode se pensar em um exemplo retomando o caso de um problema envolvendo gases. A utilização de diferentes modelos e seus artifícios matemáticos – como o gás perfeito, de Van der Waals, ou a utilização da Equação do Virial ficam inerentes às condições de estudo dos gases em questão.

O quarto e último tipo de conhecimento refere-se ao metacognitivo. Como mencionado antes, a metacognição refere-se ao conhecimento sobre a cognição. É o despertar para a sua própria cognição, e, portanto, engloba estratégias para aprender, pensar e atacar problemas, a forma de utilização destas estratégias, e o conhecimento sobre si mesmo (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001). São os subtipos pertencentes ao conhecimento metacognitivo: 1) O conhecimento estratégico, que representa as estratégias para aprender, pensar e atacar problemas, no qual se considera que um aluno pode memorizar uma informação, ou utilizar de mapas mentais e resumos para auxiliar na sua linha de pensamento. Não se trata, portanto, de algo exclusivo para um assunto, mas sim um tipo de conhecimento que permeia diversos assuntos e disciplinas (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001); 2) o conhecimento sobre tarefas cognitivas, incluindo conhecimento contextual e condicional, isto é, a consciência de que algumas tarefas podem requerer de processos cognitivos mais complexos do que outras, e que a abordagem dada à solução de um dado problema fica condicionada à possibilidade de aplicação daquela determinada estratégia (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001). Assim, procurar na memória quais elementos são pertencentes ao grupo dos gases nobres pode ser uma tarefa mais complicada do que os identificar na tabela periódica, e o despertar para esta questão pode vir a ser um exemplo. E 3) o autoconhecimento: O despertar para seus pontos fortes e fracos, lacunas no conhecimento e para as motivações envolvidas no seu processo de aprendizagem, itens que determinam a ação que o estudante toma neste processo. Reconhecer quais conhecimentos não lhe são familiares, quais são as suas tendências de aplicação de estratégias ou quais motivos lhe fazem estudar um

determinado assunto permitem que o estudante reavalie suas estratégias de aprendizagem (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001).

Assim, é possível direcionar as estratégias de ensino explorando os diferentes conhecimentos possíveis – quando referidos ao “que”, tratam dos conhecimentos factuais e conceituais, quando referidos ao “como” são relacionados ao procedimental, e quando envolvem a promoção de uma análise interior sobre a própria cognição, ou seja, todos os outros tipos de conhecimento, referem-se ao conhecimento metacognitivo. Diferentes conhecimentos relacionam-se a diferentes processos cognitivos pertencentes à dimensão do processo cognitivo. Expande-se agora a discussão iniciada anteriormente na Taxonomia de Bloom a partir das reformulações das classes presentes na Taxonomia Revisada.

### *3.2.4 Mudanças na Dimensão das Classes*

Na Taxonomia Revisada (2001) a estrutura construída sobre 6 grandes classes da dimensão do conhecimento foi mantida, bem como a premissa de que existe uma conexão entre a primeira classe com as demais, sendo a primeira classe aquela na qual são trabalhados os conhecimentos necessários para empregá-los em processos cognitivos mais complexos. Assim, a classe responsável por buscar o conhecimento na memória de longo prazo é a primeira, denominada como Relembrar, e que mostra equivalência à classe do Conhecimento (BLOOM *et. al*, 1956). Para as 6 classes apresentadas na Revisão da Taxonomia (2001), 19 processos cognitivos foram elencados. Declarados no gerúndio, estes processos apontam como aquele determinado conhecimento deve ser explorado pelo estudante para que o objetivo em questão seja alcançado. No caso da classe de relembrar, os processos cognitivos associados são de relembrar e recordar, situações que requerirão dos estudantes que recuperem esse conhecimento prévio para que comparações e identificações possam ser realizadas frente às situações propostas. Assim, os processos cognitivos dos objetivos desta classe serão declarados como “identificando...”, “comparando...”, “combinando...” etc.

A classe 2, Entender, previamente Compreensão na taxonomia original (BLOOM *et. al*, 1956), mantém a premissa de que um estudante entende uma informação no processo de aprendizagem quando consegue construir significado a partir de mensagens instrucionais, seja qual for a forma em que se apresente (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001). Os processos cognitivos associados são: Interpretar, exemplificar, classificar,

inferir, resumir, comparar e explicar. São alguns exemplos de declarações de objetivos desta classe aqueles cujos processos são apresentados como “generalizando...”, “categorizando...”, “explicando...”, entre outros.

A classe 3, Aplicar (antes Aplicação), também utiliza dos princípios de sua predecessora, Aplicação (BLOOM *et. al*, 1956), e, intimamente ligada com o conhecimento procedimental, possui como processos cognitivos executar e implementar. Situações de resolução familiares aos estudantes são representadas pelo processo de executar, e estão associadas a exercícios. Já para situações não familiares aos estudantes são englobadas pelo processo de implementar, e exploram não só o conhecimento procedimental do estudante mas também o conhecimento conceitual. Este é o caso de situações de problemas (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001). Objetivos com “usando...”, “implementando...”, “executando...” são pertencentes à classe de aplicar.

O mesmo vale para a classe 4, Analisar (anteriormente Análise). Os processos cognitivos pertencentes são: Diferenciar, organizar e atribuir – respectivamente – separar as partes da informação, organizá-las na estrutura e determinar o propósito da mensagem (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001). Objetivos com “discriminando...”, “distinguindo...”, “destacando...” são alguns dos exemplos pertencentes a esta classe.

A classe 5, Avaliar, herda características da Avaliação (BLOOM *et. al*, 1956), anteriormente o topo da estrutura hierárquica da Taxonomia original. Os processos cognitivos de checar e criticar são estabelecidos quando o estudante faz julgamentos com base em critérios e padrões internos e externos, respectivamente. São pertencentes a essa classe os processos cognitivos que contenham “checando...”, “criticando...”, “testando...”, “julgando...” e outros.

A classe 6, Criar, apresenta elementos da classe de Síntese, previamente classe 5 da tabela original (BLOOM *et. al*, 1956). Na elaboração de um produto novo, os autores destacam 3 fases: O entendimento do problema (geração), proposição de solução (planejamento) e implementação da solução (produção), sendo estes os 3 processos cognitivos associados a criar (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001). “Produzindo...”, “formulando hipóteses...” e outros são exemplos de declarações de objetivos que contenham esses processos cognitivos.

### 3.2.5 Outras Mudanças

Para além das mudanças de nomenclatura das classes, seu posicionamento, separação da dimensão do conhecimento, acréscimo do conhecimento metacognitivo e proposição da tabela taxonômica, entre outros, outras proposições foram apresentadas com a revisão da Taxonomia. Um foco para planejamento, instrução e avaliação é apresentado no trabalho de Anderson e Krathwohl de 2001 em substituição à proposição voltada para a avaliação no trabalho de Bloom e colaboradores de 1956. Destaca-se também a intenção de amplificar o alcance da estrutura para professores atuantes em todos os níveis de ensino ao invés de somente o Ensino Superior, e talvez uma das questões mais importantes trazidas pela revisão seja o rompimento com a estrutura hierárquica cumulativa dos processos cognitivos. Com o foco no uso correto da estrutura taxonômica pelo professor, os autores declaram que é possível que classes se sobreponham umas às outras em casos de complexidade, uma vez que processos cognitivos de classes inferiores podem ser julgados como mais ou tão complexos quanto processos de classes imediatamente superiores, como é o caso de explicar (da classe entender) e executar (da classe aplicar) (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001). Assim, é possível que um estudante saiba executar um cálculo utilizando a lei de Raoult para uma solução diluída, mas não saiba explicar o porquê ela é válida.

Por último, ressalta-se a preocupação da Revisão em apresentar uma estrutura que forneça a possibilidade de uso pelo professor de forma coerente, alinhando planejamento, instrução e avaliação. Dessa forma, a Taxonomia Revisada (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001) é utilizada aqui nesta dissertação como referência para a análise da disciplina de Físico-Química II-C quanto aos seus objetivos e avaliações, e, para a proposição de uma nova estrutura a partir do suporte do planejamento, instrução e avaliação.

## 3.3 METODOLOGIAS ATIVAS E RECURSOS DIDÁTICOS

As metodologias ativas são abordagens de ensino que trazem o estudante para o foco do processo de ensino (PRINCE, 2004), rompendo com ideias de “transmissão de conhecimento” do professor para o estudante e buscando prover uma aprendizagem que contextualize conteúdos, promova o desenvolvimento de habilidades e atitudes e motive os estudantes, enquanto o professor assume o papel de guia para o aprendizado deste



estudante. Neste processo, o exercício do pensamento crítico e da autonomia são encorajados, e enquanto agentes principais nesse cenário, os estudantes exploram, de forma colaborativa ou cooperativa, seus novos ganhos. Considerando os sujeitos englobados nesta pesquisa, optou-se por trabalhar com metodologias ativas que almejem o desenvolvimento de conteúdos e habilidades (tais como a comunicação oral, escrita, a argumentação, etc). E também de outros recursos didáticos, tais como o Brainwriting Pool e os Mapas Mentais, fundamentais para a compreensão acerca dos conhecimentos prévios dos sujeitos. A escolha de metodologias e recursos culminou em uma proposição única, uma metodologia voltada para atender as necessidades do contexto aqui apresentado. Inicia-se agora a discussão.

### 3.3.1 Brainwriting Pool

O termo *Brainstorm* já é um famoso termo conhecido da área de negócios e educação, relativo a uma técnica voltada para a geração de ideias proposta por Alex Osborn cuja popularidade alcançou um máximo nos anos 50 e 60. O *Brainwriting* situa-se como uma técnica alternativa ao *brainstorm* e objetivando o mesmo – a maior geração de ideias em um curto espaço de tempo, apresentando, no entanto, algumas variações. Entre elas, uma maior participação dos envolvidos, uma vez que no *Brainstorm* as pessoas externam suas ideias de forma oral, muitas vezes criando vieses para um pequeno grupo, na medida em que outros sentem a sua participação mais inibida (VANGUNDY, 1984). No *Brainwriting* as ideias são apresentadas de forma escrita, e o processo é feito de forma silenciosa, garantindo um quórum mais aceitável.

A versão original do *Brainwriting* foi proposta por Bernd Rohrbach ainda nos anos 1960 e busca alcançar a apresentação de 108 ideias em meia hora. O outro nome associado à técnica – Método 635 – apresenta a sua aplicação de forma mais sugestiva. Nela, um moderador conduz um grupo de 6 pessoas a escrever 3 ideias em até 5 minutos por ciclo, totalizando 6 ciclos. Após o término da sessão, as ideias apresentadas podem então ser avaliadas e inicia-se uma discussão. Vangundy (1984) descreve seis modos de aplicação da técnica, dentre as quais a *Brainwriting Pool*. Desenvolvida inicialmente em Frankfurt, é a técnica que mais se aproxima daquela aplicada na turma de sujeitos descrita neste trabalho. No *Brainwriting Pool*, cada participante silenciosamente escreve em uma folha de papel as suas ideias que logo em seguida são trocadas por outra folha com outro participante. Novas ideias são adicionadas em complemento às já presentes nas folhas e

este processo é repetido em um determinado intervalo de tempo de 20 a 30 minutos na descrição original (VANGUNDY, 1984).

### 3.3.2 Mapas Conceituais e Mentais

Segundo Moreira (2006), os mapas conceituais podem ser utilizados como instrumentos de ensino e aprendizagem. Enquanto instrumento de avaliação deste processo, atua como fonte de informações sobre os conceitos compreendidos pelos estudantes. Propostos por Joseph Novak nos anos 70, os mapas guardam relações hierárquicas entre os conceitos, geralmente demonstrados através de uma estrutura bidimensional. Intimamente ligada ao conceito de conhecimento prévio da teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, a sua ampla gama de aplicações permite que o seu uso auxilie na orientação curricular, uma vez que provê informações sobre a estrutura cognitiva de estudantes (MOREIRA, 2006).

Diferentemente dos mapas conceituais, os mapas mentais apresentam uma associação livre de ideias surgidas do indivíduos a partir de um estímulo inicial (MOREIRA, 2006). Dessa característica, mapas mentais podem apresentar associações infinitas dependentes dos sujeitos que as constroem. Segundo Debom (2017), as características presentes nos mapas mentais consistem na representação central de um assunto do qual temas emergem como ramificações ligadas por uma linha de associação, formando assim uma estrutura nodal conectada.

Ambos os instrumentos apresentam-se como possibilidades de externalização de ideias e associações que um indivíduo consegue estabelecer sobre um determinado assunto. Considerando os apontamentos do trabalho de Anderson e Krathwohl (2001) apoiado sobre as teorias cognitiva e construtivista, acreditamos que o processo de aprendizagem de novos conhecimentos mostra-se dependente dos conhecimentos prévios do aprendiz. Assim, para a realização do levantamento de um inventário de conceitos prévios dos estudantes, nesta pesquisa utilizou-se a técnica do mapa mental associado à técnica de *brainwriting pool*.

### 3.3.3 Peer Instruction

Nos anos 1990, Mazur (1991), ao ler uma série de artigos falando sobre a dificuldade de sobreposição das crenças de senso comum pelas aulas de física tradicionais, promoveu uma série de testes a ponto de verificar a veracidade dessas informações, ao julgar que os problemas apresentados em tais artigos não seriam

encontrados nas avaliações realizadas por seus alunos. O que ele constatou após a aplicação destes testes é que os estudantes ensinados através do método puramente expositivo tendem a se sair bem ao completar exercícios típicos de livros-texto do tipo relacionado à resolução de problemas numéricos, mas acabam por esbarrar em questões conceituais relativas ao mesmo conteúdo. Como resultado, ele elaborou a *Peer Instruction*, uma metodologia focada no desenvolvimento conceitual do estudante em tópicos subjacentes da física, permitindo também que as habilidades de resolução de problemas sejam trabalhadas sem no entanto permitir que o estudante apoie-se somente em algoritmos de resolução que não o provoquem a pensar criticamente sobre os tópicos apresentados.

Da sua aplicação, Mazur (1991) explica que os objetivos da *Peer Instruction* são direcionados à interação do aluno e o foco de sua atenção a estes conceitos subjacentes. Assim, as aulas devem ser desenvolvidas em pequenas apresentações dos pontos-chave do assunto, seguidas dos testes conceituais, chamados pelo autor de *ConceptTests*. Estes testes devem ser compostos por questões curtas do assunto para que os estudantes possam formular as respostas e então possam discutir com seus pares. Segundo o autor, tal processo favorece o desenvolvimento da habilidade de argumentação, uma vez que os estudantes são instigados a pensar criticamente para elaborar os argumentos para discussão e também permite que professor e estudantes possam ter um panorama sobre a compreensão de determinado conceito.

O formato original da aplicação dos *ConceptTests* propostos por Mazur é composto pelas seguintes etapas:

- i) Apresentação da questão – 1 minuto
- ii) Tempo para que os estudantes reflitam – 1 minuto
- iii) Tempo para que os estudantes possam escrever suas respostas (opcional)
- iv) Estudantes convencem seus pares – Peer Instruction – 1-2 minutos
- v) Tempo para que os estudantes possam escrever suas respostas (opcional)
- vi) *Feedback* ao professor – Registro das respostas
- vii) Explicação da resposta correta – 2+ minutos

A aula prossegue com o próximo assunto se a grande maioria dos estudantes responder corretamente ao teste. Se uma minoria responde corretamente, o professor deve

explicar o assunto com mais detalhes e aplicar um novo teste até que o problema seja resolvido.

Neste trabalho, a *Peer Instruction* tem a sua aplicação voltada para a avaliação de conhecimentos conceituais, factuais e procedimentais desenvolvidos pelos estudantes quanto aos tópicos centrais dos encontros de aula da temática de soluções.

### 3.3.4 A aprendizagem baseada em problemas: Resolução de Problemas e Estudos de Caso

A Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP, também conhecida como *Problem Based-Learning*, PBL) é uma metodologia de ensino que expõe os estudantes à situações que requeiram da tomada de decisões para resolver problemas que simulem situações reais (SÁ, QUEIROZ, 2010). A ABP apresenta uma gama de variações de aplicação, dentre as quais estão presentes a Resolução de Problemas e os Estudos de Caso.

Na Resolução de Problemas (RP) os estudantes atuam como investigadores em uma situação de resolução inicialmente desconhecida. Como meios de resolução, são necessárias as realizações de etapas como análise da situação, levantamento de hipóteses, desenvolvimento de estratégias, resolução dos problemas e análise dos resultados (GIL-PÉREZ; TORREGROSA, 1983). A proposta de aplicação da metodologia de RP consiste em explorar a situação investigativa e assim aproximar do ambiente científico. Portanto, o foco consiste no desenvolvimento de conhecimentos conceituais e procedimentais dos estudantes, além de habilidades como o pensamento crítico.

Já os Estudos de Caso (EC, do inglês *Case Studies*) consiste na apresentação de narrativas como situações a serem resolvidas. Essas narrativas devem apresentar características desejáveis tais como relevância aos leitores, incluir citações, promover as tomadas de decisões e possuir utilidade pedagógica (SÁ *et. al*, 2007). Na química os EC podem abordar aspectos conceituais quando desenhados para o ensino de um determinado tópico ou abordar aspectos sociocientíficos (SELBACH *et. al*, 2020). Portanto, em adição aos conceitos são desenvolvidas também habilidades de comunicação oral e escrita, argumentação e trabalho em equipe, entre outros.

Uma vez que a ciência apresenta em sua natureza a atividade de resolução de problemas, as metodologias derivadas da ABP apresentam-se fundamentais ao exercício do desenvolvimento do perfil científico investigador, crítico, e de sólida base de

conhecimentos. Através das situações de conflito os estudantes devem assumir uma postura autônoma e norteadora de sua própria aprendizagem, exercendo diversos de seus conhecimentos até a proposição de resolução. As atividades de RP e EC aplicadas neste trabalho buscam aproximar os conteúdos de físico-química à realidade e ao desenvolvimento deste perfil.

### 3.4 TERMODINÂMICA DE SOLUÇÕES

Nesta seção serão apresentados brevemente os principais aspectos relacionados à temática da termodinâmica de soluções, pois tais constam mais abrangente e aprofundamente no material didático elaborado para a sequência didática, presente no Apêndice C.

#### 3.4.1 Soluções líquidas

Conceitualmente, uma solução representa uma mistura homogênea de duas ou mais substâncias cuja composição pode variar continuamente dentro de um intervalo. Uma solução será dita gasosa, líquida ou sólida conforme o estado de agregação em que se apresenta (PILLA, 2006). Define-se como solvente aquela substância que se apresenta em maior quantidade em relação às demais, chamadas de solutos. Quando o solvente apresenta-se em uma grande quantidade, ou seja, apresentando um dos componentes em excesso, diz-se que a solução está diluída. Uma solução será tão mais concentrada quanto mais quantidade de soluto estiver presente no sistema em relação ao solvente. Em soluções líquidas, existem situações nas quais os componentes líquidos podem se misturar em todas as proporções. Nestes casos, os conceitos de solvente e soluto tornam-se arbitrários, e o termo “mistura líquida” é preferivelmente empregado (PILLA, 2006).

Os termos “diluída” e “concentrada” atribuídos às soluções são relacionados às expressões que representam a composição destas como a fração molar (eq. 1), molalidade (eq. 2) e molaridade (eq. 3), etc.

$$x_i = \frac{n_i}{n} \quad (\text{eq. 1})$$

$$w = \frac{n_i}{m} \quad (\text{eq. 2})$$

$$C = \frac{n_i}{V} \quad (\text{eq. 3})$$

### 3.4.2 Soluções Ideais

Uma solução será dita como ideal se as moléculas de várias espécies forem tão similares umas às outras que reposicionar moléculas de uma espécie por outra de outra espécie não mudará a estrutura espacial ou a energia de interação intermolecular na solução (LEVINE, 2009). Como consequência dessa definição, as propriedades termodinâmicas de soluções ideais dependentes unicamente deste fenômeno, tais como volume de mistura ( $\Delta V_{\text{mix}}$ ), entalpia de mistura ( $\Delta H_{\text{mix}}$ ), e energia interna de mistura ( $\Delta U_{\text{mix}}$ ), são nulas. No entanto, as demais propriedades, dependentes do fenômeno de entropia associado à mistura dos componentes na solução ( $\Delta S_{\text{mix}}$ ), não são. É o caso da energia de gibbs ( $\Delta G_{\text{mix}}$ ), por exemplo. A temperatura constante, são válidas as seguintes expressões:

$$\Delta V_{\text{mix}} = \Delta U_{\text{mix}} = \Delta H_{\text{mix}} = 0 \quad (\text{eq. 4})$$

Onde  $\Delta V_{\text{mix}}$  representa a variação do volume de mistura,  $\Delta U_{\text{mix}}$  representa a variação da energia interna de mistura e  $\Delta H_{\text{mix}}$  a variação da entalpia de mistura,

$$\Delta S_{\text{mix}} = -R (n_b \ln x_b + n_c \ln x_c) \quad (\text{eq. 5})$$

Onde  $\Delta S_{\text{mix}}$  representa a variação da entropia de mistura,  $R$  a constante universal dos gases perfeitos,  $n_b$  e  $n_c$  os números de moles dos componentes  $b$  e  $c$ , respectivamente e  $x_b$  e  $x_c$  as frações molares dos componentes  $b$  e  $c$ , respectivamente.

$$\Delta G_{\text{mix}} = RT (n_b \ln x_b + n_c \ln x_c) \quad (\text{eq. 6})$$

Onde  $\Delta G_{\text{mix}}$  representa a variação da energia livre de Gibbs de mistura.

Uma maneira de se obter a composição de uma solução em termos de fração molar é realizar medidas de pressão de vapor. A correlação entre as duas é obtida através de uma equação linear de fácil manuseio conforme a faixa de composição que se deseja estudar. Para os casos em que se deseja obter a composição da solução ideal em termos de um determinado componente  $i$  que se apresenta em maior quantidade, utiliza-se a lei de Raoult (eq. 7).

$$P_i = P_i^* \cdot x_i \quad (\text{eq. 7})$$

Onde  $P_i$  representa a pressão de vapor do componente  $i$ ,  $P_i^*$  a pressão de vapor do componente  $i$  puro e  $x_i$  a fração molar deste componente.

A lei de Raoult como apresentada na eq. 7 assume que o vapor em equilíbrio com a solução líquida assume o comportamento de um gás ideal. A pressão parcial de vapor que este componente exerce sobre a solução é obtida da análise de sua composição, na medida em que a pressão exercida pelo componente  $i$  depende da sua fração molar,  $x_i$ , a uma certa temperatura. O potencial químico deste componente pode então ser obtido também por uma expressão linear:

$$\mu_i = \mu_i^* + RT \ln x_i \text{ (eq. 8)}$$

Onde  $\mu_i$  representa o potencial químico do componente  $i$  e  $\mu_i^*$  o potencial químico do componente  $i$  puro.

Em outro caso, se o componente  $i$  em questão apresenta-se em quantidade irrisória, uma expressão que melhor descreve o comportamento do componente  $i$  na mesma é dado pela lei de Henry (eq. 9)

$$P_i = k \cdot x_i \text{ (eq. 9)}$$

Onde  $k$  representa a constante de Henry.

Assim como a lei de Raoult, a pressão de vapor para a lei de Henry é diretamente proporcional à fração molar do componente  $i$  na solução, que é dita como idealmente diluída. Tal expressão é válida também para avaliar a solubilidade de gases em líquidos.

### 3.4.3 Soluções não-ideais

O desvio do comportamento ideal decorre de mudanças estruturais e energéticas nas interações entre os componentes de uma solução. Tal desvio é expresso em termos de uma quantidade chamada atividade. Para qualquer substância  $i$  em qualquer solução, a sua atividade é expressa como:

$$a_i = e^{\left(\frac{\mu_i - \mu_i^0}{RT}\right)} \text{ (eq. 10)}$$

A razão entre a atividade e a fração molar de um componente  $i$  representa a medida do desvio do comportamento ideal do componente da solução, chamado coeficiente de atividade ( $\gamma_i$ ):

$$\gamma_i = \frac{a_i}{x_i} \text{ (eq. 11)}$$

A atividade depende das condições de temperatura e pressão. Uma vez constantes estas condições, a medida da atividade fornece também uma medida do potencial químico do componente  $i$  em solução.

Para a obtenção das propriedades termodinâmicas de soluções não ideais, é comum utilizar-se das funções de excesso, cujo resultado advém da diferença dos valores das propriedades termodinâmicas de mistura da solução para o caso não-ideal em relação ao ideal. Consideremos  $Z$  uma propriedade extensiva qualquer:

$$Z^E = \Delta Z_{\text{mix}}^{\text{experimental}} - \Delta Z_{\text{mix}}^{\text{ideal}} \text{ (eq. 12)}$$

Onde  $Z^E$  representa a propriedade de excesso,  $\Delta Z_{\text{mix}}^{\text{experimental}}$  o valor obtido da medição daquela determinada propriedade de mistura considerando um caso não ideal e  $\Delta Z_{\text{mix}}^{\text{ideal}}$  o valor que seria apresentado pela propriedade termodinâmica de mistura considerando um caso de idealidade, consideradas as mesmas condições de pressão, temperatura e composição.

Estes são alguns tópicos trabalhados no módulo de termodinâmica de soluções e encontram-se melhores descritos no material didático elaborado (APÊNDICE C). Discute-se agora a sessão de metodologia aplicada neste trabalho.



## **4. METODOLOGIA**

Discute-se agora aspectos relativos à metodologia de pesquisa conduzida neste trabalho. A presente pesquisa apresenta-se como qualitativa e de natureza exploratória.

### **4.1 PRESSUPOSTOS TEÓRICOS DA METODOLOGIA QUALITATIVA**

Segundo Bogdan e Biklen (1994), a investigação qualitativa objetiva principalmente a compreensão dos comportamentos a partir da perspectiva dos sujeitos da investigação, ou seja, o foco da pesquisa é a análise interpretativa e não a quantificação de dados. Logo, destaca-se o processo e não o resultado em si e busca-se uma compreensão contextualizada do fenômeno em estudo. Nesse sentido, para esta investigação foram utilizados os ambientes naturais do contexto universitário como fonte direta de produção de dados, tanto em termos de documentos, quanto em relação aos sujeitos que participaram, assim como das modalidades, pois inicialmente os dados foram coletados no ensino presencial e na sequência se utilizou de documentos da disciplina.

Neste trabalho de pesquisa utilizou-se de instrumentos diversos para a produção dos dados (tais como o documento de plano de ensino, uma prova aplicada em semestre anterior ao desenvolvimento da pesquisa, os registros do Diário de Campo da pesquisadora sobre as atividades de *brainwriting pool* e do mapa mental, entre outros). A análise de dados foi realizada de forma indutiva e modificada ao longo do processo (as etapas de análise foram realizadas de forma complementar pois avaliou-se o plano de ensino, após avaliou-se a prova, por exemplo). Frente ao exposto, considera-se que este trabalho de pesquisa apresenta características de natureza qualitativa. Além disso, pode-se considerar que se aproxima de uma pesquisa exploratória (GIL, 2002), pois busca alinhar o levantamento bibliográfico realizado na pesquisa sobre as dificuldades na relação de ensino e aprendizagem de tópicos de termodinâmica aos dados obtidos na investigação. Dados como as impressões sobre as disciplinas de Físico-Química que apresentam os tópicos de termodinâmica clássica e as produções dos estudantes foram coletados para proporcionar o entendimento do problema, delimitando também a característica indutiva de análise dos dados, para proposição da sequência didática e material didático à luz da Taxonomia Revisada (2001) quanto às classes e aos conhecimentos presentes nos objetivos educacionais descritos.

## **4.2 PROPOSTA DE ANÁLISE DO PLANO DE ENSINO E DAS PROVAS DA FÍSICO-QUÍMICA II – C SEGUNDO A TAXONOMIA REVISADA**

Inicialmente realizou-se a análise documental do Plano de Ensino e da prova aplicada no semestre 2020/1 visando identificar categorias de análise (BOGDAN; BIKLEN, 1994). Tais categorias foram previamente elaboradas, considerando as classes e conhecimentos apresentados na Taxonomia Revisada (2001). Segundo Anderson e Krathwohl (2001), a classificação de objetivos pode ser guiada segundo 4 passos. São eles:

- 1 – Considerar a combinação verbo-substantivo presente no objetivo;
- 2 – Relacionar o tipo de conhecimento ao processo;
- 3 - Garantir o substantivo correto e
- 4 – Se apoiar em fontes múltiplas – objetivos, atividades, avaliações.

Tal classificação pode ser facilitada quando o sujeito faz uso da Tabela Taxonômica proposta na Revisão da Taxonomia (2001), tornando possível inferir nos objetivos educacionais analisados as intenções da aula em relação ao significado do objetivo, o propósito das atividades instrucionais e os objetivos das avaliações, e, acima de tudo, a convergência entre estas.

## **4.3 PERFIL DA TURMA**

Para complementar a análise descrita anteriormente sobre o plano de Ensino e questões das provas, buscou-se traçar um perfil acadêmico dos sujeitos de pesquisa quanto à experiência na disciplina de Físico-Química I-B, como dificuldades apresentadas na disciplina e quanto aos conteúdos considerados como mais complexos. Como instrumento de análise, propôs-se uma atividade combinando as estratégias de *brainwriting pool* e mapa mental alinhadas. Os dados coletados desta atividade foram registrados no Diário de Campo e posteriormente comparados com os dados da literatura para a elaboração da sequência didática utilizando da Revisão da Taxonomia (2001). Cabe destacar que os sujeitos que participaram desta investigação assinaram o Termo de Comprometimento Livre e Esclarecido (TCLE), conforme APÊNDICE A.

## **4.4 ELABORAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA**

Retomando a questão do ambiente natural do contexto em questão, Zabala (1998) propõe que a análise a ser realizada sobre a prática considere todas as especificidades da mesma, quanto a espaços, recursos, tempo distribuído, entre outros. Se pretende-se avaliar a prática, o autor sugere que tal avaliação seja feita no todo: planejamento, intervenção

pedagógica e avaliação dos processos educacionais. Estas três fases podem, portanto, ser avaliadas sob uma perspectiva processual em uma sequência didática para análise da prática.

A etapa seguinte ao levantamento de dados acerca dos sujeitos, das considerações da literatura e também apontamentos da professora regente da disciplina, foi a delimitação de novos objetivos educacionais, de forma a tornar explícitos os tipos de conhecimentos e habilidades a serem explorados durante a disciplina a partir da sequência didática e material propostos neste trabalho. A elaboração dos objetivos educacionais se deu segundo a relação entre o processo cognitivo pretendido, explicitado na forma verbal e o conhecimento explorado, na forma de substantivo, na qual buscou-se explorar as 6 classes da Taxonomia Revisada (2001), de forma com que, ao final do módulo de Termodinâmica de Soluções, todos os 4 tipos de conhecimentos declarados na Taxonomia Revisada (2001) pudessem ser explorados pelo estudante para além do conhecimento factual, através de tarefas que requeiram do mesmo mais do que somente lembrar esse tipo de conhecimento (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001). Busca-se na proposição da sequência didática o desenvolvimento de habilidades diversas, de menor nível cognitivo às de ordem superior, procurando promover no estudante o desenvolvimento ou melhoria de suas capacidades de argumentação, pensamento crítico, autonomia, entre outros (ZABALA, 1998).

Ainda, segundo Zabala (1998), as sequências apresentam-se como “um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais” e atuam indicando as funções das atividades na construção do conhecimento. Nesse sentido, o material didático proposto elaborado a partir dos objetivos educacionais delimitados para o módulo de Termodinâmica de Soluções considerando o referencial de Anderson e Krathwohl (2001) constitui parte integrante desta grande sequência como instrumento comunicativo, de ajuda nas exposições, e na proposição de atividades alinhadas às expectativas do módulo (ZABALA, 1998). A sequência didática produzida busca contemplar na formação do sujeito os aspectos conceituais, capazes de transmitir a visão da físico-química sobre os princípios físicos que governam propriedades e comportamento dos sistemas químicos (LEVINE, 2009), em evidência; os aspectos procedimentais referentes às habilidades matemáticas, de investigação e solução de problemas, de comunicação escrita e oral; e atitudinais, no que se referem às habilidades de integração da equipe ao trabalhar. Alerta-se para a mescla

presente na sequência didática proposta para métodos característicos de aulas expositivas intercalados com atividades ativas, em uma proposição única e que enfoca o desenvolvimento de conhecimentos conceituais, e em momentos oportunos, os conhecimentos procedimentais e atitudinais, considerados explícitos na medida em que estão presentes na maneira de trabalhar proposta e também como objetos de avaliação nas atividades ativas propostas (ZABALA, 1998).

Na seção de Resultados e Discussão é apresentado o Quadro 7 contendo a sequência didática elaborada para o módulo de Termodinâmica de Soluções.

#### **4.5 AULAS PRESENCIAIS – ANTES DA PANDEMIA**

Os pressupostos para a análise da validade de uma sequência didática, segundo Zabala (1998), incluem a reflexão sobre a conexão entre as atividades presentes na sequência e a aprendizagem significativa. Segundo o autor, a identificação dos conhecimentos prévios dos estudantes apresenta-se como o primeiro elemento a se avaliar na sequência e também um dos mais importantes. Na presente sequência didática, a identificação de tais conhecimentos prévios é proposta no encontro 1 com as atividades de *Brainwriting Pool* e de construção coletiva do Mapa Mental. Durante os encontros presenciais prévios à Pandemia de Covid-19 ocorridos em março de 2020 foi possível realizar as atividades pertencentes a este encontro. Utilizando como instrumentos na coleta de dados um gravador de voz, e as produções escritas dos estudantes (*Brainwriting Pool* e Mapa Mental) identificou-se os apontamentos dos sujeitos da turma de 2020/1 quanto às dificuldades e facilidades experienciadas nas aulas da disciplina de Físico-Química I-B, e os conceitos que os estudantes apresentavam quanto à temática de soluções. Com base nos resultados obtidos, elaborou-se a sequência didática e o material didático propostos. O segundo encontro, cujo objetivo é o da apresentação de conceitos, foi realizado seguindo um método expositivo de aula. Em decorrência das paralisações das atividades presenciais em 16 de março de 2020, somente os dados coletados nos primeiros dois encontros foram utilizados para o desenvolvimento da sequência didática. Os resultados coletados e as análises estão presentes no capítulo de Resultados e Discussão. Além desta coleta de dados com os sujeitos da turma de 2020/1, apontamentos da literatura e da professora regente foram utilizados para a proposição da sequência didática, apresentada na íntegra também no capítulo de Resultados e Discussão. As aulas do semestre 2020/01 retornaram em agosto de 2020 no formato de Ensino Remoto

Emergencial (ERE), devido à conjuntura das condições sanitárias da pandemia do novo coronavírus.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Discute-se neste capítulo os resultados produzidos com a análise do plano de ensino da disciplina de Físico-Química II-C e avaliação da área de Termodinâmica de Soluções de 2019/1, dados sobre o perfil de estudantes da turma de 2020/1 e sobre a sequência e material didáticos elaborados sob o referencial da Taxonomia Revisada (ANDERSON, KRATHWOHL, 2001).

### **5.1. FÍSICO-QUÍMICA II-C: ANÁLISE DO PLANO DE ENSINO E DE AVALIAÇÕES REFERENTES AO MÓDULO DE TERMODINÂMICA DE SOLUÇÕES**

A disciplina de Físico-Química II-C é um componente curricular incluído na reformulação curricular do curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) no segundo semestre do ano de 2017 como uma disciplina cujo público-alvo são os alunos de licenciatura (UFRGS, 2017), ofertada uma vez ao ano. A sua súmula conta com conteúdos pertencentes à termodinâmica e à cinética química, herança das disciplinas de Físico-Química II-B e Físico-Química III-B presentes no currículo anterior. A sua predecessora, Físico-Química I – B, também apresenta uma súmula correspondente à elementos de termodinâmica clássica, compreendendo sistemas e propriedades, fundamentos de termodinâmica química, equilíbrio e afinidade química com uma carga horária de 60h (UFRGS, 2020a). Assim, a nova proposição estruturada para a Físico-Química II – C, também distribuída ao longo de uma carga horária de 60h, apresenta elementos teóricos de equilíbrios multicomponentes, fundamentos termodinâmicos de eletroquímica e fundamentos de cinética química, e é voltada para alunos que estejam na 6ª etapa do curso, ou seja, no 3º ano de graduação (UFRGS, 2020b). Como referências bibliográficas encontram-se os títulos de livro-texto como Físico-Química (ATKINS; DE PAULA, 2008) e Físico-Química (LEVINE, 2009), sendo o Physical Chemistry: A molecular approach (MCQUARRIE; SIMON, 2011) também utilizado pela professora, livros-texto utilizados também em outras disciplinas de físico-química em outros países (FOX; ROEHRIG, 2015).

O plano de ensino apresenta como objetivos da disciplina “Aplicar os métodos da termodinâmica no estudo de equilíbrios multicomponentes e da eletroquímica. Estudar os

fundamentos e aplicar os métodos da cinética química.” (UFRGS, 2020b). Evocando o referencial da Taxonomia Revisada (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001), pode-se perceber que estes objetivos podem ser classificados na classe de “Aplicar”, cujo verbo aparece duas vezes neste trecho. Percebe-se dois objetivos declarados aqui: O primeiro, relativo à termodinâmica, diz respeito à aplicação de métodos, que pode ser entendida como conhecimento procedimental, uma vez que demanda de conhecimento de técnicas e métodos específicos da matéria. O segundo, referente à parte de cinética química, apresenta os verbos “Estudar” e “Aplicar” e sua classificação torna-se um pouco mais complexa, na medida em que “Estudar” não provê uma clara intenção e nem especifica “fundamentos de cinética química”, podendo tratar-se de outros níveis tais como relembrar, uma vez que o conteúdo de fundamentos de cinética química é apresentado na disciplina de Química Geral Teórica, ainda no 1º ano de curso (UFRGS, 2017), evidenciando o quão vago está declarado o objetivo.

O conteúdo programático descrito no plano de ensino apresenta os tópicos “Velocidade, ordem e molecularidade de reações químicas. Taxa de conversão.”, “Reações homogêneas de ordem zero, primeira, segunda e terceira ordens” (UFRGS, 2020b), o que remete ao conhecimento conceitual. “Aplicar métodos da cinética química”, no entanto, pode ser declarado como aplicação de conhecimento procedimental, tal como no primeiro objetivo. Assim, identifica-se que a disciplina de Físico-Química II-C apresenta objetivos educacionais pertencentes aos primeiros níveis da Taxonomia Revisada de 2001, com a classe “aplicar” em evidência.

**Quadro 4.** Classificação dos objetivos do plano de ensino da Físico-Química II-C em 2019/1

Dimensão do Conhecimento	Dimensão dos processos cognitivos					
	1. relembrar	2. entender	3. aplicar	4. analisar	5. avaliar	6. criar
factual						
conceitual			x			
procedimental			x			
metacognitivo						

Fonte: A autora.

Outros elementos, como a seção de metodologia e de experiências de aprendizagem, apresentam descrições como “O conteúdo da disciplina será ministrado em aulas expositivas. O estudante receberá listas de exercícios correspondentes a cada unidade do programa.” (UFRGS, 2020b) e

Os discentes serão incentivados a participar das aulas mediante discussão dos tópicos abordados nas aulas teóricas, bem como mediante a resolução dos exercícios propostos. Os discentes também serão incentivados a interagir com o professor e entre si via ambiente virtual de aprendizagem, de modo a complementar seus estudos com objetos virtuais de aprendizagem.  
(UFRGS, 2020b)

Os critérios de aprovação seguem a distribuição de conceitos da Universidade – A, B, C, D, e FF. Originalmente, a disciplina conta com 3 avaliações com nota mínima de 4,0. Não atingindo os 4 pontos necessários na prova ou a média de 6 pontos nas 3 provas, é prevista uma recuperação do conteúdo em uma avaliação de mesmo formato ou um exame, no caso de mais de uma área se apresentar com nota insuficiente. Outras informações podem ser conferidas no plano de ensino presente nos apêndices.

A primeira parte da disciplina, representada pela área 1, correspondente à termodinâmica de soluções, apresenta tópicos de soluções ideais, reais, diluídas e eletrolíticas. Só então é feita a primeira avaliação. Abaixo consta a análise da prova 1 aplicada em 2019/1, primeira edição da disciplina, dividida em 5 questões.

1) Em equilíbrio, o potencial químico da forma gasosa da substância A é igual ao seu potencial químico na fase líquida. Essa igualdade é mantida mesmo quando um soluto é adicionado, como descrito diagramaticamente na Figura 1. Considerando que o potencial químico da substância A na fase gasosa pode ser tratado como um gás perfeito, ou seja:

$$\mu^*(g) = \mu^\circ(g) + RT \ln p_A^*$$

**Relacione** matematicamente o potencial químico da substância A em solução com seu potencial químico como substância pura e sua pressão de vapor parcial.

Explicitamente, a questão 1 requer habilidades interpretativas do estudante pela informação fornecida na forma de texto, na forma visual e também expresso matematicamente. A parte imperativa do enunciado da questão, iniciando em “relacione matematicamente...” exige que o estudante obtenha a expressão matemática a partir das informações apresentadas, da relação entre os termos correspondentes à substância A. Assim, pode-se entender este objetivo como pertencente a classe de “Aplicar” um conhecimento procedimental.

2) **Defina** uma solução ideal, **relacionando** com um gás perfeito e com observações empíricas (Leis de Raoult e Henry)

A questão 2 possui um enunciado mais curto e direto. Definir é um verbo que pode ser entendido como explicar, argumentar, e, portanto, um processo cognitivo também da classe de “Entender”. Definir uma solução, relacionando com um gás perfeito e observações empíricas, pode ser entendido como um conhecimento conceitual de classificações e categorias e também de teorias, modelos e estruturas. Assim, o objetivo



do enunciado desta questão também pode ser entendido como pertencente à “Entender” um conhecimento conceitual.

3) A relação matemática entre a energia de Gibbs de mistura,  $\Delta_{\text{mix}}G$ , com a variação da composição de uma mistura binária de gases perfeitos,  $x_A$  é mostrada na Figura 2, e pode ser derivada matematicamente da seguinte equação:  $\mu = \mu^\circ + RT \ln p/p^\circ$ .

A partir da equação acima e  $G_i = \sum n_i \mu_i$  (com  $p^\circ = 1$  bar), **derive** uma equação que relacione  $\Delta_{\text{mix}} G$  e a composição da mistura  $x_i$  e **discuta** a seguinte afirmação:

“Gases perfeitos e soluções ideais misturam-se espontaneamente em todas as proporções”

Novamente são evocadas habilidades interpretativas na questão 3. “Derivar” uma equação pode ser entendida como “obtenha”, “demonstre”. No contexto, derivar uma equação para discutir uma afirmação requer a execução de um procedimento para que se possa então comentar a afirmação a partir do resultado obtido. Portanto, trata-se de uma questão que exige do estudante aplicar conhecimentos procedimentais para a obtenção da equação e também do conhecimento conceitual para que entenda as partes da informação juntas. O objetivo desta questão, portanto, pode ser entendido como pertencente à “Aplicar” um conhecimento procedimental cujo resultado é esperado, dado que o conteúdo aqui elencado é previamente trabalhado em aula.

4) Todas as propriedades coligativas de soluções originam-se da redução do potencial químico do solvente líquido como resultados da presença de um soluto.

Para uma solução ideal, essa redução é dada pela equação  $\mu_{A^*(g)} = \mu_{A^*(l)} + RT \ln x_A$ ,

Que representa o equilíbrio entre o solvente presente no vapor e o solvente em solução a 1 atm.

**Discorra** do ponto de vista molecular sobre os efeitos termodinâmicos que causam a redução do potencial químico de uma solução em geral em relação àquele do solvente puro.

A questão 4 também exige que o estudante entenda as informações apresentadas para então discorrer, ou explicar o fenômeno das propriedades coligativas a partir da relação de causa-consequência em decorrência do acréscimo de um soluto ao solvente. O objetivo desta questão pode ser entendido como pertencente à “Entender” um

conhecimento conceitual. A análise da prova foi realizada de forma fidedigna à como a prova foi entregue aos alunos. Entretanto, em um momento posterior, a professora esclareceu que a equação fora apresentada de forma equivocada, sendo a forma correta a seguinte:  $\mu A(l) = \mu A^*(l) + RT \ln x_A$ . Os objetivos identificados e categorizados mostram-se os mesmos após essa correção.

5) Ainda utilizando a equação acima, **prove** que a presença de um soluto em uma fração molar  $x_B$  causa um aumento no ponto de ebulição normal de  $T^*$  a  $T^* + \Delta T_b$ , em que

$$\Delta T_b = RT^{*2}/\Delta H_{vap}$$

E por fim, a questão 5 se apresenta como continuação da questão 4, exigindo que o estudante prove, ou demonstre a consequência da presença do soluto no aumento do ponto de ebulição do solvente. Assim, pode-se entender o objetivo da questão como classificado sob a categoria de “Aplicar” um conhecimento procedimental para obter um resultado que corrobore com o resultado esperado.

Portanto, como pode se perceber no Quadro 6, existe uma convergência entre os objetivos da avaliação aplicada em 2019/1 e os objetivos apresentados no plano de ensino da disciplina. No Quadro 5 é apresentada a classificação dos objetivos presentes nas questões da prova utilizando da tabela taxonômica proposta pela Taxonomia Revisada (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001).

**Quadro 5.** Classificação dos objetivos da prova 1 da Físico-Química II-C (2019/1)

Dimensão do Conhecimento	Dimensão dos processos cognitivos					
	1. lembrar	2. entender	3. aplicar	4. analisar	5. avaliar	6. criar
factual						
conceitual		x	x			
procedimental			x			
metacognitivo						

Fonte: A autora.

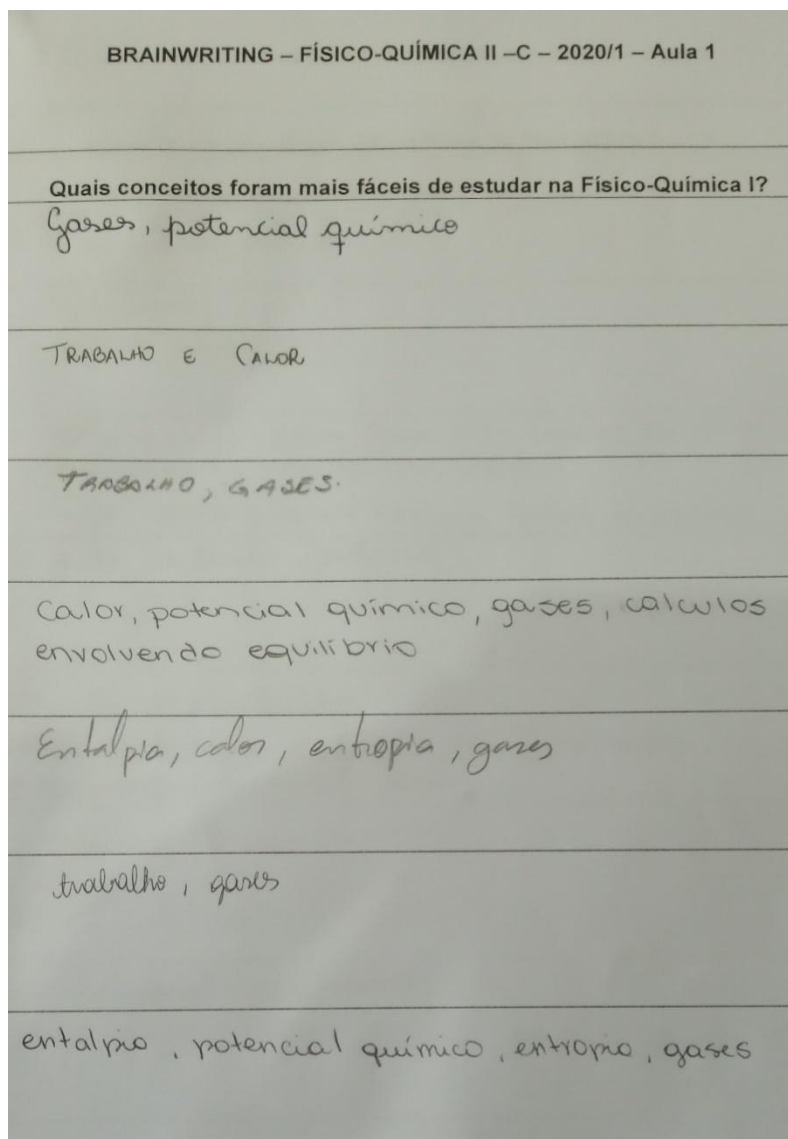
Considerando os resultados obtidos acima, percebe-se a oportunidade de reformulação dos objetivos educacionais para a disciplina, para que sejam apresentados de forma mais explícita. A explicitação dos objetivos educacionais tende a facilitar o processo de ensino e aprendizagem uma vez que os estudantes conseguem ter uma prévia de antemão do que será esperado dos mesmos ao final da instrução (BLOOM *et al.*, 1956). Além disso, a atuação da físico-química na formação discente pode ser potencializada se as habilidades de ordem superior também forem exploradas, convergindo com os níveis das classes superiores da Taxonomia (TSAPARLIS, 2020). Explorando assim, o domínio conceitual, e também outras habilidades tais como a escrita, a investigação, o pensamento crítico e a argumentação (MACK, TOWNS, 2016), em outras categorias de conhecimento, que, por sua vez, podem ser trabalhadas através de metodologias de ensino centradas no estudante – as metodologias ativas.

## **5.2 ANÁLISE DO PERFIL ACADÊMICO DA TURMA DE 2020/1 – ATIVIDADE PRESENCIAL: *BRAINWRITING POOL E MAPA MENTAL***

Além do conhecimento sobre as características da disciplina e das avaliações, para que fosse possível pensar na elaboração de uma sequência didática necessitou-se também conhecer o perfil dos sujeitos que cursaram a disciplina em 2020/1. De acordo com os registros do Diário de Campo, informalmente, na primeira aula do semestre presencial, realizada em 9 de março de 2020, a professora titular buscou saber quais e quantas disciplinas os estudantes estavam cursando no semestre, principalmente quanto às disciplinas de cálculo. Todos os estudantes responderam que já haviam cursado as duas disciplinas de cálculo obrigatórias. A professora buscou saber também há quanto tempo haviam cursado a disciplina de Físico-Química I-B. Dois dos sete estudantes afirmaram ter cursado a disciplina há mais de dois semestres, enquanto os demais afirmaram ter cursado há menos tempo.

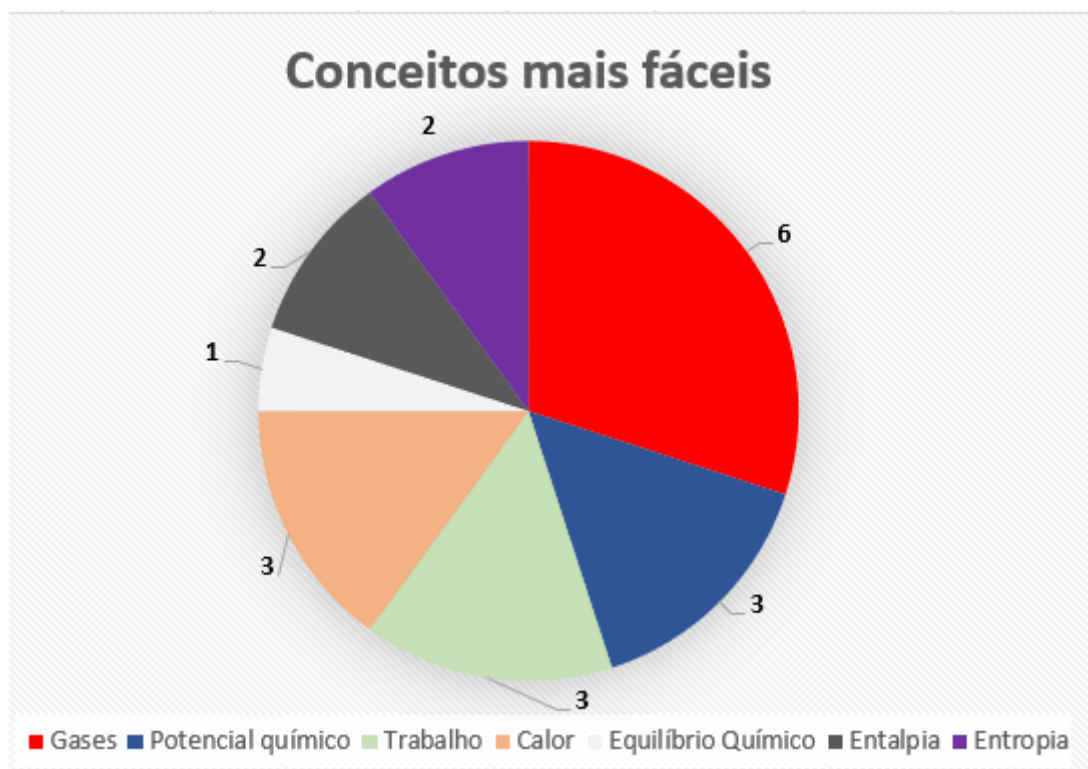
Nesta mesma aula, buscou-se entender sobre as dificuldades e facilidades dos estudantes na disciplina anterior, Físico-Química I-B. Foram considerados aspectos de conteúdo da matéria e de métodos de ensino utilizados na disciplina. Também foi necessário entender de quais dos conceitos prévios relativos à temática de soluções os estudantes conseguiriam lembrar. Para tal, utilizou-se da técnica de *Brainwriting Pool* (VANGUNDY, 1984).

A proposta da aplicação de uma atividade que apresentasse elementos da *Brainwriting* surgiu como uma possibilidade de diagnóstico das ideias que os alunos da turma de Físico-Química II – C apresentam sobre a sua experiência na disciplina anterior, de Físico-Química I - B. Enfatiza-se que a atividade apresenta elementos da técnica pois um dos pilares da proposta original conta com o complemento das respostas dos participantes por outros. Com a atividade de *Brainwriting Pool* queríamos entender como os conceitos desenvolvidos nas disciplinas anteriores foram significados ou apropriados pelos alunos, do que lembravam, do que não lembravam, das dificuldades e facilidades que tiveram e das expressões que eles relacionavam ao conteúdo de soluções. Assim, os alunos tiveram a permissão para eventualmente repetir alguns termos e escrever a partir das contribuições dos colegas. Tal atividade poderia ser realizada na forma de pré-teste, na qual os alunos descreveriam as suas respostas, mas a fim de buscar uma atividade mais dinâmica, que propusesse um grande engajamento da turma e também que fosse de curta duração, a atividade de *Brainwriting Pool* mostrou-se adequada e satisfatória. Para tal, foram separados três instrumentos diagnósticos com questões distintas. No primeiro, perguntou-se quais foram os conceitos mais fáceis de estudar na Físico-Química I-B. No segundo, quais foram as maiores dificuldades nesta disciplina, e no terceiro pediu-se para que escrevessem as primeiras ideias que viessem à mente quando o tema “soluções” lhes fora apresentado. Com o auxílio de um cronômetro, os três instrumentos foram distribuídos entre os 7 alunos presentes, e, passado um certo tempo, esses instrumentos deveriam ser repassados ao colega seguinte, de forma com que todos os alunos presentes escrevessem as suas contribuições para cada um dos três instrumentos com as questões. A atividade durou 8 minutos. As respostas dos estudantes são ilustradas nas figuras a seguir. Quanto aos conceitos em que os estudantes apresentaram maior facilidade em aprender na Físico-Química I-B, as respostas são apresentadas na Figura 4.



**Figura 4.** Recorte de imagem de atividade de *Brainwriting Pool* contendo respostas dos estudantes acerca dos conceitos mais fáceis aprendidos na Físico-Química I-B. Fonte: A autora.

O primeiro instrumento estava direcionado ao entendimento da visão conceitual que os alunos apresentavam sobre os tópicos trabalhados na disciplina de Físico-Química I-B. Ressalta-se que a turma cursou tal disciplina em semestres variados e com diferentes professores, e por este motivo, esperava-se uma maior participação da atividade pelos alunos que cursaram a Físico-Química I-B no semestre anterior frente àqueles alunos que cursaram a disciplina há mais tempo. No entanto, notou-se uma participação homogênea da turma. Dos dados obtidos do primeiro instrumento, gerou-se um gráfico representando os conceitos que os alunos julgaram terem tido mais facilidade em aprender na Físico-Química I-B (Figura 5).



**Figura 5.** Conceitos tomados pelos alunos como de maior facilidade de aprender a partir de sua experiência na Físico-Química I-B.

Nota-se que o conceito mais citado é o de gases (30%). Em Físico-Química I-B, os alunos puderam estudar gases ideais, modelos de gases reais e obter as variáveis termodinâmicas presentes em processos adiabáticos, isotérmicos, isocóricos, entre outros. Os conceitos de calor (15%) e trabalho (15%), ligados à primeira lei da termodinâmica, são citados em maior frequência em seguida, juntamente com o potencial químico (15%), usualmente trabalhado entre a terceira e quarta área da disciplina de Físico-Química I-B, prévia ao estudo de equilíbrio químico (5%), citado com menor frequência. As demais leis da termodinâmica são representadas pelos conceitos de entalpia (10%) e entropia (10%), de forma com que os conteúdos conceituais estruturantes da Físico-Química I-B se apresentam bem distribuídos. Estas informações foram utilizadas em uma segunda etapa da atividade.

O segundo instrumento, ainda tratando sobre a Físico-Química I-B, buscava identificar quais foram os pontos de maior dificuldade nesta disciplina (Figura 6).

Quais foram as maiores dificuldades na Físico-Química I ?

- Dedução de fórmulas

- Aula monótona

- Dedução

- questões abstractas

- Cálculo - prova todo mês (pouco tempo p/

- deducões muito conteúdo)

- aulas rápidos → sem explicar todos os passos

- muito conteúdo, dedução

⇒ bastante conteúdo

⇒ saber toda a dedução da fórmula

⇒ termoquímica (2<sup>a</sup> área)

⇒ POTENCIAL QUÍMICO

⇒ Potencial químico.

**Figura 6.** Recorte de imagem de atividade de *Brainwriting Pool* contendo as respostas dos estudantes quanto às maiores dificuldades na disciplina de Físico-Química I-B.

Fonte: A autora.

E gerou-se também um gráfico relativo a este questionamento (Figura 7).



**Figura 7.** Dificuldades apontadas pelos alunos de suas experiências na disciplina de Físico-Química I-B. Fonte: A autora.

Do segundo instrumento de *Brainwriting Pool* foi possível criar categorias para agrupar as dificuldades elencadas. Uma primeira categoria é a de conteúdos conceituais, na qual estão presentes os conceitos de termoquímica (7,1%) e potencial químico (14,3%), que também foram apontados na primeira folha como conceitos de fácil compreensão, o que reafirma a heterogeneidade na experiência dos alunos com a disciplina. Uma segunda categoria é de conteúdos procedimentais, que é representada pelos cálculos, apontadas nas respostas como “deduções de fórmulas” e também pelas questões abstratas. Estes dados podem ser um indicativo de que tais alunos possivelmente apresentam algumas lacunas formativas relativas às disciplinas de cálculo e também de interpretação de texto. Entretanto, a subcategoria de questões abstratas pode se encaixar também na terceira e última, relativa à própria característica da aula a que estiveram participando, e o fato de que tenham indicado que são trabalhadas questões abstratas sugere uma falha na explicitação dos objetivos indicados pelo professor para o desenvolvimento de conteúdos por parte do aluno. Essa categoria também apresenta como dificuldades o método de aula trabalhado pelos professores – com aulas “rápidas” e “monótonas”, bem como a quantidade massiva de conteúdos que são apresentados de



forma expositiva nas disciplinas de físico-química, convergente com relatos apontados na literatura (SÖZBILIR, 2004; FOX, ROEHRIG, 2015).

O último instrumento (Figura 8) foi incluído na atividade como uma forma de tentar elaborar uma primeira conexão entre a experiência prévia dos estudantes com os conceitos relacionados ao tópico de soluções, trabalhados em disciplinas anteriores como química geral, química analítica, em aulas da educação básica, etc. e os conceitos próprios da físico-química – em especial, da termodinâmica, e assim iniciar o módulo da disciplina.

**BRAINWRITING – FÍSICO-QUÍMICA II –C – 2020/1 – Aula 1**

Quais são as primeiras ideias que vêm a sua mente quando o tema é soluções?

puras, compostas, potencial químico, equilíbrio

concentração, potencial químico, soluto, solvente,

Sistema aberto, solubilidade, equilíbrio químico

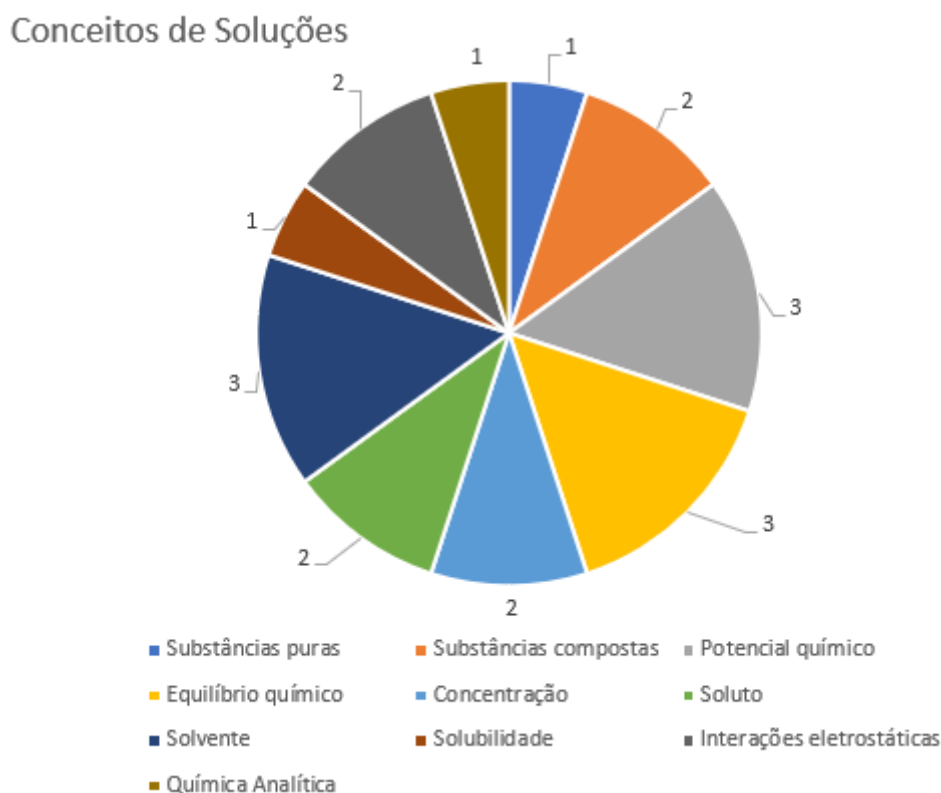
potencial químico, interações eletrostáticas

Equilíbrio químico, interações

=> soluto + solvente                      => H<sub>2</sub>O como solvente  
=> concentração                              universal  
=> química analítica

**Figura 8.** Recorte de imagem de atividade de *Brainwriting Pool* contendo as respostas dos estudantes acerca de termos relacionados ao tópico de soluções. Fonte: A autora.

E então gerou-se o último gráfico (Figura 9).



**Figura 9.** Conceitos relativos ao tópico de soluções indicados pelos alunos. Fonte: A autora.

O último gráfico apresenta uma grande diversidade de conceitos e expressões relacionadas a soluções. São aqueles, dos mais básicos, trabalhados exaustivamente desde a educação básica, solvente (15%), soluto (10%), concentração (10%), interações eletrostáticas (10%), substâncias compostas (10%), substâncias puras (5%), solubilidade (5%), química analítica (5%). Aos mais avançados, trabalhados em Físico-Química I-B – potencial químico (15%) e equilíbrio químico (15%). O termo chave deste instrumento corresponde à parcela do potencial químico, que de forma frequente é aplicado para a descrição do comportamento dos componentes presentes nas soluções em diversos processos. No mais, nota-se a presença da compreensão dos termos presentes no estudo das soluções no panorama da turma de alunos.

Após a realização desta atividade, a professora titular procurou revisitar os conceitos apresentados no instrumento 1 – relativo às facilidades de compreensão de conceitos trabalhados na Físico-Química I-B, de forma a promover um debate com

objetivos de revisão daqueles conceitos. A professora foi ao quadro e escreveu “potencial químico” e pediu que os alunos fizessem associações daquele termo aos demais apresentados, similar a um Mapa Mental (MOREIRA, 2006). Ao final da escrita, os estudantes voluntariamente ajudaram a relembrar os conceitos envolvidos por trás dos termos e assim pode se concluir que os estudantes apresentam uma boa compreensão acerca do que foi estudado na Físico-Química I-B. Associados à “potencial químico” foram adicionados pelos estudantes: “vontade de sofrer uma transformação química ou física”, seguida de “permissibilidade”; “energia de Gibbs” seguida de “energia potencial para exercer trabalho” e de “trabalho” foram relacionadas “máquina térmica” seguida de “ciclo de Carnot” e “1ª lei da termodinâmica”. Também de “energia de Gibbs” foi relacionado “espontaneidade”. A última associação feita a partir de “potencial químico” foi “transferência”, cuja associação foi feita à “matéria”. A continuação desta aula seguiu com o uso de projetor e uma apresentação em slides da professora para a revisão dos conceitos discutidos inicialmente durante a atividade de *Brainwriting Pool*.



**Figura 10.** Mapa Mental desenvolvido no quadro negro pelos alunos. Fonte: A autora.

Os dados coletados da atividade foram úteis para se pensar no desenvolvimento do restante do módulo e para identificar as concepções prévias dos estudantes. Com a análise da compreensão dos estudantes sobre os conceitos da Físico-Química I-B foi possível identificar o nível de profundidade nos quais os conteúdos poderiam ser trabalhados e definir quais seriam os objetivos educacionais para os alunos na área de termodinâmica de soluções, bem como a maneira que deveria ser elaborado o material didático, que também foi pensado conforme os apontamentos das dificuldades conceituais e procedimentais. Como proposta para resolução das dificuldades relativas à condução das aulas, buscou-se por metodologias ativas de ensino apropriadas.

### 5.3 DA PROPOSIÇÃO DE NOVOS OBJETIVOS EDUCACIONAIS PARA A FÍSICO-QUÍMICA II - C

No presente trabalho, o emprego da Taxonomia Revisada (ANDERSON, KRATHWOHL, 2001) tem como objetivo auxiliar no esboço de uma sequência didática e também na elaboração de um material didático complementar para o ensino de tópicos de termodinâmica de soluções na disciplina de Físico-Química II – C. Para tal, buscou-se delimitar quais seriam os objetivos educacionais almejados para a instrução. Assim, definiu-se que, tomando como base o grupo de sujeitos de pesquisa abrangidos neste trabalho, estudantes da Físico-Química II – C no semestre de 2020/1, propõe-se, baseados no plano de ensino da disciplina (UFRGS, 2020b), nas impressões da professora titular e nos relatos dos estudantes, coletados durante a atividade de *Brainwriting Pool*, os seguintes objetivos educacionais:

- i. Revisar conteúdos relacionados às propriedades termodinâmicas para substâncias puras, recordando conceitos como o potencial químico, e de procedimentos relacionados à obtenção de derivadas totais e parciais.
- ii. Entender as premissas e limitações do modelo ideal de solução, e como propriedades termodinâmicas como entalpia, entropia e energia livre de Gibbs podem explicar o modelo ideal a partir de aspectos termodinâmicos.
- iii. Aplicar a lei de Raoult para tratamentos quanto ao solvente em soluções ideais, a fim de obter dados de pressão parcial ou composição, e para realizar interpretações acerca de desvios do comportamento ideal. Da mesma forma, aplicar a lei de Henry para tratamentos do soluto em soluções idealmente diluídas, a fim de obter dados de pressão parcial ou composição.
- iv. Analisar como podem ser descritas as propriedades termodinâmicas de soluções não-ideais a partir dos desvios da idealidade, integrando o conceito de atividade.
- v. Analisar como as propriedades coligativas estão relacionadas com a lei de Raoult e comparar a relação de causa e efeito na alteração do potencial químico de espécies em solução quando adicionadas espécies não voláteis em soluções não-eletrolíticas.
- vi. Avaliar as proposições de atividades do módulo e contribuições do material didático para o desenvolvimento de conhecimentos diversos, checando por

pontos fortes e fracos durante a execução da sequência didática e da sua própria atuação.

- vii. Criar, com base no módulo de termodinâmica de soluções, um material de aula ou planejamento para o ensino de soluções para a Educação Básica ou Educação Profissional e Técnica, atuando em pequenos grupos.

**Quadro 6.** Nova proposição para a classificação dos objetivos educacionais para a disciplina de Físico-Química II – C para 2020/1.

Dimensão do Conhecimento	Dimensão dos processos cognitivos					
	1. lembrar	2. entender	3. aplicar	4. analisar	5. avaliar	6. criar
factual	x	x				
conceitual	x	x	x	x		x
procedimental	x		x			x
metacognitivo					x	x

Fonte: A autora.

Os objetivos elaborados têm como intuito tornar explícito o que o resultado do final do módulo de termodinâmica de soluções deve ser capaz de proporcionar aos estudantes, considerando o conteúdo trabalhado, tal como mencionado em Bloom *et. al* (1956).

O objetivo i) tem como propósito revisar conteúdos trabalhados na Físico-Química I-B. A sua classificação na célula de “lembrar” e “conhecimento factual” refere-se a aspectos de terminologia, tais como “propriedade extensiva”, “propriedade intensiva” ou o símbolo  $\mu$  como representação de potencial químico. Já a célula de “lembrar” e “conhecimento conceitual” refere-se às propriedades termodinâmicas em si. O “conhecimento procedimental” relacionado é representado pelas manipulações matemáticas para obtenção de derivadas parciais e totais.

O objetivo ii) tem como intuito fazer com que o estudante, ao final da instrução, entenda aspectos gerais da solução ideal, e isto inclui o conhecimento de fatos – símbolos, terminologias específicas para designar os componentes da solução, e de conceitos, para que entenda as implicações termodinâmicas que uma solução ideal apresenta devido aos modelos de partículas empregados para explicar a forma dos componentes e a maneira

como interagem. Assim, este objetivo pode ser classificado como pertencente às células da coluna de “entender” e das linhas de “conhecimento factual” e “conceitual”.

O objetivo iii) representa a parte prática das leis que serão aplicadas considerando o modelo empregado para representar a solução – o conhecimento conceitual, e as manipulações necessárias para avaliar comportamentos diferentes da idealidade – o conhecimento procedimental. Assim, representa um objetivo da classe de “aplicar” e conhecimentos “conceituais” e “procedimentais”.

Já o objetivo iv) busca integrar o conceito de atividade aos modelos ideais apresentados anteriormente de forma a tentar explicar o comportamento não ideal das soluções – eletrolíticas ou não, e por isso, foi classificado como “Analisar comportamento conceitual”, de forma a se propor uma visualização da correlação entre este novo conceito aos conhecimentos anteriores.

O objetivo v) Segue a mesma proposta de trabalho ao nível de “Analisar”. Uma vez que as propriedades coligativas são fenômenos que surgem do decréscimo do potencial químico de um solvente quando a ele é adicionado um soluto não volátil, a relação de causa e efeito presente deve ser percebida a partir dos conteúdos vistos previamente, especialmente no que se refere aos modelos de solução e suas limitações. Trata-se, portanto, de explorar majoritariamente um conhecimento conceitual em que se avalie essas relações.

O objetivo vi) foi proposto como uma atividade de reflexão dos estudantes sobre os resultados trazidos do módulo para a sua formação e também sobre a sua própria performance na instrução. Assim, tanto critérios externos podem ser utilizados para criticar a experiência da instrução quanto critérios internos para avaliar a sua própria cognição (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001). E, portanto, este objetivo foi classificado como “avaliar” “conhecimento conceitual” e “metacognitivo”.

O último objetivo, vii) da classe de “Criar” objetiva a proposta de uma estrutura não vista antes, segundo Anderson e Krathwohl (2001). Considerando uma turma de alunos de licenciatura, a proposição para este objetivo é elaborar um material – seja ele uma aula, uma atividade ou avaliação abordando o conceito de soluções trabalhado e direcionando para um determinado público à escolha de um grupo de estudantes, requerendo, portanto,

de “conhecimento factual”, “conceitual”, “procedimental” e “metacognitivo” para tal, explorando conhecimentos, habilidades e atitudes.

Outro aspecto importante refere-se às experiências prévias dos estudantes, que elencaram como dificuldades encontradas na disciplina predecessora a grande quantidade de conteúdos, as exigências matemáticas e questões relativas aos conteúdos na primeira aula onde fora conduzida a atividade de *Brainwriting Pool*. A físico-química é, por natureza, uma área da química cujo apelo matemático é grande. No entanto, reflete-se também sobre a importância de uma boa base conceitual acerca dos temas apresentados nas disciplinas (MACK; TOWNS, 2016). Frente ao exposto, este foi o enfoque dado para o material didático: Fornecer uma interpretação mais direcionada aos fenômenos envolvidos na temática de soluções, trazendo, na medida do possível, exemplos macroscópicos para ilustrar situações onde se percebem a ocorrência desses fenômenos e também uma linguagem menos formal, buscando despertar a empatia dos estudantes e assim aumentar o interesse pelo estudo na disciplina. As deduções matemáticas ficaram a cargo do período das aulas e do suporte dos livros-texto da bibliografia da disciplina. O material apresenta os verbos da Taxonomia Revisada (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001) em cada uma das unidades do módulo de Termodinâmica de Soluções, explicitando os objetivos para cada um dos conteúdos apresentados nos capítulos. No mesmo sentido, atividades de cunho formativo foram elaboradas para prover complemento às habituais listas de exercícios da disciplina. Por fim, a sequência didática elaborada apresenta uma mescla entre a tradicional aula expositivo-dialogada com atividades baseadas em metodologias ativas como *Peer Instruction*, Resolução de Problemas e Estudos de Caso e de recursos como o Mapa Mental e a *brainwriting pool*.

#### **5.4 DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA E MATERIAL DIDÁTICO**

Considerando o cenário de pandemia da COVID-19, as aulas presenciais em diversas instituições de ensino foram suspensas, e universidades, institutos e escolas passaram a adotar o sistema de Ensino Remoto Emergencial (ERE). No ERE da UFRGS, implementado 5 meses após o cancelamento das aulas presenciais, as aulas teóricas de disciplinas foram conduzidas de forma totalmente remota. Neste contexto, os resultados aqui descritos apresentam proposições teóricas sobre o processo de elaboração da sequência didática e material didático, visto que estes foram elaborados considerando uma implementação no modelo de ensino presencial.

A sequência didática produzida é demonstrada no Quadro 7 abaixo.

**Quadro 7.** Proposição de sequência didática para o módulo de termodinâmica de soluções para a disciplina de Físico-Química II-C considerando os objetivos educacionais elaborados.

<b>ENCONTRO</b>	<b>CONTEÚDOS</b>	<b>CLASSES PRESENTES</b>	<b>METODOLOGIAS e MATERIAIS</b>
<b>1</b>	Diagnóstico do perfil da turma;  Quantidades parciais molares, Equação de Gibbs-Duhem.	Relembrar	<i>Brainwriting Pool</i> ,  Mapa Mental  Tarefas do material didático.
<b>2</b>	Quantidades de mistura, Propriedades da solução ideal, lei de Raoult, lei de Henry.	Entender, Aplicar	Aula expositiva-dialogada;  <i>Peer Instruction</i> ,  Tarefas do material didático.
<b>3</b>	Propriedades da solução real; Funções de excesso.	Entender, Analisar	Aula expositiva,  Tarefas do material didático.
<b>4, 5</b>	Propriedades coligativas; soluções eletrolíticas e teoria de Debye-Hückel.	Entender, Analisar	Aula expositiva;  Resolução de Problema;  Tarefas do material didático.
<b>6, 7</b>	Aplicação do questionário final e elaboração da atividade final.	Avaliar, Criar	Questionário final sobre as impressões das atividades do módulo;



			Assessoria para organização do trabalho final.
<b>8, 9</b>	Apresentação do trabalho final e aplicação da prova da área.	Criar	Estudos de Caso,  Apresentação das produções finais em forma de seminários.

Fonte: A autora.

A justificativa para a proposição desta sequência didática se baseia primeiramente nos objetivos educacionais delimitados considerando a cobertura de assuntos da disciplina. Tal como em Anderson e Krathwohl (2001) e Partanen (2016), ressalta-se a importância de o professor atentar aos conteúdos mais expressivos a se trabalhar no curto intervalo de tempo de uma disciplina. Uma vez que as disciplinas de físico-química na graduação são frequentemente apresentadas com uma massiva carga de conteúdos, como visto em (SÖZBILIR, 2004) e também na Figura 6, faz-se necessário um equilíbrio entre a cobertura e profundidade dos assuntos escolhidos. É necessário admitir que determinados tópicos são menos relevantes para o tempo de ensino disponível do que outros, afinal, trata-se da disposição de somente um semestre para trabalhar com alguns tópicos da termodinâmica e também de cinética (UFRGS, 2020b). Assim, também nesta sequência didática é refletido este recorte em comparação ao documento do plano de ensino da disciplina (UFRGS, 2020b).

Para o primeiro encontro, é mantida a proposta realizada no encontro 1 aplicada no modelo presencial de março de 2020. A atividade baseada em *brainwriting pool* mostra-se como uma alternativa aos tradicionais questionários para levantar questões mais diretas sobre as dificuldades dos alunos em suas experiências prévias. Apesar de não propiciar uma profunda análise sobre as justificativas das respostas dos alunos, pode ser uma boa opção para disciplinas com grande quantidade de assuntos e pouco tempo disponível, como é o caso. A proposição do Mapa Mental construído de forma conjunta também permite a percepção sobre o inventário de ideias e conceitos que os estudantes trazem das disciplinas anteriores e da vida cotidiana, podendo assim ser um primeiro instrumento diagnóstico sobre o perfil de conhecimentos da turma. Além disso, na primeira aula é apresentado o plano de ensino em todas as disciplinas da universidade.

Portanto, o tempo para a aula expositiva é reduzido devido ao primeiro contato inicial com os estudantes. Considerando as respostas apontadas pelos estudantes nos instrumentos que investigavam dificuldades e facilidades na Físico-Química I-B, propõe-se a cobertura do tópico de quantidades parciais molares para este primeiro encontro, uma vez que relaciona-se às propriedades de substâncias puras (aprendido na Físico-Química I-B), requerendo que estudantes recordem de conceitos tais como o potencial químico, e de procedimentos tais como a obtenção de um diferencial total (aprendidos nas disciplinas de cálculo e também na Físico-Química I-B). As páginas 4-12 do Material Complementar (APÊNDICE C) buscam sintetizar as ideias trabalhadas nesta aula de forma simples. Tal como sugerido por Partanen (2016), as atividades elaboradas apresentam-se com um grau de dificuldade progressivo e com objetivos almejando processos cognitivos diferentes, entre as classes dos níveis 1, 2 e 3. Um exemplo é ilustrado na Figura 11 abaixo.

### APLICANDO

O ácido tricloroacético (TCA) ( $\text{CCl}_3\text{COOH}$ ) é um componente presente em soluções para o tratamento de verrugas causadas pelo vírus do papiloma humano (HPV), aplicando a solução diretamente nos tecidos onde estão presentes as lesões. Retirado de *Ácido Tricloroacético* - Wikipédia. Presente em [https://pt.wikipedia.org/wiki/%C3%81cido\\_tricloroac%C3%A9tico](https://pt.wikipedia.org/wiki/%C3%81cido_tricloroac%C3%A9tico) acesso em fevereiro/2020.

Ao se preparar uma solução aquosa do TCA, nota-se um aumento no volume da solução, que não representa a soma dos volumes individuais de água e TCA. Com o uso de um picnômetro, pode se encontrar o volume parcial molar dos componentes da solução.



**Figura A** Picnômetros com termômetro. Um picnômetro é um recipiente de vidro construído para que o volume de um fluido não se altere. Retirado de <http://www.splabor.com.br/blog/vidraria/aprendendo-mais-picnometro-saiba-como-utiliza-lo/>

Você prepara as amostras para realizar as medidas a 25 °C, 1 atm. Você adiciona 50 mL de água ao frasco, que é então rolhado e colocado no termostato. Cinco amostras de TCA de 3 a 4 g são sucessivamente adicionadas ao frasco, dissolvidas e colocadas no termostato até que o equilíbrio seja atingido (cerca de 10 minutos). Anota-se a leitura do menisco antes e depois de cada adição de TCA. Eis os dados que você obtém:

Quantidade de TCA adicionado (g)	Número de mols de TCA	Aumento do volume ( $\Delta V$ ) (mL)	Volume total (mL)
2.56	0.0156	1.3	53.9
5.18	0.0316	2.7	55.3
7.44	0.0455	3.8	55.6
10.23	0.0626	5.4	57.2
12.83	0.0785	6.8	58.6
15.92	0.0975	8.6	60.4
17.54	0.1091	9.6	61.4

Dados retirados de A demonstration experiment on partial molar volumes, *J. Chem. Educ.* 1970, 47, 4, 270.

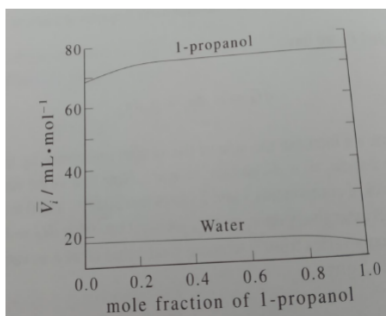
Aplique os dados tabelados na construção de um gráfico de Volume de solução x Composição de TCA para obter o volume parcial molar do TCA e o volume parcial molar da água quando a solução for composta por 10.23 g de TCA.

**Figura 11.** Recorte de questão envolvendo o conteúdo de quantidades parciais molares explorando os processos cognitivos da classe de aplicar. Fonte: A autora.

Para o encontro 2, são apresentados os conceitos de quantidades (ou funções termodinâmicas) de mistura e as leis de Raoult e Henry. Ao final da instrução, é proposta que seja realizada a atividade baseada em *Peer Instruction* para estes tópicos. A aplicação dos *ConcepTests* da *Peer Instruction* pode alinhar-se então ao desenvolvimento

dos níveis 1 e 2 da Taxonomia – Relembrar e Entender, respectivamente. A fim de avaliar a compreensão conceitual dos estudantes no desenvolvimento desses dois níveis quanto aos tópicos apresentados nas duas primeiras aulas da disciplina, correspondentes à iniciação às quantidades parciais molares, e às Leis de Raoult e Henry aplicadas às soluções ideais, elaborou-se questões conceituais baseadas nesses assuntos, presentes nas Figuras 12-15.

1) Considere uma solução de 1-propanol e água a 20 °C.



Tal solução é preparada adicionando-se 100 mL de água e 100 mL de 1-propanol.

Nestas condições, o volume final da solução será:

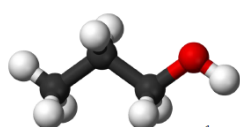
- a) Maior do que o volume adicionado
- b) Igual ao volume adicionado
- c) Menor do que o volume adicionado
- d) Praticamente igual ao volume de 1-propanol

Dados: Massa molar do 1-propanol = 60,09 g/mol  
 $\rho$  propanol: 0,803 g/mL /  $\rho$  água: 0,998 g/mL (20 °C)

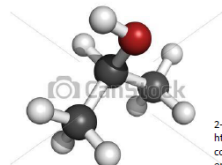
Retirado de McQuarrie, D. Simon, J. Physical Chemistry: A molecular approach. University Science Books, 1997.

**Figura 12.** Recorte de apresentação em slides da atividade de *Peer Instruction* cobrindo o tópico de quantidades parciais molares. Fonte: A autora.

2) Considere uma mistura de 1-propanol e 2-propanol com comportamento ideal.



1-propanol. Retirado de <https://en.wikipedia.org/wiki/1-Propanol>. Acesso em março de 2020.



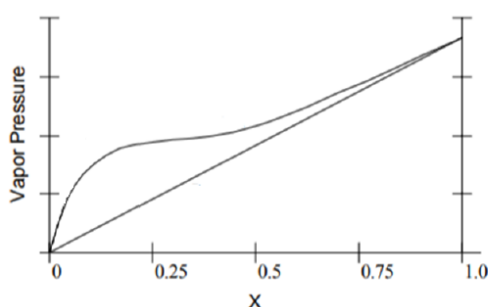
2-propanol. Retirado de <https://www.canstockphoto.com.br/white-convensional-coding-13224983.html>. Acesso em março de 2020.

Pode-se afirmar sobre as propriedades do sistema que

- a)  $\Delta H_{\text{mix}} < 0$ ,  $\Delta G_{\text{mix}} = 0$
- b)  $\Delta H_{\text{mix}} = 0$ ,  $\Delta G_{\text{mix}} = 0$
- c)  $\Delta H_{\text{mix}} < 0$ ,  $\Delta G_{\text{mix}} < 0$
- d)  $\Delta H_{\text{mix}} = 0$ ,  $\Delta G_{\text{mix}} < 0$

**Figura 13.** Recorte de apresentação em slides da atividade de *Peer Instruction* cobrindo o tópico de quantidades de mistura. Fonte: A autora.

3) Observe a figura abaixo mostrando uma relação entre a pressão de vapor e a fração molar de um componente  $i$  presente em uma solução.

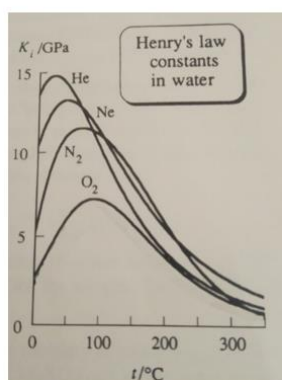


Na faixa de composição correspondente a uma fração molar  $x_i$  próxima de 0,9, qual das leis descreverá melhor a pressão de vapor exercida por este componente?

- a) A Lei de Raoult
- b) A Lei de Henry

**Figura 14.** Recorte de apresentação em slides da atividade de *Peer Instruction* cobrindo o tópico das leis de Raoult e Henry. Fonte: A autora

4) Na figura são plotadas as constantes de Henry para diversos gases presentes em água a temperaturas diferentes.



Qual dos gases presentes na figura é mais solúvel em água na temperatura de 100 °C?

- a) He
- b) Ne
- c) N<sub>2</sub>
- d) O<sub>2</sub>

Retirado de Levine, I. N. 6th ed, McGraw Hill, 2009.

**Figura 15.** Recorte de apresentação em slides da atividade de *Peer Instruction* cobrindo o tópico da lei de Henry. Fonte: A autora.

A proposição de aplicação de atividades de *Peer Instruction* chama a atenção do estudante para os conceitos-chave dos tópicos de aula e fornece a oportunidade para o desenvolvimento de habilidades de argumentação ao interagir com colegas e com a turma, permitindo que o estudante expresse suas concepções e dificuldades acerca dos assuntos, provendo assim um *feedback* imediato aos professores. As quatro questões foram elaboradas a partir de figuras que os livros-texto indicados na bibliografia da disciplina costumam apresentar como exemplo ilustrativo da teoria desenvolvida. Buscou-se desenvolver questões bem pontuais sobre os conceitos-chave desenvolvidos até a segunda

aula, com o nível de profundidade abordado considerando uma introdução dos estudantes à metodologia e também à recente apresentação dos conceitos.

Todas as quatro questões desenvolvidas voltam-se ao estudo das soluções ideais e idealmente diluídas quanto às suas propriedades termodinâmicas e ao comportamento dos componentes presentes. A questão 1 propõe a ilustração de uma solução de 1-propanol e água a 200 °C que foi adicionada de 100 mL de cada um dos componentes. Pergunta-se sobre o volume final da solução. Espera-se que o aluno ao ler o exemplo relembra dos conceitos de quantidades parciais molares – no caso, do volume parcial molar para a sua resolução, que baseia-se primeiramente em entender que cada um dos componentes contribui ao volume da solução e que a variação da sua composição implica diretamente em mudanças para essas contribuições e que portanto, não necessariamente será verdade que o volume final da solução será igual à soma dos volumes dos líquidos puros adicionados, o que eliminaria a alternativa ii. Também o volume da solução não deve ser praticamente igual ao volume de etanol, pois tal caso implicaria na presença de uma quantidade muito baixa de água, situação em que a fração molar de etanol aproximasse de 1, o que não é o caso. Por fim, o acréscimo ou decréscimo de volume de solução quanto ao volume previsto (de 200 mL) dependerá dos tipos de interações intermoleculares estabelecidas por estas duas moléculas, e a análise de tal fenômeno será obtido pelo cálculo do volume final a partir das leituras dos volumes parciais molares de cada um dos componentes das curvas apresentadas na figura. Para 100 mL de cada um dos componentes, o aluno deve encontrar uma fração molar de 1-propanol = 0,194. Como resultado final, o aluno deve encontrar que o volume desta solução é menor do que o volume previsto.

A questão 2 ilustra um exemplo de mistura de dois álcoois com comportamento ideal. O objetivo desta questão é fazer com que o aluno relembra que as propriedades termodinâmicas das soluções são dependentes dos tipos de interações intermoleculares estabelecidas pelas espécies e pelo aumento de entropia, e que assim são definidas novas propriedades quando estes componentes são misturados. Dessa forma, nota-se que para o caso de uma solução ideal, as propriedades dependentes das interações intermoleculares apresentam um valor igual a zero, como é o caso de  $\Delta H_{\text{mix}}$ . O aluno que escolhe as opções com  $\Delta H_{\text{mix}} < 0$  pode apresentar uma lacuna conceitual ao pensar que tal mistura pode apresentar liberação de calor, e tal escolha reflete que as definições apresentadas para uma solução ideal – de não alteração das interações estabelecidas entre as moléculas

misturadas e os componentes puros – não foram bem compreendidas. Já as escolhas relativas as alternativas que apresentam  $\Delta G_{\text{mix}} = 0$  podem induzir o aluno a pensar que a mistura destes componentes depende única e exclusivamente destas interações, tal como  $\Delta H_{\text{mix}}$ . Para  $\Delta G_{\text{mix}}$  avalia-se também o fator entrópico, uma vez que a distribuição das moléculas destes componentes é dado de forma randômica. Como  $\Delta S_{\text{mix}}$  é maximizada para uma mistura ideal,  $\Delta G_{\text{mix}} < 0$ .

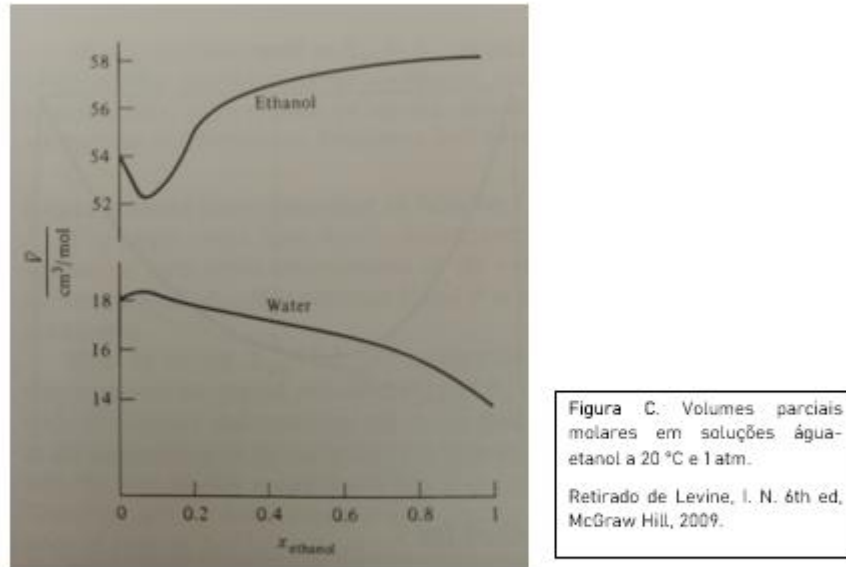
A questão 3 trata de um gráfico de pressão de vapor em função da fração molar de um determinado componente. A Lei de Raoult é dada pela reta partindo da origem, e nota-se que a pressão real para este componente apresenta um desvio positivo em relação a essa. Assim, espera-se que nesta questão especificamente o aluno identifique em quais situações pode-se aplicar uma das duas leis (de Raoult e de Henry) no caso de uma solução idealmente diluída de forma com que o modelo ideal previsto por estas não se distancie muito do real. Observa-se que para composições muito baixas, tal componente comporta-se como soluto, e que a lei de Henry torna-se uma melhor aproximação para a descrição de seu comportamento na solução. Já para composições mais altas, como é o caso do enunciado, com uma fração molar de 0,9, nota-se que o comportamento deste componente é o de um solvente, e portanto a Lei de Raoult é mais adequada.

Por fim, a questão 4 apresenta uma aplicação para a Lei de Henry relacionada a solubilidade de um gás em um líquido. Dadas as condições em que um gás está a baixas concentrações dissolvido em um líquido, a solução comporta-se como idealmente diluída e a lei de Henry pode ser aplicada. A intenção desta questão é fazer com que o aluno relembre para quais condições se trabalhou com a lei de Henry e também para que entenda em quais outras situações esta também é válida. Espera-se que o aluno consiga interpretar a relação que a constante de Henry,  $K_i$ , e a fração molar – representando a solubilidade do gás mantêm uma com a outra. Um gás será tão mais solúvel em um dado líquido quanto menor se apresentar a sua constante de Henry, e por isso, o  $O_2$  é o gás mais solúvel em água na temperatura de 100 °C.

O material complementar também conta com atividades complementares aos tópicos trabalhados no encontro 2 (Figura 16).

## ENTENDENDO

Na figura abaixo estão presentes as curvas de volumes molares de soluções de água-etanol preparadas a 1 atm e 25 °C e como variam em função da fração molar de etanol.



Observando a figura com atenção, descreva sucintamente o que acontece com o volume molar dos componentes da solução com o aumento da fração molar de etanol e como a equação de Gibbs-Duhem pode auxiliar na interpretação do fenômeno apresentado na figura.

**Figura 16.** Recorte de imagem apresentando um exemplo de atividade abordando as quantidades parciais molares.

O encontro 3 introduz o tópico das soluções reais, cujo foco principal são as funções de excesso. Nesta aula, muitas analogias para compreender a não-idealidade das soluções são elaboradas a partir do modelo ideal, e portanto, muito do que já foi estudado é revisto para o novo modelo, sendo necessária a aplicação e reflexão sobre a interligação entre estas ideias, e portanto, trata-se do nível de analisar. Segundo Partanen (2016), há uma melhoria no rendimento dos estudantes quando a aula é segmentada em intervalos e há a incorporação de exercícios de caráter qualitativo e quantitativo. Assim, sugere-se no início da aula a entrega de uma folha contendo os exercícios presentes na parte 3 do material complementar (p.21, 24-25) (APÊNDICE C), seguida da apresentação dos tópicos da aula – uma breve recapitulação do modelo ideal de solução e as propriedades termodinâmicas, e após uma apresentação das funções de excesso, separadas em pequenos intervalos para que os estudantes resolvam os exercícios em duplas ou pequenos grupos e possam entregar ao final da aula.



Para os encontros 4 e 5 são trabalhados os conceitos de propriedades coligativas e de soluções eletrolíticas, terminando na teoria de Debye-Hückel. As ideias-chave para as propriedades coligativas consistem em demonstrar como o potencial químico de um componente puro é alterado quando é feita a adição de um soluto, enquanto que para trabalhar com soluções eletrolíticas deve se avaliar o coeficiente de atividade decorrente da interação de cargas. Sendo assim, ambos os tópicos abordam conceitos expandidos pelas informações apresentadas anteriormente, necessitando se entender a relação das partes para entender o todo. Portanto, trata-se de explorar a classe de analisar.

Uma preocupação dos estudantes é o sentimento de desconexão de assuntos da físico-química com a realidade, principalmente quanto à aplicação dos conceitos aprendidos (SÖZBILIR, 2004). Por se tratar de uma sequência didática considerando o perfil de sujeitos estudantes de licenciatura em química, elaborou-se uma atividade baseada na Resolução de Problemas (APÊNDICE D) para que estes sujeitos experienciem maior afinidade com o conteúdo da aula, com a metodologia de ensino e com as habilidades possíveis de se explorar para além dos conhecimentos conceituais (Figura 17).

### Resolução de Problema

A adulteração do leite é um problema frequentemente noticiado na mídia<sup>1,2</sup>. Algumas empresas realizam esse tipo de fraude com o intuito de alterar o volume contido na caixa e a validade do produto, adicionando água e outros componentes, como ureia, água oxigenada, entre outros. A implicação disso é que os consumidores passam a não obter a principal proteína do leite, a caseína, e acabam por ingerir diversos componentes nocivos.

Um caso ocorreu recentemente em uma cidade próxima a Porto Alegre. Após a denúncia por um dos próprios trabalhadores da empresa de laticínios, o Tribunal de Justiça pediu consultoria a você, professor(a) de química, para que conduza a análise dos produtos vendidos por essa empresa e diga se a denúncia de adulteração por adição de água é verdadeira para que se possa avaliar a possibilidade de punição a essa empresa. Você então, juntamente com uma equipe de alunos, conduz testes com amostras de leite integral e leite desnatado dessa empresa através da análise crioscópica.

Eis os dados dos experimentos realizados:

Tabela 1 – Medidas de Temperaturas de Congelamento obtidas para as amostras

AMOSTRA	Tf 1 (°C)	Tf 2 (°C)	Tf 3 (°C)	MÉDIA DAS MEDIDAS (°C)
AMOSTRA (A)	-0,517	-0,5115	-0,515	-0,515
AMOSTRA (B)	-0,487	-0,485	-0,481	-0,487
AMOSTRA (C)	-0,467	-0,460	-0,463	-0,463
AMOSTRA (D)	-0,532	-0,528	-0,534	-0,531

Analise os dados obtidos do experimento e, comparando com as informações contidas em normas e legislações indicadas pelo MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento) e outros órgãos competentes sobre a produção de leite integral e sua composição, redija uma nota ao Tribunal de justiça, explicando como se realiza a interpretação do fenômeno presente nessa análise e concluindo se houve ou não alteração no leite dessas amostras.

Referências:

<sup>1</sup> <https://www.conjur.com.br/2020-jun-29/laticinio-pagar-milhao-indenizacao>

<sup>2</sup> <https://www.folhadonoroste.com.br/noticias/leite-compensado-tres-pessoas-sao-presas-por-fraude-no-leite/>

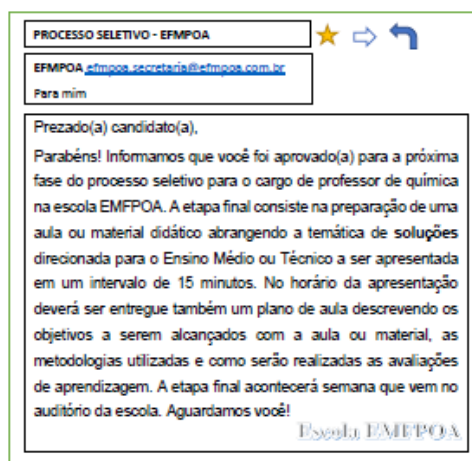
**Figura 17.** Atividade baseada em resolução de problema sobre o tópico de propriedades coligativas. Fonte: A autora.

O intuito principal desta atividade é demonstrar para os estudantes a importância do tópico de propriedades coligativas para além dos exemplos mais comuns como o derretimento de gelo de estradas pela adição de sal ou sobre o momento da adição de sal no cozimento de alimentos. Utilizando da base de notícias reais e situações locais, a atividade está mais próxima da realidade dos sujeitos de pesquisa estudantes da química licenciatura na UFRGS (situada em Porto Alegre). Além disso, a realização da atividade explora outros aspectos tais como a habilidade de pesquisa e comunicação escrita como habilidades científicas (DE LIMA *et. al*, 2017), sendo assim um exemplo de como estes outros tipos de conhecimento podem ser explorados em uma disciplina como a físico-química. Por demandar de pesquisa na legislação, sugere-se essa atividade como extra-classe. Para o tópico de soluções eletrolíticas é sugerida uma atividade na página 33.

Os encontros 6 e 7 são voltados para a avaliação do módulo e também para a organização do trabalho final. No encontro 6 é proposta a entrega de um questionário final (APÊNDICE F) considerando aspectos da disciplina – quanto aos conteúdos trabalhados, metodologias aplicadas, e aspectos metacognitivos considerando a atuação do estudante na disciplina. O questionário foi apresentado com questões de escala Likert de concordância e também questões abertas para comentários. Logo, com esta atividade busca-se promover a criticidade dos estudantes explorando aspectos para o despertar para a cognição, principalmente quanto ao auto-conhecimento, desenvolvendo o conhecimento metacognitivo ao nível de avaliar (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001). Na mesma aula do encontro 6 são previstos momentos para esclarecimentos sobre o trabalho final e de assessoria para dúvidas sobre o mesmo ou sobre questões anteriores. Uma vez que o trabalho final é proposto na forma de um Caso onde um novo material ou aula deverá ser proposto pelos alunos, trata-se de uma atividade ao último nível da Taxonomia, o nível de criar. Nesta atividade, os 4 tipos de conhecimento se fazem presentes e deverão ser explorados pelos estudantes, que deverão propor uma aula ou um material didático envolvendo o tópico de soluções para um determinado público (Figura 18). O Caso criado pode ser conferido no APÊNDICE E.

#### Caso: Processo Seletivo na EMFPOA

A escola EMFPOA anunciou que estará admitindo novos professores para compor a equipe de ciências da natureza. São anunciadas 2 vagas para novos professores de química que atuarão em turmas do Ensino Médio e no curso técnico de Química oferecido na escola. Assim como na seleção de professores de contrato temporário no estado do Rio Grande do Sul, estudantes em formação poderão se inscrever no processo de seleção, contanto que estejam pelo menos na 5ª etapa do curso. Você e sua dupla de estudos decidem se inscrever enviando o comprovante de matrícula para o portal de inscrições. Terminado o período de inscrição, um e-mail da secretaria da escola chega para vocês.



Felizes com a resposta positiva, você e sua dupla decidem unir forças e atuar juntos no planejamento para que ambos sejam admitidos na equipe. Decidam o público-alvo e as estratégias didáticas a serem exploradas para o trabalho. Redijam um plano de aula contendo os requisitos apontados no e-mail e o(s) tópico(s) da temática de soluções a ser(em) escolhido(s). Por último, preparem-se para a apresentação para a equipe da escola!

**Figura 18.** Recorte de imagem da atividade de Estudo de Caso. Fonte: A autora.

Já o encontro 7 não prevê outras atividades. Considerando o curso de licenciatura em Química na UFRGS, que ocorre no turno noturno, no qual muitos estudantes trabalham durante o dia, se faz necessária a disposição de um horário para que seja feita a organização para este trabalho.

Por fim, os encontros 8 e 9 são reservados para a aplicação da prova da disciplina e para a apresentação dos trabalhos dos estudantes, realizados na forma de curtos seminários onde possam demonstrar a suas propostas de aula para a turma. Neste momento, é importante que o professor atente ao cumprimento dos requisitos apresentados na narrativa - tais como a explicitação dos objetivos da resolução proposta, a escolha dos tópicos trabalhados, o direcionamento adequado considerando o público-alvo, e também as habilidades de comunicação oral, escrita e de trabalho em equipe, proporcionando uma avaliação de cobertura conceitual, procedimental e atitudinal ao mesmo tempo. A atividade do tipo Estudo de Caso proposta direciona a resolução a ser feita por duplas. Nas duas edições de oferta da disciplina da Físico-Química II-C até

então, o número de estudantes cursantes não passou de 10. Considerando este cenário, um período seria o suficiente para as apresentações. É claro, ressalta-se a possível necessidade de realização da continuação da atividade em um segundo período no caso de um grande número de estudantes cursantes.

As Diretrizes Curriculares Nacionais para o Curso de Química, dadas pelo Parecer CNE/CES 1.303/2001 destacam a necessidade de atualização dos currículos ofertados pelas Universidades de forma com que o perfil de seus egressos acompanhe os avanços científicos e tecnológicos vivenciados pelo setor produtivo e pela sociedade de forma geral. Tal atualização deveria favorecer a autonomia do estudante no processo formativo. Neste cenário, o papel do professor muda de “ensinar coisas e soluções” para “ensinar o estudante a aprender coisas e soluções”. Como produto deste processo, o egresso deve ser beneficiado com as habilidades de “ler o mundo”, aprender a questionar as situações, sistematizar problemas e buscar criativamente soluções (BRASIL, 2001).

Norteadada pela Resolução nº2/2015, a formação inicial e continuada de professores prevê no artigo 2º, parágrafo 2 que:

§ 2º No exercício da docência, a ação do profissional do magistério da educação básica é permeada por dimensões técnicas, políticas, éticas e estéticas por meio de sólida formação, envolvendo o domínio e manejo de conteúdos e metodologias, diversas linguagens, tecnologias e inovações, contribuindo para ampliar a visão e a atuação desse profissional.

Sendo assim necessária uma formação que promova o desenvolvimento do perfil do licenciado que é provido de conhecimentos pedagógicos, de conteúdo e outros para sua futura atuação. Como presente no artigo 3º da Resolução CNE/CP1/2002, a formação deste licenciado exige a promoção da consistência entre o que faz na formação e o que dele se espera. Logo, enquanto vivenciam como alunos a experiência de aprendizagem através de metodologias de ensino diversas, preparam-se para a futura atuação docente. E é neste contexto que se faz a proposição de inclusão destas atividades à sequência

didática desenhada para a disciplina de Físico-Química II-C. Ressalta-se que, apesar da delimitação da proposta considerando como grupo de sujeitos estudantes de licenciatura, não há nenhum impedimento para a aplicação de uma adaptação desta sequência didática a grupos de estudantes do bacharelado ou de outras ênfases e cursos (tais como Engenharias), na medida em que muitos ganhos de aprendizagem podem ser alcançados com aulas que façam uso das metodologias ativas e posicionem o estudante no centro da aprendizagem (tal como mencionado no capítulo 5 de Metodologia). É claro, que para um grupo de estudantes de um curso de engenharia, por exemplo, modificações no Caso proposto seriam necessárias de forma a despertar o interesse do estudante na atividade. O mesmo é válido para outras formações.

Também faz-se necessário ressaltar que esta sequência didática não se apresenta como verdade absoluta a ser imposta a todas as aulas de Físico-Química II-C, mas sim uma nova proposta de se explorar outros aspectos durante as aulas, de forma a aproximar os estudantes da físico-química e torná-la mais atrativa e proveitosa para o seu grupo de estudantes: licenciandos. A professora titular possui suas listas de exercícios, suas lâminas de aula contendo os conteúdos, há uma lista de referências bibliográficas etc, e por isso propomos aqui um material complementar para atender a demandas dos estudantes quanto a uma forma menos rigorosa matematicamente de apresentar os assuntos, com maior apelo conceitual e trazendo alguns relatos de aplicações cotidianas destes conceitos objetivando ressaltar a importância de seu aprendizado. Deve se notar que, nesta etapa do currículo, os estudantes não cursarão uma disciplina experimental obrigatória que aborde estes conceitos, conforme consta na reformulação curricular de 2017 (UFRGS, 2017). Portanto, através de atividades contendo estes exemplos os estudantes podem ter uma ideia da conexão do conteúdo visto na aula com o ambiente fora dela.

Outro aspecto a se discutir está relacionado às metodologias e atividades empregadas. Inicia-se no *brainwriting pool*: apesar de se apresentar com uma maneira de resolver o problema de integração de pessoas tímidas à atividade quanto a exposições orais, não há garantia de que os estudantes sintam-se engajados a responder sobre suas dificuldades e facilidades, mesmo com o preenchimento anônimo. Já o Mapa Mental, como descrito na seção de metodologia, consiste em representar ideias associadas ao conceito central, não havendo uma hierarquia ou organização tal como em um Mapa Conceitual (MOREIRA, 2006) e portanto, existem inúmeras possibilidades de

preenchimento conforme o grupo de sujeitos envolvido. O produto da intervenção aqui apresentada apresenta alguns traços que relembram um Mapa Conceitual, pois nota-se algumas relações hierárquicas entre os conceitos abordados e há uma delimitação implícita da abordagem vista na disciplina de Físico-Química I-B, não havendo, no entanto, conectores entre eles. O sucesso da atividade de *brainwriting pool* e mapa mental, neste caso, está muito associado ao envolvimento dos estudantes do grupo de sujeitos presentes no encontro presencial. O mesmo vale para as atividades de *Peer Instruction* e Estudos de Caso: O sucesso da atividade de *Peer Instruction* se dá do estudo prévio que o estudante faz à aplicação dos testes e ao engajamento dele em querer responder corretamente, e em discutir com os colegas. A discussão aos pares é uma forma de tentar garantir ao estudante um conforto maior ao discutir na dupla as suas ideias, e, havendo conforto, expô-las para a turma no momento de apresentação das escolhas e discussão dos resultados. Estudantes que não se comprometem ao estudo prévio podem não se sentir engajados a participar. E para os casos, conforme Sá *et. al* (2010) comentam, a imaturidade dos estudantes pode vir a ser uma questão, e estudantes que não estão acostumados a trabalhar com metodologias ativas, em situações nas quais são posicionados como ouvintes passivos de uma aula, podem vir a apresentar uma certa resistência na participação das atividades propostas. Considerando este cenário, introduzir as metodologias às aulas de forma gradual pode ser uma forma de habituar estes estudantes. Neste trabalho de dissertação, os encontros do módulo apresentam enfoques variados, com o uso de metodologias intercaladas com exposições tradicionais de aula.

Como perspectivas futuras, espera-se que com o retorno das aulas presenciais possa-se aplicar a sequência didática a um novo grupo de sujeitos e avaliar as contribuições da sequência didática quanto ao desenvolvimento dos tipos de conhecimento e de processos cognitivos elencados na Taxonomia Revisada (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001), utilizada nesta proposta para o módulo de termodinâmica de soluções e quanto a aspectos formativos para suas futuras atuações na área de ensino.

## 6 CONCLUSÕES

Neste trabalho apresentou-se a proposição de uma sequência didática baseada na Taxonomia Revisada de Bloom (ANDERSON; KRATHWOHL; 2001) para o ensino de tópicos de termodinâmica de soluções para estudantes de licenciatura em Química da UFRGS considerando o plano de ensino da disciplina de Físico-Química II-C e também apontamentos da professora titular para uma proposição diferente da aula tradicional. Para tal, iniciou-se buscando na literatura relatos de professores e estudantes quanto às principais dificuldades na aprendizagem de assuntos de termodinâmica. O grande apelo matemático, a grande quantidade de conteúdos a ser trabalhada em pouco tempo, a desconexão dos assuntos com a realidade, entre outros aspectos, foram alguns dos apontamentos das poucas publicações com este enfoque (SÖZBILIR, 2005; MACK, TOWNS, 2016). Estes dados foram posteriormente utilizados para comparação com apontamentos do grupo de sujeitos participantes desta pesquisa nas atividades de *Brainwriting Pool* e Mapa Mental, onde notou-se uma convergência entre os apontamentos. Assim, começou-se a pensar em maneiras de propor uma sequência didática capaz de mitigar estas dificuldades.

Uma referência para a construção de avaliações e instruções de forma geral é a Taxonomia de Bloom (1956). Trata-se de uma estrutura que explora o conhecimento cognitivo e o divide em 6 classes em uma estrutura hierárquica, desenvolvendo as habilidades e conhecimentos do estudante de forma crescente. A referência de Bloom (1956) sugere que para tal, deve-se pensar em objetivos educacionais adequados a cada uma das classes. Realizou-se na revisão da literatura a busca por trabalhos envolvendo a Taxonomia e percebe-se a possibilidade de explorá-la neste trabalho, considerando os retornos positivos das aplicações de suas versões ao ensino de química em suas poucas publicações a nível nacional e internacional. Os resultados da revisão apontam por uma preferência de utilização da revisão proposta por Anderson e Krathwohl (2001), na qual há uma série de adequações da proposição original, principalmente quanto à renomeação de categorias, alteração de ordem, divisão entre conhecimentos e processos cognitivos, entre outros. Julgou-se a versão da revisão como adequada para a proposição do trabalho da sequência didática.

Então foi necessário fazer uma avaliação dos objetivos educacionais presentes na símula da disciplina (UFRGS, 2020b) e também em uma avaliação aplicada na edição de



oferta anterior da disciplina. Percebeu-se que existia uma convergência entre a avaliação proposta com a súmula, e que os objetivos principais da disciplina original representam os níveis cognitivos pertencentes ao nível de “entender” e “aplicar”, e aos conhecimentos “procedimentais” e “conceituais”, analisados segundo a Revisão da Taxonomia (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001). Percebeu-se, portanto, a possibilidade de explorar todos os 6 níveis de processos cognitivos e os 4 níveis de conhecimentos na disciplina através de uma reformulação dos objetivos educacionais. Para explorar estes outros níveis da Taxonomia, recorreu-se ao uso de metodologias ativas de ensino.

Escolheu-se como metodologias a aplicação do Mapa Mental (citado anteriormente), a *Peer Instruction*, a Resolução de Problemas e os Estudos de Caso. A *Peer Instruction* foi incorporada ao encontro 2, uma vez que os objetivos para este encontro foram de entender e aplicar as quantidades de mistura e as leis de Raoult e Henry às soluções ideais. Neste contexto, a escolha pela *Peer Instruction* se deu pela possibilidade de avaliar o entendimento destes estudantes nos elementos centrais destes tópicos. Já a Resolução de Problemas foi apresentada nos encontros 4 e 5 como forma de aproximar os estudantes da aplicação dos conceitos de propriedades coligativas à realidade e também oportunizando o desenvolvimento e melhoria de habilidades de investigação e de escrita, objetivando o desenvolvimento de conhecimentos conceituais e procedimentais de análise. Por último, os Estudos de Caso foram aplicados na tarefa final proposta, onde os estudantes são introduzidos à narrativa como participantes concorrentes de um processo seletivo que devem desenvolver uma aula ou material didático para um determinado público abrangendo o tópico de soluções. Esta atividade, ao nível de criar, provê ao professor e ao estudante uma boa noção sobre os conhecimentos conceituais desenvolvidos pelo estudante relativos à soluções, conhecimentos procedimentais referentes às suas habilidades de escrita, de comunicação, de argumentação e às atitudes referentes à sua capacidade de trabalhar em dupla. Provendo, assim, um entendimento de como os assuntos trabalhados na disciplina podem ser aplicados futuramente em sua atuação profissional.

Além disso, como suporte à sequência didática elaborou-se um material didático focado no desenvolvimento conceitual da disciplina, objetivando minimizar algumas das dificuldades apontadas pelos estudantes da literatura e também da disciplina da UFRGS. Assim, buscou-se evitar trabalhar com questões abstratas, deduções de fórmulas e resolução de problemas numéricos. Optou-se por focar na construção do material no

desenvolvimento dos conceitos-chave de cada tópico, de forma com que cada estudante pudesse ter acesso ao conteúdo disposto em uma linguagem mais acessível, além de buscar um maior comprometimento dos estudantes em realizar ao menos um tipo de leitura dos conteúdos e realizar algumas atividades entre as aulas, evitando o acúmulo de leituras para os momentos de pré-prova. Apesar de existir uma necessidade do estudante em desenvolver as habilidades matemáticas aprendidas inicialmente nas disciplinas de cálculo, estas são tradicionalmente estimuladas pelas aulas expositivas da físico-química e também nos livros-texto indicados para a disciplina, de forma com que o material desenvolvido surge como complemento aos estudos de cada aluno, para que possa revisar os conteúdos e desenvolver o seu aprendizado ao seu tempo. Neste material constam atividades envolvendo problemas e exercícios elaborados a partir dos níveis das classes da Taxonomia Revisada (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001) e procura ser convergente aos objetivos educacionais elaborados. Todos os problemas e atividades presentes no material e na sequência didática como um todo foram elaborados pela autora, considerando os referenciais apresentados no capítulo de Referencial Teórico, salvos aqueles que apresentam a referência do livro-texto de onde foram retirados.

Considerando o cenário de pandemia da Covid-19, considera-se que o presente trabalho atingiu os objetivos propostos, pois apresenta-se como uma proposição teórica de uma sequência didática para o ensino da termodinâmica de soluções no contexto de formação de futuros professores de Química. A sua elaboração foi baseada em um determinado grupo de estudantes, e espera-se que possa contribuir futuramente para a literatura quanto à aplicação da Taxonomia Revisada (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001) e das metodologias ativas e para o ensino de conceitos, procedimentos e habilidades nas aulas de Físico-Química em nível superior de ensino.

Como etapas futuras, pretende-se aplicar a sequência de ensino no modelo de ensino presencial. A autora acredita terem sido atingidos os objetivos pessoais que a motivaram a pesquisar sobre o ensino de físico-química.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, V.S; SIMONI, J.D.A. Perguntas elaboradas por alunos sobre textos científicos: Análise da aprendizagem por meio da taxonomia de Bloom – XVIII ENEQ, Florianópolis, 2016.

AL-MOAMERI H.H.; JAF, L.A.; SUPPES, G.J. Simulation Approach to Learning Polymer Science. *Journal of Chemical Education* **2018**. 95, 1554.

ANDERSON, L.W; KRATHWOHL, D.R. A Taxonomy for Learning, Teaching and Assessing - A revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives, Longmann: Nova York, 2001.

ATKINS, P., DE PAULA, J. Físico-Química, LTC: Rio de Janeiro, 9, v.1, 2010.

BABINCAKOVÁ, M.; GANAJOVÁ, M.; SOTÁKOVÁ, I.; BERNARD, P. Influence of formative assessment classroom techniques (FACTs) on student's outcomes in chemistry at secondary school. *Journal of Baltic Science Education* **2020**, 19, 36.

BAIN, K., MOON, A., MACK, M.R., TOWNS, M.H. A Review of research on the teaching and learning of thermodynamics at the university level. *Chem. Educ. Res. Pract.* **2014**, 15. 320.

BLOOM, B.; ENGELHART, M.D; FURST E.J; HILL, W. H; KRATHWOHL, D.R. Taxonomy of Educational Objectives - The Classification of Educational Goals, Handbook I: Cognitive Domain. David McKay Company Inc: Nova York, 1956.

BOGDAN, R; BIKLEN, S. Investigação qualitativa em educação: Uma introdução à teoria e aos métodos. Porto Editora: Porto, 1994.

BRASIL, MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. Resolução nº 2 de julho de 2015 – Define as Diretrizes Curriculares Nacionais para a formação inicial em nível superior e para a formação continuada. Disponível em [http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com\\_docman&view=download&alias=17719-res-cne-cp-002-03072015&category\\_slug=julho-2015-pdf&Itemid=30192](http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=17719-res-cne-cp-002-03072015&category_slug=julho-2015-pdf&Itemid=30192). Acesso em agosto de 2021.

BRASIL, MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. Parecer CNE/CES 1.303/2001 – Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química. Disponível em <http://portal.mec.gov.br/sesu/arquivos/pdf/130301Quimica.pdf>. Acesso em agosto de 2021.

BRASIL, CONSELHO NACIONAL DE EDUCAÇÃO. Resolução CNE/CP de 18 de fevereiro de 2002. Institui Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação de Professores da Educação Básica, em nível superior, curso de licenciatura, de graduação

plena. Disponível em [http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/rcp01\\_02.pdf](http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/rcp01_02.pdf). Acesso em agosto de 2021.

CASTELLAN, G. Fundamentos de Físico-Química, LTC: Rio de Janeiro, v. único, 2014.

CHURCHES, A. Bloom's Digital Taxonomy. Disponível em <http://burtonslifelearning.pbworks.com/w/file/fetch/26327358/BloomDigitalTaxonomy2001.pdf>. Acesso em setembro de 2020.

DEBOM, C.R. Representações da Astronomia. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. Instituto de Física, UFRGS, 2017.

EDWARDS, N. An analysis of the alignment of the Grade 12 Physical Sciences examination and the core curriculum in South Africa, *South African Journal of Education* **2010**, 30, 571.

ELMAS, R.; RUSEK, M.; LINDELL, A.; NIEMINEN, P.; KASAPOGLU, K.; BÍLEK, M. The intellectual demands of the intended chemistry curriculum in Czechia, Finland, and Turkey: a comparative analysis based on the revised Bloom's taxonomy. *Chemistry Education Research and Practice* **2020**, 21, 839.

FOX, L.J.; ROEHRIG, G.H. Nationwide Survey of the Undergraduate Physical Chemistry Course. *Journal of Chemical Education* **2015**, 92, 1456.

GALLOWAY, K.W.; BURNS, S. Doing it for themselves: students creating a high quality peer-learning environment. *Chemistry Education Research and Practice* **2015**, 16, 82.

GIL, A.C. In *Como Elaborar Projetos de Pesquisa*. Editora Atlas: São Paulo, 2002.

GIL-PÉREZ, D.; TORREGROSA, J.M. A Model for problem-solving in accordance with scientific methodology. *European Journal of Science Education* **1983**, 5, n.4, 447.

GUIMARÃES, D.; MENDONÇA, P.C.C. Avaliação das Habilidades Cognitivas em Um Contexto Sociocientífico com Foco nas Habilidades Argumentativas. *Química Nova na Escola* **2015**, 37, 35.

HARO, E.K.; HARO, L.S. Developing an Array Binary Code Assessment Rubric for Multiple-Choice Questions Using Item Arrays and Binary-Coded Responses. *Journal of Chemical Education* 2014, 91, 2064.

HOLME, T. Can Today's Chemistry Curriculum actually produce tomorrow's adaptable chemist.? *Journal of Chemical Education* **2019**, 96, p.611-612.

LEVINE, I.N. *Physical Chemistry*. McGraw Hill: Nova York, 2009.

LIMA, F.C.; ARENAS, L.; PASSOS, C.G. A Metodologia de Resolução de Problemas: Uma experiência para os estudos das ligações Químicas. *Química Nova* **2017**, 41, 468.

MACHADO, A.D.; ORTIZ, J.O.S. Uso da Taxonomia de Bloom Digital Gamificada no Ensino de Química: Reflexões teóricas e possibilidades – XIX ENEQ, Rio Branco, 2018.

MACK, M.R; TOWNS, M.H. Faculty Beliefs about the Purposes for teaching undergraduate physical chemistry courses. *Chemical Education Research and Practice* **2016**, 17, 80.

MAZUR, E. Peer Instruction: A User's Manual. Series in Educational Innovation. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1997.

MCQUARRIE, D.A.; SIMON, J.D. Physical Chemistry – A molecular Approach. University Science Books: Sausalito, 1997.

MOREIRA, M. Mapas Conceituais e Diagramas V. 2006. Disponível em [https://www.if.ufrgs.br/~moreira/Livro\\_Mapas\\_conceituais\\_e\\_Diagramas\\_V\\_COMPLETO.pdf](https://www.if.ufrgs.br/~moreira/Livro_Mapas_conceituais_e_Diagramas_V_COMPLETO.pdf). Acesso em março de 2020.

NICOLL, G.; FRANCISCO, J.S. An Investigation of the factors influencing student performance in physical chemistry. *Journal of Chemical Education* **2001**, 78, 99.

NUNES, S. C.; DOS SANTOS, R.P. O Construcionismo de Papert na criação de um objeto de aprendizagem e a sua avaliação segundo a taxionomia de Bloom. IX ENPEC, Águas de Lindóia, 2013.

PAIVA, R.A.; PADILHA, M.A.S. A WebQuest e a Taxonomia Digital de Bloom como uma nova coreografia didática para a educação online. *R.B.E.C.T* **2012**. 5, 81.

PARTANEN, L. Student oriented approaches in the teaching of thermodynamics at universities – developing an effective course structure. *Chemistry Education Research and Practice* **2016**. 17, 766.

PEKDAĞ, B.; EROL, H. The Examination of Secondary Education Chemistry Curricula Published between 1957 – 2007 in terms of the Dimensions of Rationale, Goals, and Subject-Matter. *Educational Sciences: Theory and Practice* **2013**. 13, 653.

PILLA, L. Físico-química I: termodinâmica química e equilíbrio químico. Editora da UFRGS: Porto Alegre, 2006.

PILLA, L. Físico-química II: equilíbrio entre fases, soluções líquidas e eletroquímica. Editora da UFRGS: Porto Alegre, 2010.

PINHEIRO, M.E; DE BARROS, V.V.S.S; NUNES, F.B; WEBER, I.T; CAVALCANTI, E.L.D; LUCENA, M.A.M. 3 Verdades e 1 Mentira: Trabalhando química forense por meio do Role Playing Game – XIX ENEQ, Rio Branco, 2018.

PRINCE, M. Does active learning work? A review of the research. *Journal of Engineering Education* **2004**, 223.

RIBEIRO, M.H.; ERROBIDART, N.C.G. Aprendizagem Significativa: Análise de uma avaliação diagnóstica estruturada a partir da taxonomia de Bloom – XI ENPEC, Florianópolis, 2017.

SÁ, L.; FRANCISCO, C.; QUEIROZ, S. Estudos de Caso em Química. Química Nova **2007**, 30, 731.

SÁ, L.; QUEIROZ, S. Estudos de Casos no Ensino de Química. São Paulo: Átomo, 2010.

SANABRIA-RÍOS, D.; BRETZ, S.L. Investigating the relationship between faculty cognitive expectations about learning chemistry and the construction of exam questions. Chemistry Education Research and Practice **2010**, 11, 212.

SATYANARAYANAJAIS, S.D. Active-Learning Exercises to Teach Drug-Receptor Interactions in a Medicinal Chemistry Course. American Journal of Pharmaceutical Education **2010**, 74, 1.

SELBACH, A.L.; DANIEL, D.P.; RIBEIRO, D.D.C.A.; PASSOS, C.G. O método de Estudos de Caso na promoção da argumentação no Ensino Superior de Química: uma revisão bibliográfica. Química Nova na Escola **2021**, 43, 38.

SILVA, V.A.; MARTINS, M.I. Análise de Questões de Física do ENEM pela Taxonomia de Bloom Revisada. Revista Ensaio **2014**, 16, 189.

SOTÁKOVÁ, I.; GANAJOVÁ, M.; BABINCAKOVA, M. Inquiry-based science education as a revision strategy. Journal of Baltic Science Education **2020**, 19, 499.

SÖZBILIR, M. What Makes Physical chemistry difficult?, Journal of Chemical Education **2004**, 81, 573.

TEIXEIRA, B.S.; MARTINS, J.G.; DA SILVA, M.C; BARON, A.M.; TONIN, L.T.D. Taxonomia de Bloom como instrumento da prática avaliativa na educação. IX ENPEC, Águas de Lindóia, 2013.

TSAPARLIS, G. Higher and lower-order thinking skills: The case of chemistry revisited. Journal of Baltic Science Education **2020**, 19, 467.

UFRGS; PLANO DE ENSINO - FÍSICO-QUÍMICA I – B. 2020a. Disponível em [https://www1.ufrgs.br/PortalEnsino/PlanoDeEnsino/Visao/PDFPlanoDeEnsino.php?AtividadeEnsino=4573\\_2021012](https://www1.ufrgs.br/PortalEnsino/PlanoDeEnsino/Visao/PDFPlanoDeEnsino.php?AtividadeEnsino=4573_2021012). Acesso em março de 2020.

UFRGS; PLANO DE ENSINO – FÍSICO-QUÍMICA II-C. 2020b. Disponível em [https://www1.ufrgs.br/PortalEnsino/PlanoDeEnsino/Visao/PDFPlanoDeEnsino.php?AtividadeEnsino=30235\\_2021012](https://www1.ufrgs.br/PortalEnsino/PlanoDeEnsino/Visao/PDFPlanoDeEnsino.php?AtividadeEnsino=30235_2021012). Acesso em janeiro de 2020.

UFRGS; PROJETO PEDAGÓGICO PARA A LICENCIATURA EM QUÍMICA DA UFRGS. 2017. Disponível em

[http://www.iq.ufrgs.br/graduacao/images/ppedagogicos/LICENCIATURA-EM-QUMICA\\_revisao-23-05.pdf](http://www.iq.ufrgs.br/graduacao/images/ppedagogicos/LICENCIATURA-EM-QUMICA_revisao-23-05.pdf). Acesso em dezembro de 2020.

VANGUNDY, A. Brain writing for new product ideas: An alternative to brainstorming, *Journal of Consumer Marketing* **1984**, 1, 67;

WEI, B. The Change in the Intended Senior High School Chemistry Curriculum in China: focus on intellectual demands. *Chemistry Education Research and Practice* **2020**. 21, 14.

ZABALA, A. In *A Prática Educativa: Como Ensinar*. Artmed: Porto Alegre, 1998.

## **APÊNDICES**

### **APÊNDICE A - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE QUÍMICA

QUI03329 – FÍSICO-QUÍMICA II-C

#### **TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**

Caro aluno(a),

Você está sendo convidado a participar da pesquisa que tem como objetivo avaliar as contribuições do uso da Taxonomia de Bloom e das metodologias ativas de ensino para o desenvolvimento de conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais na elaboração de sequência didática e de material didático na disciplina QUI03329 – Físico-Química II – C.

Sua participação nesta pesquisa consiste na participação das atividades propostas pela professora para a disciplina, bem como da resolução de um questionário final acerca das suas experiências com estas atividades. Os resultados coletados farão parte de uma dissertação de mestrado. Ressalta-se que a sua identidade será mantida em sigilo e que a sua opinião é de extrema relevância para o desenvolvimento do trabalho.

#### **DECLARAÇÃO**

Eu, \_\_\_\_\_, aluno(a) do curso de Licenciatura em química – Noturno, regularmente matriculado (a) no curso, declaro que fui esclarecido (a) sobre os objetivos e justificativas deste estudo de forma clara e detalhada e que concordo em participar desta pesquisa.

Porto Alegre, \_\_\_ de \_\_\_ de 202\_.

Assinatura do participante: \_\_\_\_\_

Assinatura da pesquisadora: \_\_\_\_\_



## APÊNDICE B - PLANO DE ENSINO – FÍSICO-QUÍMICA II – C



### PLANO DE ENSINO

Data de Emissão: 01/10/2019

Instituto de Química			
Departamento de Físico-Química			
<b>Dados de identificação</b>			
Disciplina: FÍSICO-QUÍMICA II C			
Período Letivo: 2019/1		Período de Início de Validade: 2019/1	
Professor Responsável pelo Plano de Ensino: PAULO AUGUSTO NETZ			
Sigla: QUI03329		Créditos: 4	
Carga Horária: 60h		CH Autônoma: 0h CH Coletiva: 60h CH Individual: 0h	
<b>Súmula</b>			
Equilíbrios multicomponentes. Fundamentos termodinâmicos da eletroquímica. Fundamentos de cinética química.			
<b>Currículos</b>			
	<b>Currículos</b>	<b>Etapa Aconselhada</b>	<b>Natureza</b>
	LICENCIATURA EM QUÍMICA - NOTURNO	6	Obrigatória
<b>Objetivos</b>			
Aplicar os métodos da termodinâmica no estudo de equilíbrios multicomponentes e da eletroquímica. Estudar os fundamentos e aplicar os métodos da cinética química.			
<b>Conteúdo Programático</b>			
<b>Semana: 1 a 4</b>			
<b>Título:</b> Termodinâmica de Soluções			
<b>Conteúdo:</b> Soluções Ideais: Lei de Raoult. Potencial químico de um componente de uma solução ideal. Soluções reais não eletrolíticas. Potencial químico de um componente de uma solução real. Soluções diluídas: Lei de Henry. Solubilidade de gases em líquidos. Influência da temperatura sobre a solubilidade de gases. Propriedades coligativas das soluções diluídas. Termodinâmica das soluções eletrolíticas: Lei limite de Debye-Hückel.			
<b>Semana: 5 a 9</b>			
<b>Título:</b> Equilíbrios de fase em misturas			
<b>Conteúdo:</b> Equilíbrio de fases em sistema binários: a Regra das Fases. Equilíbrio líquido-vapor: diagramas P <sub>x</sub> e T <sub>x</sub> . PRIMEIRA AVALIAÇÃO			
Análise térmica			
Diagramas de equilíbrio temperatura-composição para sistemas condensados: Imiscibilidade total no estado sólido.			
Colóides e micelas.			
Partição e extração.			
Sistemas ternários, sistemas água-óleo-surfactante			
<b>Semana: 10 a 13</b>			
<b>Título:</b> Eletroquímica			
<b>Conteúdo:</b> Termodinâmica de células galvânicas. Determinação da fem. Equação de Nernst. Aplicação da determinação das células galvânicas. Células a combustível. Corrosão. Eletrólise: as leis de Faraday. SEGUNDA AVALIAÇÃO			
<b>Semana: 14 a 18</b>			
<b>Título:</b> Cinética Química			
<b>Conteúdo:</b> Velocidade, ordem e molecularidade de reações químicas. Taxa de conversão. Reações homogêneas de ordem zero, primeira, segunda e terceira ordens. Reações em paralelo, consecutivas e reversíveis de primeira ordem. Reações complexas e mecanismos de reação. Cinética enzimática			
Efeito da temperatura sobre a velocidade das reações químicas.			

Equação de Arrhenius, Energia de ativação.  
Teorias de velocidade de reação.  
TERCEIRA AVALIAÇÃO

**Semana:** 19

**Título:** Atividades de recuperação

**Conteúdo:** Atividades de recuperação

### Metodologia

O conteúdo da disciplina será ministrado em aulas expositivas. O estudante receberá listas de exercícios correspondentes a cada unidade do programa.

### Carga Horária

Teórica: 60

Prática: 0

### Experiências de Aprendizagem

Os discentes serão incentivados a participar das aulas mediante discussão dos tópicos abordados nas aulas teóricas, bem como mediante a resolução dos exercícios propostos.

Os discentes também serão incentivados a interagir com o professor e entre si via ambiente virtual de aprendizagem, de modo a complementar seus estudos com objetos virtuais de aprendizagem.

### Crterios de avaliação

Serão realizadas três avaliações, durante o semestre, de acordo com o programa exposto.

O aluno que obtiver conceito C, B ou A e não tiver nenhuma das notas abaixo de 4,0 será considerado aprovado. A atribuição dos conceitos dar-se-á como abaixo, considerando-se a nota média aritmética das três avaliações:

A - média 9,0 a 10,0

B - média 7,5 a 8,9

C - média 6,0 a 7,4

D - média inferior a 6,0

FF - reprovação por insuficiência de frequência.

### Atividades de Recuperação Previstas

Será obrigatória a realização de uma prova substitutiva para os alunos que não tiverem comparecido em uma das avaliações, que tiverem nota inferior a 4,0 ou que tiverem média insuficiente. A prova substitutiva, como o nome indica, substituirá a nota da prova correspondente.

Será facultada a realização de prova substitutiva àqueles que quiserem melhorar o conceito.

Se, após a realização da prova substitutiva, ainda não houver cumprimento dos pré-requisitos de aprovação, será realizado um exame. A nota final será a média aritmética entre a nota do exame e a nota média das notas das provas.

### Prazo para Divulgação dos Resultados das Avaliações

Os resultados de avaliações serão divulgados com no mínimo 72 horas de antecedência em relação a eventuais provas substitutivas.

### Bibliografia

#### Básica Essencial

ATKINS, P.W.; DE PAULA, J.; SILVA, E.C.. Físico-Química. Rio de Janeiro: LTC, 2008. ISBN 9788521616009 (v.1), 9788521616016 (v.2).

NETZ, P.A.; ORTEGA, G.G.. Fundamentos de Físico-Química: uma abordagem conceitual para as ciências farmacêuticas. Porto Alegre: ARTMED, 2002. ISBN 8536300094.

PILLA, L.; SCHIFINO, J.. Físico-Química II: Equilíbrio entre fases, soluções líquidas e eletroquímica. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2011. ISBN 8538600842.

### Básica

BALL, W.W. Físico-Química. São Paulo: Ploneira Thomson Learning, 2005. ISBN 8522104175 (v.1), 8522104182 (v.2).

CHAGAS, A.P.. Termodinâmica Química: fundamentos, métodos e aplicações. Campinas: Unicamp, 1999. ISBN 8526804669.

DICK, Y.P.; SOUZA, R.F.. Físico-Química: um estudo dirigido sobre equilíbrio entre fases, soluções e eletroquímica. Porto Alegre: UFRGS, 2006. ISBN 8570258739.

LEVINE, I. Físico-Química. Rio de Janeiro: LTC, 2012. ISBN 9788521606345 (v.1), 9788521606611 (v.2).

SCHIFINO, J.. Tópicos de Físico-Química. Porto Alegre: UFRGS, 2013. ISBN 9788538602071.

### Complementar

*Sem bibliografias acrescentadas*

### Outras Referências

*Não existem outras referências para este plano de ensino.*

### Observações

*Nenhuma observação incluída.*

## APÊNDICE C - MATERIAL DIDÁTICO

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE QUÍMICA

FÍSICO-QUÍMICA II-C – 2020/1

Caro aluno(a),

Este material tem como objetivo auxiliá-lo na revisão de conteúdos conceituais apresentados durante as aulas da disciplina de Físico-Química II – C e **não** substitui a leitura de livros-texto e demais atividades propostas pela professora.

A elaboração deste material procura atender os objetivos educacionais definidos para a disciplina e a sua criação se deu a partir das referências bibliográficas indicadas para a mesma e também através de apontamentos de estudantes sobre dificuldades e facilidades de aprendizagem considerando tópicos de termodinâmica. Eventualmente, o mesmo material pode vir a ser utilizado em sala de aula pela professora.

Bons estudos!

*A autora.*

## Módulo 1 – Termodinâmica de soluções

### **PARTE 1 – Objetivos:**

Relembrar dos conceitos relacionados às propriedades termodinâmicas para substâncias puras, reconhecendo entre elas o potencial químico e entender como essas propriedades são apresentadas e podem explicar o comportamento de misturas.

### **PARTE 2 – Objetivos:**

Entender como a Lei de Raoult descreve o comportamento do solvente em uma solução ideal não-eletrolítica, bem como entender como a lei de Henry pode descrever o comportamento do soluto na solução e como são descritas as propriedades termodinâmicas para o caso das soluções ideais; Aplicar as leis de Raoult e Henry para cálculos envolvendo dados de composição e de pressão parcial.

### **PARTE 3 – Objetivos:**

Analisar como as funções de excesso estabelecem uma relação entre propriedades de mistura de medidas experimentais e ideais; Analisar como os conceitos de atividade e coeficientes de atividade são utilizados para descrever o comportamento não-ideal em soluções, integrando os conceitos apresentados anteriormente do modelo de solução ideal e de leis como Raoult e Henry.

Objetivos educacionais a serem alcançados pelos alunos na disciplina:

- i. Revisar conteúdos relacionados às propriedades termodinâmicas para substâncias puras, recordando conceitos como o potencial químico, e de procedimentos relacionados à obtenção de derivadas totais e parciais.
- ii. Entender as premissas e limitações do modelo ideal de solução, e como propriedades termodinâmicas como entalpia, entropia e energia livre de Gibbs podem explicar o modelo ideal a partir de aspectos termodinâmicos.
- iii. Aplicar a lei de Raoult para tratamentos quanto ao solvente em soluções ideais, a fim de obter dados de pressão parcial ou composição, e para realizar interpretações acerca de desvios do comportamento ideal. Da mesma forma, aplicar a lei de Henry para tratamentos do soluto em soluções idealmente diluídas, a fim de obter dados de pressão parcial ou composição.
- iv. Analisar como podem ser descritas as propriedades termodinâmicas de soluções não-ideais a partir dos desvios da idealidade, integrando o conceito de atividade.
- v. Analisar como as propriedades coligativas estão relacionadas com a lei de Raoult e comparar a relação de causa e efeito na alteração do potencial químico de espécies em solução quando adicionadas espécies não voláteis em soluções não-eletrolíticas.
- vi. Avaliar as proposições de atividades do módulo e contribuições do material didático para o desenvolvimento de conhecimentos diversos, checando por pontos fortes e fracos durante a execução da sequência didática e da sua própria atuação.
- vii. Criar, com base no módulo de termodinâmica de soluções, um material de aula ou planejamento para o ensino de soluções para a Educação Básica ou Educação Profissional e Técnica, atuando em pequenos grupos.

## Parte 1 - Propriedades Termodinâmicas de Soluções

Bom, provavelmente você lembra de suas experiências anteriores que uma solução se trata de uma mistura homogênea de  $n$  componentes presentes em uma fase, seja ela sólida, líquida ou gasosa. Investigamos a termodinâmica destas soluções em termos das propriedades parciais molares, pois elas indicam como uma determinada propriedade extensiva varia com a composição dessa solução, dadas condições de temperatura e pressão constantes. Considere uma propriedade parcial molar  $\bar{Z}_i$  qualquer. A expressão para esta propriedade será representada por:

$$\bar{Z}_i = \left( \frac{\partial Z}{\partial n_i} \right)_{T, P, n_{j \neq i}}$$

Pode-se então obter uma determinada propriedade extensiva a partir das propriedades parciais molares e vice-versa em uma mistura de 2 componentes:

$$Z = \bar{Z}_1 n_1 + \bar{Z}_2 n_2.$$

### **ENTENDENDO**

Comparando com o exemplo acima, escreva uma expressão para a capacidade térmica a pressão constante para uma mistura de 2 componentes.

$$C_p = n_1 C_{p1} + n_2 C_{p2}$$

Essa foi fácil. Isso porque você com certeza lembra o que é uma propriedade extensiva e o que é uma propriedade intensiva, certo...? Atente para a atividade abaixo feita para revisarmos estes termos.

## RELEMBRANDO

Complete as lacunas com os exemplos faltantes, reproduzindo as informações acerca das propriedades termodinâmicas conforme as informações presentes no texto. Se necessário, consulte um livro de físico-química para auxiliá-lo a lembrar.

As propriedades termodinâmicas são quantidades macroscópicas acessíveis à medida experimental. As propriedades que dependem da quantidade de matéria contida no sistema são chamadas de **(propriedades extensivas)**, e são aditivas. É o caso, por exemplo, **do (volume)**, **(da energia interna)** e **(da entalpia)**.

Já as propriedades que tem um valor determinado em cada ponto e não dependem dessa extensão do sistema são chamadas de **(propriedades intensivas)**. As propriedades intensivas podem ser separadas em propriedades propriamente ditas, como **(a temperatura)** e a **(constante dielétrica)**, e as derivadas das extensivas, como **(potencial químico)**, e **(a molaridade)**.

As propriedades parciais molares são, portanto, todas propriedades intensivas derivadas das extensivas.

A medida destas propriedades é de extrema importância. Uma propriedade a ser trabalhada exaustivamente é o volume parcial molar. Um exemplo da importância do conhecimento da existência desta propriedade é ilustrado pela mistura de etanol e água. Ao se realizar a medida do volume de solução atribuída à mistura destes componentes nota-se uma redução desta em relação ao “volume esperado” (atribuído à soma dos volumes individuais dos componentes), devido a uma diferença das interações intermoleculares entre água e etanol e água-água e etanol-etanol, sendo este tipo de solução utilizada para extrair pesticidas ou resíduos farmacêuticos de amostras ambientais, como da água. Então o conhecimento deste fenômeno deve ser levado em conta ao se preparar padrões analíticos, por exemplo. Graficamente, pode-se chegar



ao volume final da solução a partir dos volumes parciais molares e da composição do sistema ou obter os volumes parciais molares a partir dos dados do volume da solução e da composição. Matematicamente, expressamos essa redução de volume associada à mistura em relação ao volume obtido dos componentes puros pela seguinte expressão:

$$\Delta V_{\text{mix}} = V_{\text{solução}} - \sum V_i^*$$

Onde  $V_{\text{solução}}$  representa o volume da solução e  $\sum V_i^*$  o somatório sobre o volume do componente  $i$  puro, quando fora da solução. Outras propriedades de mistura serão trabalhadas mais para frente.

---

## APLICANDO

O ácido tricloroacético (TCA) ( $\text{CCl}_3\text{COOH}$ ) é um componente presente em soluções para o tratamento de verrugas causadas pelo vírus do papiloma humano (HPV), aplicando a solução diretamente nos tecidos onde estão presentes as lesões. Retirado de *Ácido Tricloroacético* – Wikipédia. Presente em [https://pt.wikipedia.org/wiki/%C3%81cido\\_tricloroac%C3%A9tico](https://pt.wikipedia.org/wiki/%C3%81cido_tricloroac%C3%A9tico) acesso em fevereiro/2020.

Ao se preparar uma solução aquosa do TCA, nota-se um aumento no volume da solução, que não representa a soma dos volumes individuais de água e TCA. Com o uso de um picnômetro, pode se encontrar o volume parcial molar dos componentes da solução.



**Figura A.** Picnômetros com termômetro. Um picnômetro é um recipiente de vidro construído para que o volume de um fluido não se altere. Retirado de <http://www.splabor.com.br/blog/vidraria/aprendendo-mais-picnometro-saiba-como-utiliza-lo/>

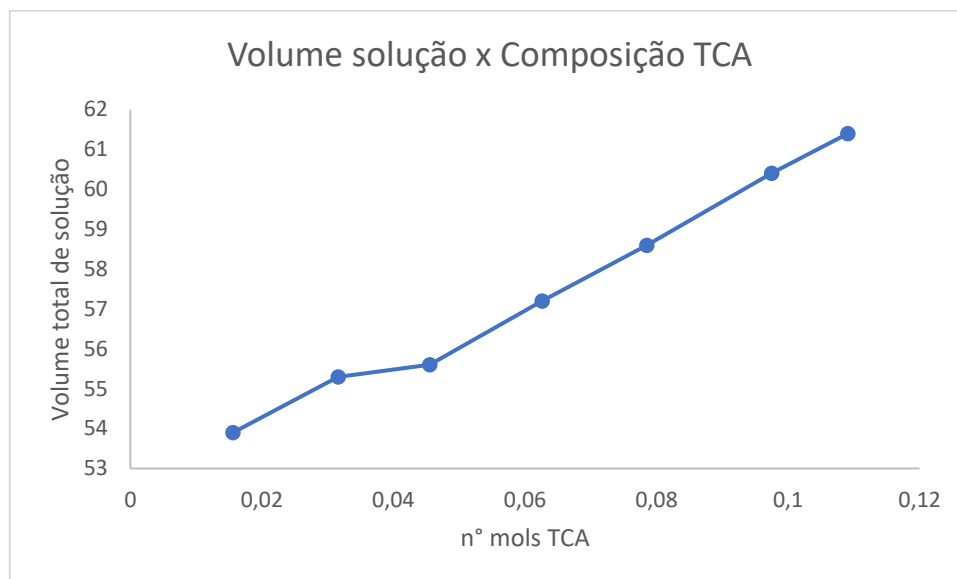
Você prepara as amostras para realizar as medidas a 25 °C, 1 atm. Você adiciona 50 mL de água ao frasco, que é então rolhado e colocado no termostato. Cinco amostras de TCA de 3 a 4 g são sucessivamente adicionadas ao frasco, dissolvidas e colocadas no termostato até que o equilíbrio seja atingido (cerca de 10 minutos). Anota-se a leitura do menisco antes e depois de cada adição de TCA. Eis os dados que você obtém:

Quantidade de TCA adicionado (g)	Número de mols de TCA	Aumento do volume ( $\Delta V$ ) (mL)	Volume total (mL)
2.56	0.0156	1.3	53.9
5.18	0.0316	2.7	55.3
7.44	0.0455	3.8	55.6
10.23	0.0626	5.4	57.2
12.83	0.0785	6.8	58.6
15.92	0.0975	8.6	60.4
17.54	0.1091	9.6	61.4

Dados retirados de A demonstration experiment on partial molar volumes, *J. Chem. Educ.* 1970, 47, 4, 270.

Aplique os dados tabelados na construção de um gráfico de Volume de solução x Composição de TCA para obter o volume parcial molar do TCA e o volume parcial molar da água quando a solução for composta por 10.23 g de TCA.

## Resolução:



Dada a expressão  $Z = \bar{Z}_1 n_1 + \bar{Z}_2 n_2$ , e  $n_{H_2O}$  é constante (~2,775 mols), obtém-se  $\tilde{V}_i$ , dado por  $(\frac{\partial V}{\partial n_i})$  a T, P constantes através da medida da inclinação da reta tangente à curva obtida. De forma simples, pega-se dois pontos, como de composição 0,0785 e 0,0626 mols de TCA.  $V(TCA) = (58,6 - 57,2 / 0,0785 - 0,0626) = 88,05 \text{ cm}^3$ . Nessa composição o volume de solução é  $57,2 \text{ cm}^3$  e o volume parcial da água é de  $18,612 \text{ cm}^3$ .

---

Uma outra propriedade parcial molar de extrema importância é a energia de Gibbs parcial molar,  $\bar{G}_i$ , dado que esta é uma quantidade representante do **potencial químico**, expressando a alteração (acréscimo ou decréscimo) da energia de Gibbs por mol de componente presente.

O potencial químico ( $\mu$ ) é, antes de tudo, um potencial! Você também pode entender o potencial químico como uma grandeza que expressa uma tendência, pois é ele que determina o equilíbrio de uma reação e também o equilíbrio entre fases, estando diretamente ligado ao transporte de massa de componentes. De fato, o equilíbrio termodinâmico depende simultaneamente de 3 tipos de equilíbrio:

- i) Do equilíbrio térmico – daquele em que não há um gradiente de temperatura e ela é a mesma em todos os pontos do sistema;
- ii) Do equilíbrio mecânico – em que não há um gradiente de pressão, que é a mesma em todos os pontos do sistema e
- iii) Do equilíbrio químico – em que não há um gradiente de potencial químico, e a composição do sistema é a mesma.

Logo, uma diferença de potencial químico está para a transferência de um componente de uma fase a outra como a diferença de temperatura está para a transferência de calor de um corpo a outro, por exemplo. A passagem de um componente presente em uma solução líquida para a fase vapor e vice-versa requer um desnível ou desequilíbrio entre o potencial químico desse componente na fase líquida para a fase vapor. Essa ideia é melhor representada quando consideramos outro nome associado ao potencial químico: **tendência de escape**.

O potencial químico surge quando deixamos de analisar as propriedades termodinâmicas considerando sistemas compostos apenas por substâncias puras e passamos a analisar sistemas de mais de um componente ou mais de uma fase. Quando tratamos de sistemas abertos, misturas e afins, precisamos avaliar as propriedades termodinâmicas extensivas como funções que dependem, além de outros fatores, da composição. Assim, para a energia livre de Gibbs em um sistema com  $i$  componentes, temos o seguinte diferencial total:

$$G = G(T, P, n_i)$$

$$dG = \left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_{P, n_i} dT + \left(\frac{\partial G}{\partial P}\right)_{T, n_i} dP + \sum_i \left(\frac{\partial G}{\partial n_i}\right)_{T, P, n_j \neq n_i} dn_i$$

$$\text{com } \mu = \left(\frac{\partial G}{\partial n_i}\right)_{T, P, n_j \neq n_i}$$

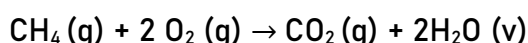
Comparando com o caso da energia livre de Gibbs, escreva os diferenciais totais para outras propriedades, como a entalpia e a energia interna considerando sistemas de composição variável e temperatura e pressão constante e temperatura e volume constante, respectivamente. Interpretando os significados das derivadas parciais, explique o que cada uma indica e se existe alguma semelhança entre as expressões, comparando-as.

**Resolução: O potencial químico, representando as propriedades molares.**

---

Podemos calcular o potencial químico de uma reação. Para tal, utiliza-se de valores tabelados. Para as substâncias presentes na forma mais estável no seu estado-padrão, encontra-se valores de  $\mu_i^\circ$  (ou  $\bar{G}_i$ ) igual a zero.

Por exemplo, toma-se a reação de combustão do metano:



Com auxílio de uma tabela, encontra-se os valores de potencial químico:

$\mu \text{CH}_4 = -51 \text{ kJ/mol}$	$\mu \text{O}_2 = 0 \text{ kJ/mol}$	$\mu \text{CO}_2 = -394 \text{ kJ/mol}$	$\mu \text{H}_2\text{O} = -229 \text{ kJ/mol}$
----------------------------------------	-------------------------------------	-----------------------------------------	------------------------------------------------

E faz-se a diferença de potenciais químicos entre produtos e reagentes. O resultado para essa reação é de  $-801 \text{ kJ/mol}$ . Isto é, uma vez que o potencial químico dos produtos é muito menor do que a dos reagentes, existe uma tendência de a reação ocorrer no sentido Reagentes  $\rightarrow$  Produtos.

Apesar de o foco deste módulo não ser trabalhar com valores de potencial químico, esta introdução se faz necessária para que seja facilitada a compreensão do significado físico desta grandeza. Todas as demais propriedades podem ser derivadas a partir do potencial químico e por isso ele será frequentemente utilizado.

---

**A Equação de Gibbs-Duhem**

Esta relação nos diz como mudam as propriedades parciais molares (no caso, o potencial químico) com a composição: Elas não são independentes. Toma-se como exemplo o diferencial da energia de Gibbs, de  $G = G(T, P, n_i)$ :

$$dG = -SdT + VdP + \sum \mu_i dn_i$$

Como sabemos,  $G_i = n_i \mu_i$ . Se diferenciarmos esta expressão considerando dois componentes - 1 e 2 - obtemos que:

$$dG = \mu_1 dn_1 + n_1 d\mu_1 + \mu_2 dn_2 + n_2 d\mu_2$$

Considere uma transformação ocorrendo a temperatura, pressão e composição constantes. Igual-se as duas expressões para  $dG$  acima e obtemos que:

$$0 = \sum n_i d\mu_i$$

Novamente, essa relação nos diz como a propriedade parcial molar em questão varia com a composição. Considere um caso de uma mistura de dois componentes, 1 e 2. Então temos que:

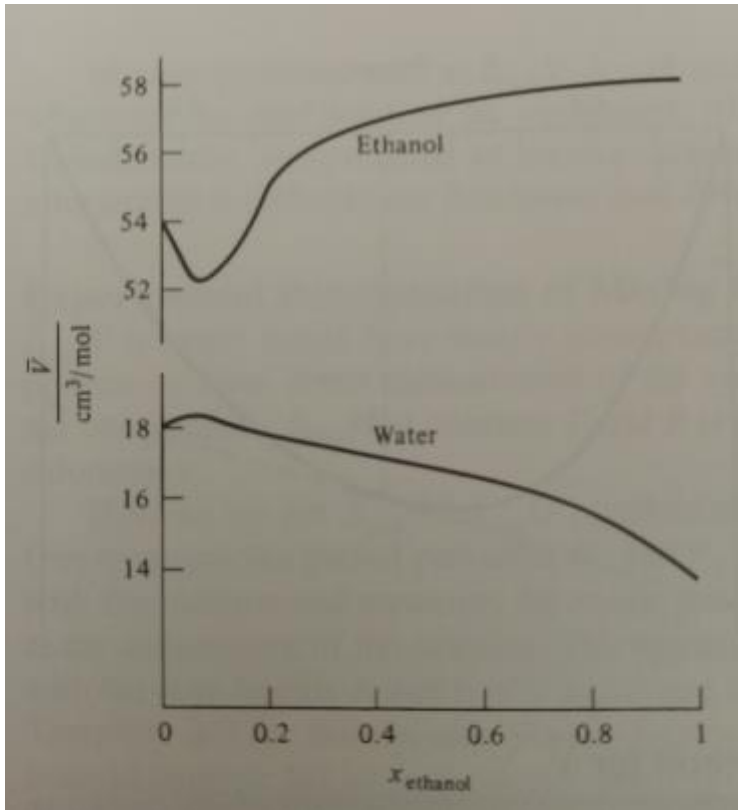
$$n_1 d\mu_1 = -n_2 d\mu_2$$

Para uma mistura binária, isso significa na prática que temos uma expressão que nos permite obter o potencial químico de um componente 1 (digamos, o solvente) conhecendo o potencial químico de um componente 2 (o soluto).

---

## ENTENDENDO

Na figura abaixo estão presentes as curvas de volumes molares de soluções de água-etanol preparadas a 1 atm e 25 °C e como variam em função da fração molar de etanol.



**Figura C.** Volumes parciais molares em soluções água-etanol a 20 °C e 1 atm.

Retirado de Levine, I. N. 6th ed, McGraw Hill, 2009.

Observando a figura com atenção, descreva sucintamente o que acontece com o volume molar dos componentes da solução com o aumento da fração molar de etanol e como a equação de Gibbs-Duhem pode auxiliar na interpretação do fenômeno apresentado na figura.

**Resolução:** A equação de Gibbs-Duhem pode ser aplicada a qualquer propriedade termodinâmica extensiva, uma vez que ela fornece uma relação para o potencial químico e é possível obter as outras a partir dele, assim,  $n_1 dV_1 = -n_2 dV_2$ . O volume de água diminui e o volume de etanol aumenta para soluções com composição de etanol  $x_e > 0,12$ . Nota-se que  $dV_e$  e  $-dV_a$

### Quantidades de Mistura

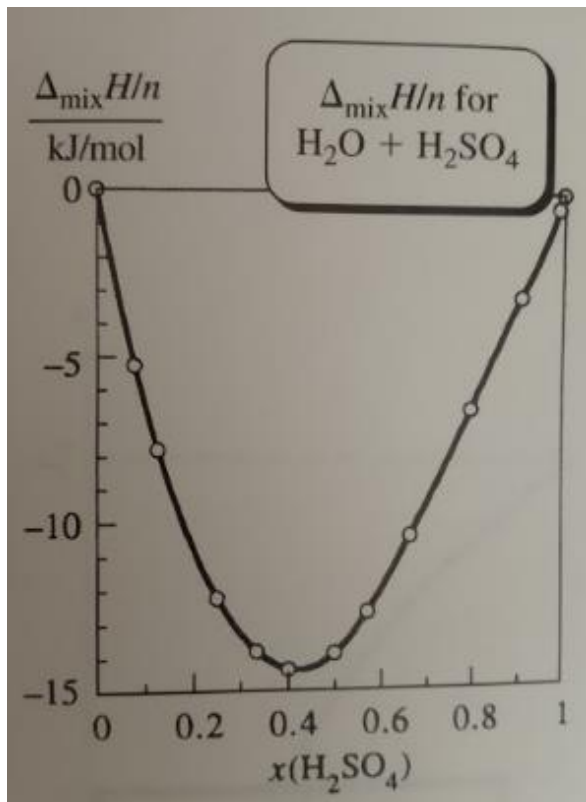
Como no exemplo de  $\Delta V_{\text{mix}}$ , podemos obter para as demais propriedades termodinâmicas a mudança atribuída à mistura de  $i$  componentes. Assim, temos:

$$\Delta G_{\text{mix}} = G_{\text{solução}} - \sum G_i^*$$

$$\Delta H_{\text{mix}} = H_{\text{solução}} - \sum H_i^*,$$

$$\Delta S_{\text{mix}} = S_{\text{solução}} - \sum S_i^*, \text{ etc.}$$

E todas essas variações são associadas às interações intermoleculares entre os componentes (como no caso de  $\Delta V_{\text{mix}}$ ,  $\Delta H_{\text{mix}}$ ,  $\Delta U_{\text{mix}}$ , etc) e ao aumento de entropia associado à mistura dos componentes (para  $\Delta G_{\text{mix}}$ ,  $\Delta S_{\text{mix}}$ ). Alguns exemplos são ilustrados abaixo.



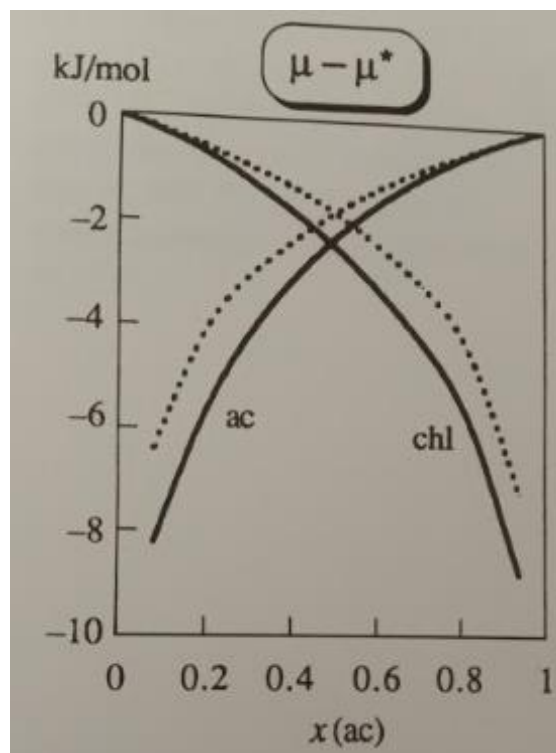
**Figura D.** Entalpia de mistura molar para soluções de H<sub>2</sub>O e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 25 °C e 1 atm. Para uma solução de 2 componentes,  $\Delta H_{\text{mix}}/n_i$  é chamado de entalpia integral da solução por mol de um componente i.

Retirado de Levine, I. N. 6th ed, McGraw Hill, 2009.



**Figura E.** Potencial químico de mistura para soluções de acetona e clorofórmio a 35 °C e 1 atm. As linhas pontilhadas representam dados de uma solução ideal.

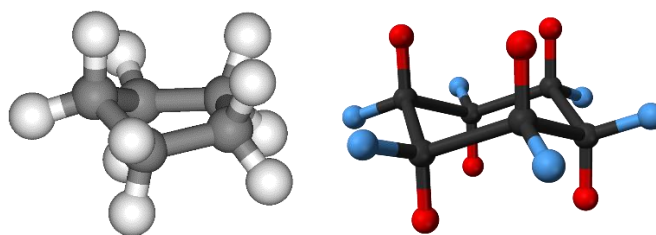
Retirado de Levine, I. N. 6th ed, McGraw Hill, 2009.



## Parte 2: Soluções Ideais

Antes de considerarmos os casos das soluções reais, podemos fazer algumas considerações acerca das soluções ideais para construirmos modelos adequados e após realizarmos as modificações necessárias, podemos expressar os desvios dessa idealidade.

Pode-se iniciar o pensamento sobre as soluções ideais traçando uma analogia aos modelos de gases perfeitos, pois consideramos que as moléculas do líquido não sofrem nenhum tipo de interação adicional umas com as outras, e que estas interações são tão parecidas que nenhum tipo de mudança estrutural ocorre.



**Figura F.** Estruturas de Ciclopentano ( $C_5H_{10}$ ) e ciclohexano ( $C_6H_{12}$ ). Retirados de <https://pt.wikipedia.org/wiki/Ciclopentano> e [https://pt.wikipedia.org/wiki/Conforma%C3%A7%C3%A3o\\_do\\_ciclohexano](https://pt.wikipedia.org/wiki/Conforma%C3%A7%C3%A3o_do_ciclohexano)

Quando ciclopentano e ciclohexano são misturados a 25 °C e 1 atm, apresentam dados de  $\Delta G_{\text{mix}}$  similares aos valores esperados considerando um comportamento ideal (EWING, M.B., MARSH, K.N. J. Chem. Thermodyn. 6, 395, 1974). Tal  $\Delta G_{\text{mix}}$  (a T, P constantes) obedece à seguinte expressão para uma solução ideal:

$$\Delta G_{\text{mix}} = G_{\text{solução}} - G_1^* - G_2^* = RT (n_b \ln x_b + n_c \ln x_c)$$

Perceba que  $x_b$  e  $x_c$  assumem valores  $<1$ . Nestas condições  $\Delta G_{\text{mix}}$  assume valores negativos e podemos concluir que uma solução ideal sempre terá sua formação favorecida espontaneamente partindo-se dos i componentes puros.

Já  $\Delta S_{\text{mix}}$  é obtido pela expressão  $\Delta S_{\text{mix}} = -R (n_b \ln x_b + n_c \ln x_c)$ . Esta mesma expressão é encontrada para a mistura de gases perfeitos. Uma vez que em uma solução ideal não existe uma preferência de distribuição das moléculas quando estas são misturadas por se tratar de dois componentes cuja interação é aproximadamente a mesma, em um sistema onde não há mudança na temperatura e na pressão, a variação de  $\Delta S_{\text{mix}}$  é positiva.

---

## ENTENDENDO

Pare um instante para refletir sobre as considerações acima sobre as soluções ideais. Respire fundo! Terminada a reflexão, explique quais são os valores de  $\Delta V_{\text{mix}}$ ,  $\Delta U_{\text{mix}}$  e  $\Delta H_{\text{mix}}$  que você espera encontrar para soluções **ideais** formadas a T, P constantes a partir dos componentes puros e porquê.

**Resolução:** Como todas essas propriedades dependem da mudança estrutural causada pelas interações intermoleculares entre as espécies presentes, acarretando na mudança do volume da solução e tal fenômeno é ausente em uma solução ideal, uma vez que consideramos que as interações estabelecidas entre as espécies são as mesmas daquelas que estabeleciam quando puras,  $\Delta V_{\text{mix}} = \Delta U_{\text{mix}} = \Delta H_{\text{mix}} = 0$ .

## Soluções Líquidas ideais: Lei de Raoult

A lei de Raoult é aplicada para uma solução ideal e nos permite encontrar a pressão de vapor de um determinado componente presente em solução quando conhecemos a composição da mesma. Para condições em que se toma o vapor assumindo o comportamento de um gás perfeito e a pressão não é muito alta, temos a seguinte expressão:

$$P_i = P_i^* \cdot x_i^l$$

Onde  $P_i$  é a pressão de vapor do componente  $i$ ,  $P_i^*$  a pressão de vapor do líquido puro e  $x_i^l$  a fração molar do componente  $i$  na fase líquida.

Outra expressão para  $P_i$  pode ser obtida em função da composição do componente  $i$  na fase vapor:

$$P_i = P \cdot x_i^v$$

Onde  $P$  representa a pressão total do vapor e  $x_i^v$  a composição do componente  $i$  na fase vapor, que você deve ter conhecido como **Lei de Dalton**.

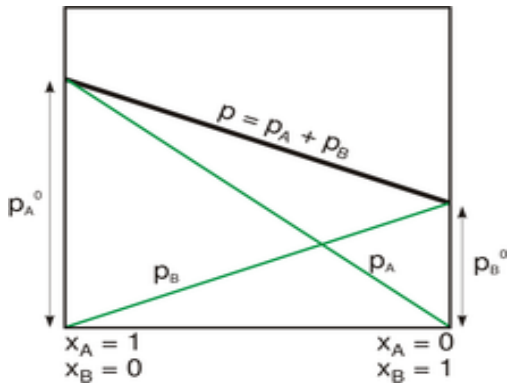
A Lei de Raoult também está presente na expressão do potencial químico para um componente  $i$  presente nesta mistura.

$$\mu_{i,\text{solução}} = \mu_{i,\text{líquido}}^\circ + RT \ln x_i$$

onde  $\mu_{i,\text{líquido}}^\circ$  é o potencial químico padrão para o componente  $i$ , cuja referência é o líquido puro ( $\mu_i^*$ ).

Fornecendo um critério de idealidade: Soluções que apresentam componentes presentes em uma faixa de composição  $0 \leq x_i \leq 1$  e que obedecem à essa expressão podem ser consideradas ideais.

Graficamente a Lei de Raoult é representada através da fração molar de um dos componentes no eixo  $x$  e no eixo  $y$  as pressões parciais dos componentes  $A$  e  $B$ .



**Figura G.** Lei de Raoult para uma mistura binária ideal. Lê-se no eixo da fração molar da esquerda para a direita a variação da fração molar de B de 0 a 1 e nos eixos paralelos as pressões parciais de A e de B variando com a composição.

Retirado de  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Raoult%27s\\_l](https://en.wikipedia.org/wiki/Raoult%27s_l)

## APLICANDO

(Levine - modificado) Considere uma solução a 20 °C, composta por 1,5 mol de benzeno e 3,5 mol de tolueno. Nesta temperatura, a pressão de vapor do benzeno é de 74,7 torr e a do tolueno é de 22.3 torr.

- Que propriedade termodinâmica expressa a condição de equilíbrio para este sistema? **O potencial químico.**
- Encontre a pressão e fração molar do benzeno para o vapor em equilíbrio com esta solução. **nº moles totais = 5;  $x_{\text{benz}}^l = 0,3$  e  $x_{\text{tol}}^l = 0,7$**

$$P_{\text{total}} = P_{\text{benz}} + P_{\text{tol}} = 0,3 \times 74,7 + 0,7 \times 22,3 = 38,02 \text{ torr}$$

$$P_{\text{benz}} = 22,41 \text{ torr} / x_{\text{benz}}^v = P_{\text{benz}} / P_{\text{total}} = 0,59$$

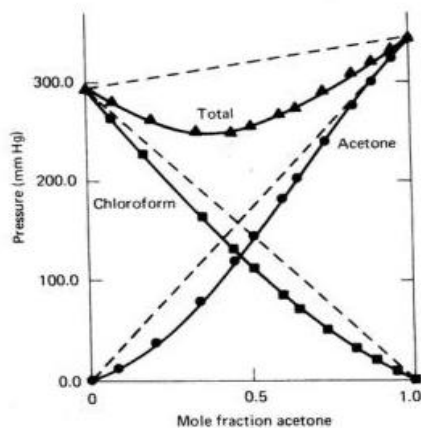
## Começando a fugir da idealidade: Os desvios da Lei de Raoult

Provavelmente você deve ter pensado “ok, entendi que a Lei de Raoult aplica-se à uma situação ideal de solução, mas na vida real nós não trabalhamos com soluções ideais”. De fato, muitas soluções que trabalhamos cotidianamente não obedecem às condições compreendidas pela Lei de Raoult, que passam a não ser mais válidas conforme os líquidos começam a interagir na mistura de forma diferente daquela predita para quando a solução é tratada como ideal. Então o que fazemos primeiramente é analisar como se dá esse desvio da lei de Raoult.

## ENTENDENDO

O que você espera que aconteça quando dois líquidos passarem a interagir atrativamente? Isto é, quando as interações estabelecidas por eles passarem a favorecer a mistura? **Resolução: Das propriedades de mistura,  $\Delta V_{\text{mix}}$  diminui,  $\Delta G_{\text{mix}}$  diminui, etc, como resultado dessa interação atrativa.**

Quando a interação é atrativa, os desvios da lei de Raoult mostram-se negativos. Isso quer dizer que a pressão de vapor obtida experimentalmente é menor do que aquela predita no modelo ideal. Por outro lado, os desvios positivos da lei de Raoult são associados às interações repulsivas, com pressões de vapor maiores do que a esperada pelo modelo.

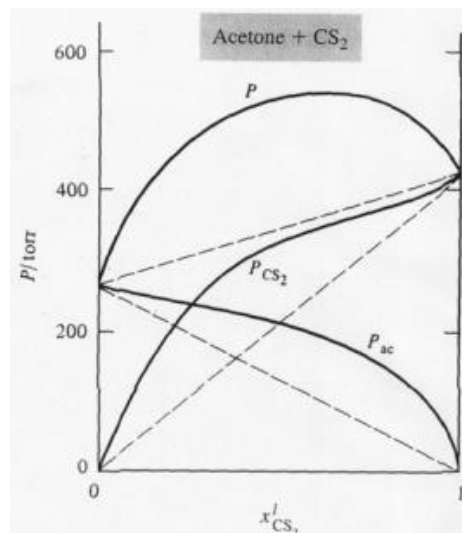


**Figura H.** Sistema de clorofórmio e acetona com a pressão de vapor em função da composição de acetona.

Retirado e modificado de <https://www.slideserve.com/dacey-cameron/henry-s-law>, acesso em março de 2020.

**Figura I.** Pressão de vapor para uma mistura de acetona e  $\text{CS}_2$  e sua variação com a fração molar de  $\text{CS}_2$ .

Retirado de Levine, I. N. 6th ed, McGraw Hill, 2009.



Nesses exemplos podemos ver que os desvios da lei de Raoult são bastante acentuados até uma faixa de composição onde  $x_i$  se aproxima de 1. Conforme isso acontece, o desvio fica menos acentuado até que a pressão do componente  $i$  se aproxime daquela predita por Raoult, mostrando que nesses casos é válido utilizar da lei de Raoult, pois cada vez mais as interações entre as moléculas dos líquidos presentes se parecerão com aquelas estabelecidas pelas moléculas do líquido puro, quando este líquido estiver em maior quantidade. Antes de começarmos a falar das soluções reais, vamos ver mais um exemplo de caso não real.

### Soluções Líquidas idealmente diluídas: Lei de Henry

O caso das soluções idealmente diluídas é uma extensão do exemplo da solução ideal. Nesta situação, dizemos que a fração molar do componente 1 (solvente)  $x_1$  tende a 1, enquanto a fração molar do componente 2 (soluto),  $x_2$ , aproxima-se de zero. Assim, as interações das moléculas de soluto são predominantemente realizadas com moléculas de solvente, e claro, as moléculas de solvente interagem majoritariamente com outras de solvente. Em uma solução idealmente diluída temos então a Lei de Henry descrevendo o

comportamento do **soluto**, enquanto a lei de Raoult descreve o comportamento do **solvente**.

$$P_i = k \cdot x_i^l - \text{Lei de Henry}$$

Onde  $k$  é a chamada constante de Henry.

Assim, temos avaliados dois extremos: Quando, para um componente a sua fração molar se aproximar de 1, a lei de Raoult poderá ser utilizada para descrever seu comportamento. Quando a sua fração molar estiver próxima de zero, a lei de Henry poderá descrevê-lo.

---

## APLICANDO

(Retirado de MCQUARRIE) A pressão de vapor do componente 1 (em torr) em uma solução binária é dada por  $P_1 = 180 \cdot x_1 \cdot e^{(x_2^2 + \frac{1}{2}x_2^3)}$  com  $0 \leq x_1 \leq 1$ . Determine a pressão de vapor ( $P_1^*$ ) e a constante da lei de Henry ( $k$ ) do componente puro 1.

**Resolução:** A pressão de vapor de 1 puro será obtido quando a fração molar deste componente for = 1. Este é o caso representado pela lei de Raoult,

$P_i = P_i^* \cdot x_i^l$ . Portanto, com  $x_1 \rightarrow 1$ , o fator exponencial vai a  $e^0 = 1$ , pois a fração molar do soluto,  $x_2 \rightarrow 0$ . Voltando à lei de Raoult,  $P_1^*$  será, então = 180 torr.

Quando o mesmo componente 1 tem a fração molar  $\rightarrow 0$ , temos o caso representado pela Lei de Henry. E então o outro componente,  $x_2 \rightarrow 1$  e  $e^{(\frac{3}{2})} \approx 4,4819$  e a constante de Henry será então  $\approx 807$  torr.

---

## Parte 3: Soluções não-ideais

### As soluções regulares

Bom, dadas as limitações anteriores, é de se esperar que precisemos de novas expressões capazes de melhor representar as soluções não-ideais. Inicialmente, trataremos de soluções não eletrolíticas.

Em nosso primeiro caso, os acréscimos ao modelo de solução ideal correspondem a trocas de energia de interações moderadas entre as moléculas dos componentes presentes em solução, a qual passaremos a chamar de **solução regular**. Uma solução regular assemelha-se muito a uma solução ideal, diferenciando-se dessa quanto à entalpia de mistura,  $(\Delta H_{\text{mix}})^{\text{regular}} \neq 0$ .

As soluções regulares são úteis para a obtenção das propriedades termodinâmicas de uma solução comparando valores de quantidades de mistura de medidas experimentais com valores ideais. A diferença entre esses valores nas quantidades de mistura gera uma quantidade chamada de **função de excesso**. O “excesso” então denota o afastamento do comportamento dessa solução ao ideal. Os mesmos argumentos da função de excesso são aplicados para soluções reais, e esta é a contribuição que o modelo de solução regular pode trazer, facilitando a obtenção dessas quantidades termodinâmicas enquanto posiciona-se como um modelo intermediário entre o de solução ideal e o de solução real.

$$Z^E = Z_{\text{mistura}}^{\text{experimental}} - Z_{\text{mistura}}^{\text{ideal}}$$

Onde Z representa uma propriedade termodinâmica hipotética.

No modelo de solução regular, a entropia de excesso,  $S^E$ , é igual a zero. Isso porque, assim como na solução ideal, considera-se que as moléculas se espalham uniformemente na solução.

A entalpia de excesso representa a energia trocada pela diferença de interações entre os componentes A e B na solução a partir da seguinte relação matemática:

$$H^E = n\xi RTx_a x_b$$

Onde  $\xi$  fornece a medida das interações entre A-B em relação a A-A e B-B.

Para valores negativos de  $\xi$ , a entalpia de excesso assume valores negativos e a interação entre A e B é exotérmica.

Como  $H^E = (\Delta H_{\text{mix}})^{\text{regular}} - (\Delta H_{\text{mix}})^{\text{ideal}}$  e  $(\Delta H_{\text{mix}})^{\text{ideal}} = 0$ , a entalpia de excesso é igual a  $(\Delta H_{\text{mix}})^{\text{regular}}$ .



Já a análise da energia de Gibbs nos informa que a energia de Gibbs de excesso será igual a  $H^E$ , pois o modelo de solução regular implica que  $S^E$  seja zero. Assim, a energia de Gibbs de uma mistura será:

$$H^E = G^E = (\Delta G_{\text{mix}})^{\text{regular}} - (\Delta G_{\text{mix}})^{\text{ideal}}$$

$$(\Delta G_{\text{mix}})^{\text{regular}} = RT (n_b \ln x_b + n_a \ln x_a) + n \xi RT x_a x_b$$

$$(\Delta G_{\text{mix}})^{\text{regular}} = RT (n_b \ln x_b + n_a \ln x_a + \xi x_a x_b)$$

## APLICANDO

(Retirado de ATKINS – Adaptado) Considere uma solução contendo 1 mol de metil-ciclohexano e 3 moles de tetraidrofurano. Essa solução está a 303,15 K.

A energia de Gibbs de excesso para essa solução foi medida e é dada por essa expressão:

$$G^E = RTx(1-x) \left\{ 0,4857 - 0,1077(2x-1) + 0,0191(2x-1)^2 \right\}$$

Onde  $x$  é a fração molar de metil-ciclohexano.

Manipulando essa expressão, comente sobre as interações estabelecidas entre esses dois componentes e se a mistura desses componentes é favorecida termodinamicamente. Tome cuidado com a análise dimensional. Considere a mistura como uma solução regular.

**Resolução:** Por se tratar de uma solução regular,  $G^E$  é também  $H^E$ , que é  $\Delta H_{\text{mix}}$ . O desenvolvimento dessa expressão dará o resultado de  $H^E$ , que é de aproximadamente 1028 J. Tal resultado diz que as interações estabelecidas entre o MCH e o THF são menos energéticas do que aquelas estabelecidas entre eles próprios. A mistura desses componentes segue favorecida nesta proporção em relação à energia de Gibbs de mistura ideal nessa  $T$  e composição, pois  $\Delta G_{\text{mix}} = -4,6\text{kJ}$  e  $\Delta G_{\text{mix}}^{\text{id}} = -5669,21\text{J}$ , nota-se, no entanto, um aumento no valor da energia de Gibbs.

### As soluções reais

Apesar de ser um modelo bastante útil, o modelo de soluções regulares não é suficiente para descrever uma solução real. Vamos recuperar a expressão para o potencial químico de um componente  $i$  presente em uma solução de comportamento ideal.

$$\mu_i = \mu_i^* + RT \ln x_i$$

Como já vimos, a Lei de Raoult está inclusa nesta expressão através da relação  $P_i = P_i^* \cdot x_i$ . E pudemos observar alguns exemplos de misturas de dois líquidos que apresentam um desvio, positivo ou negativo, apresentando valores de pressão diferentes daqueles previstos por esta lei. Incluímos então um termo capaz de expressar estas mudanças.

$$P_i = P_i^* \cdot \gamma_i x_i$$

$\gamma_i$  é o coeficiente capaz de expressar os desvios da idealidade. Quando este termo iguala a 1, a solução comporta-se idealmente.  $\gamma$  é chamado de coeficiente de atividade.

E o que é atividade? A atividade ( $a$ ) é chamada por alguns autores de concentração efetiva. Ela é na verdade uma quantidade que pode ser expressa como função da temperatura, pressão e composição e que leva em consideração as interações que um determinado componente estabelece com outros, porém mais do que isso, a atividade é uma forma de medir o potencial químico, uma vez que representa também uma tendência de escape de  $i$  da solução.

---

### **RELEMBRANDO**

Precisamos abrir um parêntese antes de prosseguirmos com o desenvolvimento do trabalho com a atividade. Como dito acima, a atividade é uma quantidade que se relaciona ao potencial químico, porém esta

característica não lhe é exclusiva. Uma outra quantidade, chamada de **fugacidade**, representada pela letra  $f$ , é também uma medida do potencial químico. A fugacidade é, no entanto, aplicada a gases, exprimindo também uma capacidade de migração. É uma função da temperatura e da pressão e foi criada para incorporar a **não-idealidade** das medidas de **pressão**. Assim como a atividade, a fugacidade também possui um coeficiente ( $\Phi$ ) associado que carrega estes desvios das medidas ideais.

$$\Phi = \frac{f}{P}$$

Quando a razão entre estes termos for  $< 1$ , a capacidade de migração é baixa, pois há um predomínio entre as forças de interação atrativas entre as moléculas.

Uma vez que foram feitas suposições assumindo que o comportamento do vapor em equilíbrio com o seu líquido era o mesmo de um gás perfeito, as expressões apresentadas anteriormente utilizaram da dependência da pressão.

---

Então a atividade é expressa como  $a_i = \gamma_i x_i$ . E a expressão para o potencial químico de um dado componente em uma solução não-ideal passa a ser

$$\mu_i = \mu_i^\circ + RT \ln a_i \quad \text{ou} \quad \mu_i = \mu_i^\circ + RT \ln \frac{P_i}{P_i^*}$$

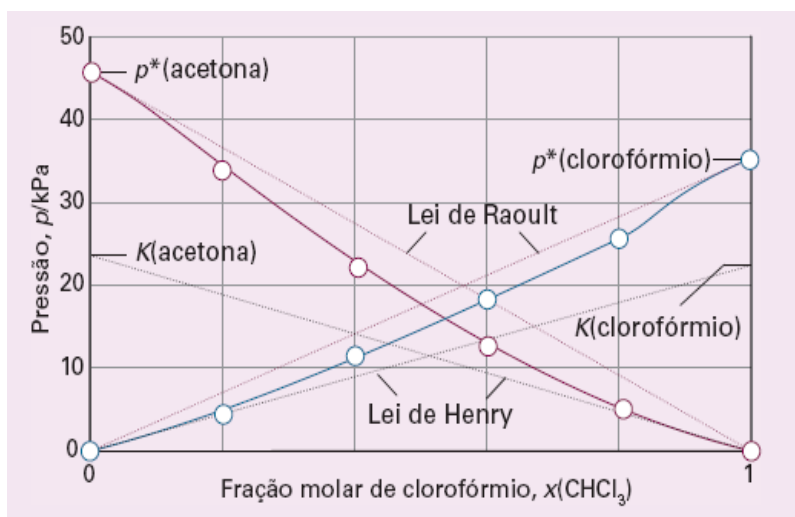
Essa expressão é válida para qualquer tipo de solução, ideal ou real, e será aplicada também aos casos das soluções eletrolíticas. O padrão de referência para o potencial químico,  $\mu_i^\circ$ , deverá ser escolhido conforme o modelo que melhor representar a interação dos componentes na solução. Para soluções de líquidos totalmente miscíveis, o padrão será o potencial químico dos líquidos puros, e o tratamento a cada um dos componentes é dado pela lei de Raoult,  $\mu_i^\circ = \mu_i^*$ . Se a solução for composta por dois líquidos parcialmente miscíveis ou for composta por sólidos ou gases dissolvidos em líquidos, considera-se o tratamento do componente minoritário pela lei de Henry e

$\mu_i^\circ = \mu_i$ , cujo estado-padrão é hipotético e é obtido através de uma extrapolação para uma situação de alta diluição e que depende da natureza do solvente.

## ENTENDENDO

(Retirado de ATKINS e DE PAULA, 2010 – adaptado) Imagine um cenário no qual você está preparando soluções de clorofórmio em acetona a 35 °C. Você prepara 6 amostras com as seguintes frações molares de clorofórmio e obtém dados de pressão de vapor pros dois componentes. A constante de Henry para o clorofórmio é de 20,4 kPa e para a acetona é 16,9 kPa.

x <sub>clorofórmio</sub>	0	0,20	0,40	0,60	0,80	1
P <sub>clorofórmio</sub> (kPa)	0	4,7	11	18,9	26,7	36,4
P <sub>acetona</sub> (kPa)	46,3	33,3	23,3	12,3	4,9	0



**Figura J.** Pressões parciais de vapor de uma mistura de clorofórmio (triclorometano) e acetona (propanona). Retirado de ATKINS, P. De Paula, Julio de. V.1, 10ª ed. Gen LTC. 2017.

- a) Analisando a curva dada pela lei de Raoult e a curva de pressões obtida experimentalmente, discorra sobre o que acontece nessa solução, interpretando o comportamento da atividade desses componentes.

**Resolução:** Podemos perceber que as curvas apresentam desvios negativos em relação à lei de Raoult. Isso quer dizer que as moléculas

dos componentes estão estabelecendo interações atrativas. Como, pela lei de Raoult,  $P_i = P_i^* a_i$ , vemos que  $\frac{P_i}{P_i^*} < 1$ , e portanto  $a_i < 1$ .

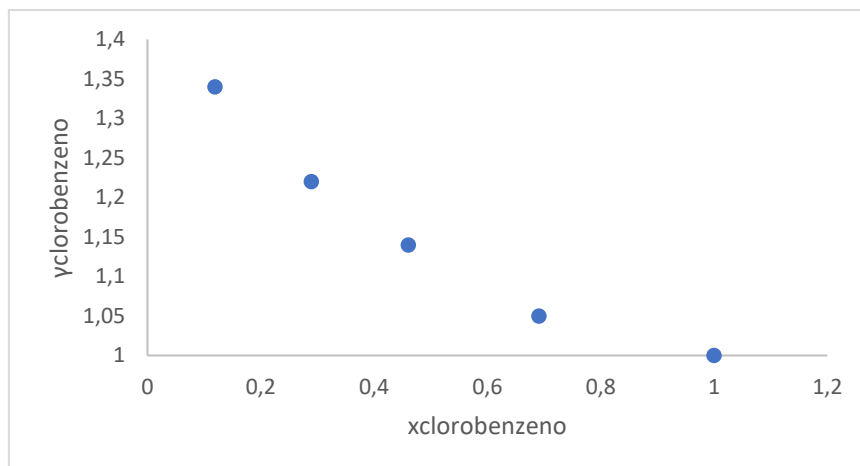
- b) O que você pode dizer sobre o potencial químico destes componentes na solução comparando com o modelo da solução ideal?

**Resolução:** Dado que o potencial químico de um componente é dado por  $\mu_i = \mu_i^\circ + RT \ln a_i$  e que  $a_i < 1$ ,  $\ln a_i < 0$  e portanto o potencial químico do componente  $i$  diminui.

---

## ENTENDENDO

A figura abaixo mostra a mudança no comportamento do coeficiente de atividade do clorobenzeno conforme a composição em uma solução de clorobenzeno em 1-nitropropano a 75 °C aumenta em proporção a quantidade de clorobenzeno.



Interpretando os dados da questão e da figura fornecidos, pode-se prever o que acontece com a atividade no 1-nitropropano nessas condições? Se sim, mostre como, empregando uma relação matemática que relacione as atividades dos dois componentes.

**Resolução:** Sim, é possível perceber que a atividade de clorobenzeno vai aumentando (possível de se obter ponto a ponto através de  $a_i = \gamma_i x_i$ ) e a do 1-

nitropropano começará a diminuir, uma vez que em uma mistura binária é possível relacionar as duas através da equação de Gibbs-Duhem.

---

### **APLICANDO**

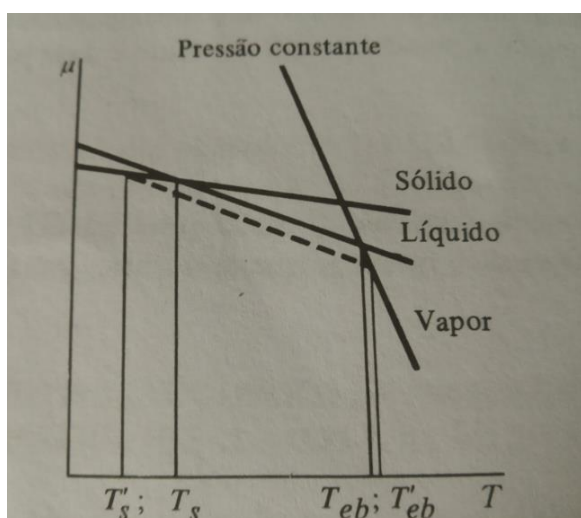
Executando as ideias apresentadas pelos modelos de soluções trabalhados até então, encontre uma forma de se obter as propriedades termodinâmicas de uma solução real.

**Resolução:** Pelas funções de excesso.

---

## As Propriedades Coligativas

As propriedades coligativas são propriedades de soluções que surgem da adição de um soluto a um componente puro. A adição de um soluto em um líquido puro A altera a capacidade de migração do solvente A em solução, e, disso ocorrerá o fenômeno da osmose, do abaixamento da pressão de vapor, do abaixamento do ponto de congelamento, do aumento do ponto de ebulição de uma solução em comparação a um componente líquido puro.

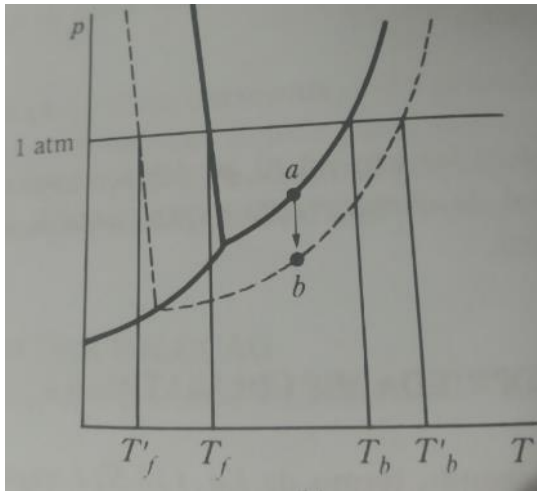


**Figura K.** Diagrama de potencial químico de uma substância em função da Temperatura.  $T_s$  refere-se ao ponto de congelamento (solidificação) e  $T_{eb}$  o ponto de ebulição. Retirado de CASTELLAN (2014).

### i) Análise do abaixamento da pressão de vapor

Considere uma solução de um solvente A puro em equilíbrio com o seu vapor. Nessa situação,  $\mu_A^{\text{vapor}} = \mu_A^{\text{líquido}}$ . E a pressão de vapor acima da solução é dada somente por A, de tal forma que  $\mu_i = \mu_i^* + RT \ln \gamma_i x_i$ , com  $x_i = \gamma_i = 1$  e, portanto,  $P_A = P_A^*$ .

Agora imagine a adição de um soluto não-volátil (cuja pressão de vapor é desprezível) à A. A adição desse soluto diminui a tendência de escape de A (o potencial químico) à fase vapor e sua fração molar deixa de ser 1, bem como o seu coeficiente de atividade, resultando em uma diminuição da pressão de vapor de A em relação à pressão de A puro, e  $P_A < P_A^*$ . Isso pode ser visto em um diagrama de fases do solvente, como na figura J.



**Figura J.** Diagrama de fases para a água mostrando o abaixamento da pressão de vapor em todas as temperaturas. Retirado de CASTELLAN, G. (2014)

## ii) Abaixamento do ponto de congelamento

Atente à figura K. O ponto em que as curvas do potencial químico de A líquido e sólido se cruzam é o ponto de congelamento de A puro. Uma análise nas redondezas desse ponto nos diz que para temperaturas ligeiramente acima dessa temperatura, a tendência é que A exista na forma líquida, que é a região mais estável (lembre-se que essas curvas estão associadas à entropia) e de menor potencial químico,  $\mu_A^{\text{líquido}} < \mu_A^{\text{sólido}}$ . No outro lado, no entanto, vemos que  $\mu_A^{\text{líquido}} > \mu_A^{\text{sólido}}$ , A adição de um soluto não-volátil apresenta uma nova temperatura de congelamento, que passa a ter um equilíbrio entre as fases de A sólido e A **em solução**.  $\mu_A^{\text{sólido}} = \mu_A^{\text{solução}}$ . Abaixo desse ponto,  $\mu_A^{\text{sólido}} < \mu_A^{\text{solução}}$ , e A começa a congelar, alterando a concentração da solução. Uma expressão para se obter o abaixamento do ponto de congelamento em soluções idealmente diluídas é

$$\Delta T_f = K_f \cdot m_b$$

Onde  $\Delta T_f$  representa o abaixamento do ponto de congelamento,  $T_f^* - T_f^{\text{solução}}$

$K_f$  é uma constante independente da natureza do soluto e

$m_b$  é a molalidade do soluto.

A obtenção dessa equação decorre de várias aproximações. Uma delas é de que a variação da temperatura de fusão é tão baixa que o  $\Delta H_f$  de fusão desse



processo é praticamente constante nessa faixa de temperaturas. Para a dedução completa, consulte a bibliografia da disciplina.

O estudo do abaixamento do ponto de congelamento é chamado também de criometria. Esse fenômeno está presente na natureza em diversos animais e plantas que utilizam de proteínas anticongelantes em seus fluídos. No laboratório, a criometria nos permite obter também a massa molecular de solutos medindo o abaixamento do seu ponto de congelamento.

### iii) Elevação do ponto de ebulição

A mesma ideia pode ser aplicada à elevação do ponto de ebulição. A adição de um solvente não-volátil a um solvente puro faz com que o equilíbrio entre as fases do solvente em vapor e em solução sejam dadas pela igualdade de potencial químico das duas fases,  $\mu_A^{\text{solução}} = \mu_A^{\text{vapor}}$ . Já sabemos que  $\mu_A^{\text{solução}} < \mu_A^{\text{vapor}}$  pois na fase vapor há somente A puro e que a pressão de vapor de A diminui. A temperatura de ebulição torna-se dependente então da atividade do solvente A em solução.

A expressão que relaciona o aumento do ponto de ebulição em uma solução idealmente diluída é dada por

$$\Delta T_{\text{eb}} = K_{\text{eb}} \cdot m_b$$

Onde  $\Delta T_{\text{eb}}$  representa o aumento da temperatura de ebulição,  $T_{\text{eb}}^{\text{solução}} - T_{\text{eb}}^*$ , sendo  $T_{\text{eb}}^*$  a temperatura de ebulição do solvente puro.

Análoga à expressão da depressão do ponto de congelamento.

O estudo do aumento do ponto de ebulição é chamado de ebulioscopia. A ebulioscopia aparece no cozimento de nossos alimentos e em laboratório é aplicada em diversas técnicas analíticas como a espectrometria de massas para obtenção de pesos moleculares de não-polímeros, entre outros.

### iv) Pressão osmótica

A pressão osmótica é o acréscimo de pressão aplicado à uma solução para que se tenha um equilíbrio de potenciais químicos na membrana entre uma solução de um solvente A puro e uma solução com A e um soluto não-volátil B. A migração de A de uma região de alto potencial químico ( $\mu_A^*$ ) para uma de baixo potencial químico ( $\mu_A^{\text{solução}}$ ) através de uma membrana permeável só ao solvente A, é chamada de **osmose**. O processo reverso é chamado de **osmose reversa**.

A expressão para a pressão osmótica é dada por

$$\Pi = - \left( \frac{RT}{Vm_A^*} \right) \ln \gamma_a x_a$$

Onde  $Vm_A^*$  é o volume molar de A puro.

Para soluções diluídas, vale que

$$\Pi = cRT$$

que é chamada de **lei de Van't Hoff**.

O fenômeno da osmose está presente na membrana celular, permeável a água, oxigênio e outros e impermeável a proteínas etc. No laboratório aplicamos da pressão osmótica para obter as massas molares de polímeros.

---

## ANALISANDO

### Resolução de Problema

A adulteração do leite é um problema frequentemente noticiado na mídia<sup>1,2</sup>. Algumas empresas realizam esse tipo de fraude com o intuito de alterar o volume contido na caixa e a validade do produto, adicionando água e outros componentes, como ureia, água oxigenada, entre outros. A implicação disso é que os consumidores passam a não obter a principal proteína do leite, a caseína, e acabam por ingerir diversos componentes nocivos.

Um caso ocorreu recentemente em uma cidade próxima a Porto Alegre. Após a denúncia por um dos próprios trabalhadores da empresa de laticínios, o Tribunal de Justiça pediu consultoria a você, professor(a) de química, para que conduza a análise dos produtos vendidos por essa empresa e diga se a denúncia de adulteração por adição de água é verdadeira para que se possa avaliar a

possibilidade de punição a essa empresa. Você então, juntamente com uma equipe de alunos, conduz testes com amostras de leite integral e leite desnatado dessa empresa através da análise crioscópica.

Eis os dados dos experimentos realizados:

Tabela 1 – Medidas de Temperaturas de Congelamento obtidas para as amostras

AMOSTRA	Tf 1 ( °C)	Tf 2 ( °C)	Tf 3 ( °C)	MÉDIA DAS MEDIDAS ( °C)
AMOSTRA (A)	-0,517	-0,5115	-0,515	-0,515
AMOSTRA (B)	-0,487	-0,485	-0,481	-0,487
AMOSTRA (C)	-0,467	-0,460	-0,463	-0,463
AMOSTRA (D)	-0,532	-0,528	-0,534	-0,531

Analise os dados obtidos do experimento e, comparando com as informações contidas em normas e legislações indicadas pelo MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento) sobre a produção de leite integral e sua composição, redija uma nota ao Tribunal de justiça, explicando como se realiza a interpretação do fenômeno presente nessa análise e concluindo se houve ou não alteração no leite dessas amostras.

Referências:

<sup>1</sup> <https://www.conjur.com.br/2020-jun-29/laticinio-pagar-milhao-indenizacao>

<sup>2</sup> <https://www.folhadonor Oeste.com.br/noticias/leite-compensado-tres-pessoas-sao-presas-por-fraude-no-leite/>

**Resolução:** A intenção deste problema é despertar o interesse dos estudantes para exemplos de onde podemos aplicar o conhecimento de propriedades coligativas. A análise consiste em apenas em avaliar a temperatura de congelamento das amostras e averiguar se se encontra em uma faixa aceitável segundo a legislação dos órgãos competentes, sendo necessário, no entanto que o estudante use dessas fontes para chegar a essa conclusão.

**Espera-se que o estudante:**

- apresente as fontes usadas para a resolução;
- discorra sobre o fenômeno do abaixamento do ponto de congelamento;
- apresente uma conclusão coerente com o resultado, tomando uma decisão e redigindo a carta ao Tribunal de Justiça.

Assim, os estudantes poderiam acessar a Instrução Normativa nº 76, 2018 (disponível em <https://www.in.gov.br/materia/>

[/asset\\_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/52750137/do1-2018-11-30-instrucao-normativa-n-76-de-26-de-novembro-de-2018-52749894IN%2076#:~:text=integral%20e%20semidesnatado.-,Art.,densidade%20ou%20do%20%C3%ADndice%20criosc%C3%B3pico\)](#) por exemplo, onde se lê que:

Art. 4º O leite cru refrigerado deve atender as seguintes características sensoriais:

IX - índice crioscópico entre  $-0,530^{\circ}\text{H}$  (quinhentos e trinta milésimos de grau Hortvet negativos) e  $-0,555^{\circ}\text{H}$  (quinhentos e cinquenta e cinco milésimos de grau Hortvet negativos), equivalentes a  $-0,512^{\circ}\text{C}$  (quinhentos e doze milésimos de grau Celsius negativos) e a  $-0,536^{\circ}\text{C}$  (quinhentos e trinta e seis milésimos de grau Celsius negativos), respectivamente.

Art. 15. O leite pasteurizado deve atender aos seguintes parâmetros físico-químicos:

IV - índice crioscópico entre  $-0,530^{\circ}\text{H}$  (quinhentos e trinta milésimos de grau Hortvet negativos) e  $-0,555^{\circ}\text{H}$  (quinhentos e cinquenta e cinco milésimos de grau Hortvet negativos), equivalentes a  $-0,512^{\circ}\text{C}$  (quinhentos e doze milésimos de grau Celsius negativos) e a  $-0,536^{\circ}\text{C}$  (quinhentos e trinta e seis milésimos de grau Celsius negativos), respectivamente;

Além de que:

Art. 31. O leite pasteurizado tipo A não deve apresentar substâncias estranhas à sua composição, tais como agentes inibidores do crescimento microbiano, neutralizantes da acidez e reconstituintes da densidade ou do índice crioscópico.

Sendo assim, o estudante deve concluir que as amostras B e C estão adulteradas com água. As amostras 2 e 3 tiveram adição de 5% de água e 10% de água, respectivamente. Dados experimentais retirados de Novo et. al (2007).

Outras fontes:

O índice crioscópico de amostras de leite integral é de  $-0,55^{\circ}\text{C}$ , sendo tolerada até  $-0,535^{\circ}\text{C}$ . Portaria nº8, 26 de junho de 1984. Dados retirados da dissertação de Mestrado de Cleusa Scapini Becchi, de 2013. Link: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/3750/000392240.pdf>

---

## **Parte 4 – Soluções eletrolíticas**

As soluções eletrolíticas são aquelas que apresentam condutividade elétrica devido a presença de um eletrólito. Um eletrólito é uma espécie que em solução aquosa produz íons. Você deve lembrar da química geral que eletrólitos fracos apresentam baixa ionização e eletrólitos fortes apresentam alta ionização quando comparados a uma solução de um mesmo solvente. São

exemplos de eletrólitos o ácido acético (em água um eletrólito fraco, com baixa ionização),  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , e o ácido clorídrico (em água um eletrólito forte),  $\text{HCl}$ .

Quando estudamos as soluções não-ideais, vimos que as expressões de potencial químico para as espécies devem ser escritas em termos de atividades. Para as soluções eletrolíticas o mesmo vale, pois as interações coulômbicas são consideráveis mesmo à uma distância maior entre os íons na solução, mas devido à dificuldade de se medir as atividades dos cátions e ânions separadamente, é necessário definir quantidades iônicas médias – coeficiente de atividade iônico médio, atividade iônica média, molalidade iônica média, etc. Ou seja, trabalhamos de uma perspectiva do eletrólito, não dos íons separadamente. O potencial químico do eletrólito  $i$  é dado por:

$$\mu_i = \left( \frac{dG}{dn_i} \right)_{T,P,n_{j \neq i}}$$

onde  $\mu_i = \nu_+ \mu_{+}^{\circ} + \nu_- \mu_{-}^{\circ}$  ou seja, o potencial químico do eletrólito é dado pela soma dos potenciais químicos dos íons ponderados pelos seus números de moles ( $\nu$ ).

A atividade dessas espécies é expressa através de uma atividade iônica média, expressa como

$$a_{\pm}^{\nu} = a_{+}^{\nu+} a_{-}^{\nu-}$$

Onde a atividade de cada espécie é dada por  $a_z = m_z \gamma_z$

$z$  é a carga desse íon,  $m$  é a molalidade e  $\gamma$  o coeficiente de atividade dessa espécie.

A atividade é expressa através do produto do coeficiente de atividade com a concentração daquela determinada espécie. Considerando a nossa nova atividade iônica média e as atividades de cada espécie na solução eletrolítica, definimos outros dois termos:

O coeficiente de atividade médio,  $\gamma_{\pm}^{\nu}$  onde

$$\gamma_{\pm}^{\nu} = \gamma_{+}^{\nu+} \gamma_{-}^{\nu-}$$

A molalidade média,  $m_{\pm}^{\nu}$  onde

$$m_{\pm}^{\nu} = m_{+}^{\nu+} m_{-}^{\nu-}$$

---

## ENTENDENDO

Considerando as informações apresentadas acima sobre as soluções eletrolíticas e buscando em referências bibliográficas de físico-química, explique como podemos ter acesso a grandezas como a entalpia de formação ( $\Delta H_f$ ) e a energia de Gibbs de formação ( $\Delta G_f$ ) desses íons.

**Resolução:** Como não é possível medir essas quantidades para os íons separadamente, utiliza-se do padrão de  $H^+$ , que por definição tem tanto entalpia de formação quanto energia de Gibbs de formação igual a zero para todas as temperaturas. Os valores do estado padrão são obtidos na temperatura de 298,15 K em água e com molalidade de 1 mol/kg. Dados retirados de (KONDEPUDI; PRIGOGINE, 2015).

---

## REFERÊNCIAS:

ATKINS, P., DE PAULA, J. Físico-Química, LTC, Rio de Janeiro, ed.9, v.1, 2010.

CASTELLAN, G. Fundamentos de Físico-Química, LTC, Rio de Janeiro, 1 ed, v. único, 2014.

KONDEPUDI, D. PRIGOGINE, I. Modern Thermodynamics – From heat Engines to Dissipative Structures, Wiley, 2 ed, 2015.

LEVINE, I.N. *Physical Chemistry*. McGraw Hill, Nova York, v. único, 6a ed, 2009.

MCQUARRIE, D.A., SIMON, J.D. *Physical Chemistry – A molecular Approach*. University Science Books, Sausalito, ed. 1, v. único, 1997.

NOVO, M., REIJA, B., AL-SOUF, W. Freezing Point of Milk: A natural way to understand colligative properties, Journal of Chemical Education 2007, 84, 1673.

ORTEGA, P.G.R., GILBERT-LÓPEZ, B., DONAIRE, S.E., MONTEJO, M. Study of The Effect of Volume Contraction In Methanol-Water Mixtures as Solventes for Analytical Purposes: A Student-Centered Project for Practical Learning. J.Chem. Educ., 96, 2019.

PILLA, L. Físico-química I: termodinâmica química e equilíbrio químico. Editora da UFRGS, Porto Alegre, v.1, 2 ed, 2006.

PILLA, L. Físico-química II: equilíbrio entre fases, soluções líquidas e eletroquímica. Editora da UFRGS, Porto Alegre, v.2, 2 ed, 2010.

## APÊNDICE D - ATIVIDADE DE RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS

### Resolução de Problema

A adulteração do leite é um problema frequentemente noticiado na mídia<sup>1,2</sup>. Algumas empresas realizam esse tipo de fraude com o intuito de alterar o volume contido na caixa e a validade do produto, adicionando água e outros componentes, como ureia, água oxigenada, entre outros. A implicação disso é que os consumidores passam a não obter a principal proteína do leite, a caseína, e acabam por ingerir diversos componentes nocivos.

Um caso ocorreu recentemente em uma cidade próxima a Porto Alegre. Após a denúncia por um dos próprios trabalhadores da empresa de laticínios, o Tribunal de Justiça pediu consultoria a você, professor(a) de química, para que conduza a análise dos produtos vendidos por essa empresa e diga se a denúncia de adulteração por adição de água é verdadeira para que se possa avaliar a possibilidade de punição a essa empresa. Você então, juntamente com uma equipe de alunos, conduz testes com amostras de leite integral e leite desnatado dessa empresa através da análise crioscópica.

Eis os dados dos experimentos realizados:

Tabela 1 – Medidas de Temperaturas de Congelamento obtidas para as amostras

AMOSTRA	Tf 1 ( °C)	Tf 2 ( °C)	Tf 3 ( °C)	MÉDIA DAS MEDIDAS ( °C)
AMOSTRA (A)	-0,517	-0,5115	-0,515	-0,515
AMOSTRA (B)	-0,487	-0,485	-0,481	-0,487
AMOSTRA (C)	-0,467	-0,460	-0,463	-0,463
AMOSTRA (D)	-0,532	-0,528	-0,534	-0,531

Analise os dados obtidos do experimento e, comparando com as informações contidas em normas e legislações indicadas pelo MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento) e outros órgãos competentes sobre a produção de leite integral e sua composição, redija uma nota ao Tribunal de justiça, explicando como se realiza a interpretação do fenômeno presente nessa análise e concluindo se houve ou não alteração no leite dessas amostras.

Referências:

<sup>1</sup> <https://www.conjur.com.br/2020-jun-29/laticinio-pagar-milhao-indenizacao>

<sup>2</sup> <https://www.folhadonor Oeste.com.br/noticias/leite-compensado-tres-pessoas-sao-presas-por-fraude-no-leite/>



## APÊNDICE E - ATIVIDADE DE ESTUDOS DE CASO

### Caso: Processo Seletivo na EMFPOA

A escola EMFPOA anunciou que estará admitindo novos professores para compor a equipe de ciências da natureza. São anunciadas 2 vagas para novos professores de química que atuarão em turmas do Ensino Médio e no curso técnico de Química oferecido na escola. Assim como na seleção de professores de contrato temporário no estado do Rio Grande do Sul, estudantes em formação poderão se inscrever no processo de seleção, contanto que estejam pelo menos na 5ª etapa do curso. Você e sua dupla de estudos decidem se inscrever enviando o comprovante de matrícula para o portal de inscrições. Terminado o período de inscrição, um e-mail da secretaria da escola chega para vocês.

**PROCESSO SELETIVO - EFMPPOA** ★ → ↶

EFMPPOA [efmpoa.secretaria@efmpoa.com.br](mailto:efmpoa.secretaria@efmpoa.com.br)

Para mim

Prezado(a) candidato(a),

Parabéns! Informamos que você foi aprovado(a) para a próxima fase do processo seletivo para o cargo de professor de química na escola EMFPOA. A etapa final consiste na preparação de uma aula ou material didático abrangendo a temática de **soluções** direcionada para o Ensino Médio ou Técnico a ser apresentada em um intervalo de 15 minutos. No horário da apresentação deverá ser entregue também um plano de aula descrevendo os objetivos a serem alcançados com a aula ou material, as metodologias utilizadas e como serão realizadas as avaliações de aprendizagem. A etapa final acontecerá semana que vem no auditório da escola. Aguardamos você!

**Escola EMFPOA**

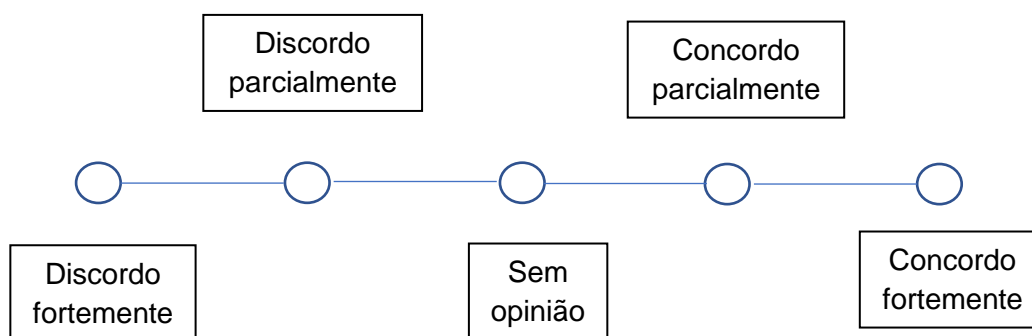
Felizes com a resposta positiva, você e sua dupla decidem unir forças e atuar juntos no planejamento para que ambos sejam admitidos na equipe. Decidam o público-alvo e as estratégias didáticas a serem exploradas para o trabalho. Redijam um plano de aula contendo os requisitos apontados no e-mail e o(s) tópico(s) da temática de soluções a ser(em) escolhido(s). Por último, preparem-se para a apresentação para a equipe da escola!

## APÊNDICE F - QUESTIONÁRIO FINAL

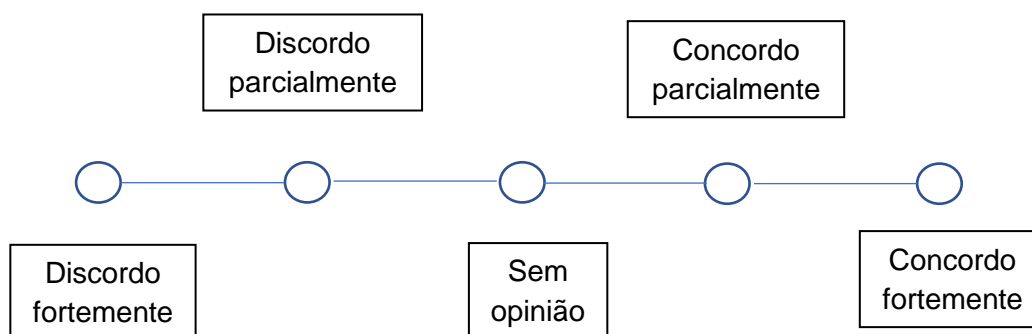
### QUESTIONÁRIO FINAL – TERMODINÂMICA DE SOLUÇÕES

Prezados, esse questionário tem como objetivo coletar as percepções e ideias da turma com o objetivo de promover a melhoria da disciplina para as próximas áreas e aplicações futuras, bem como analisar as potencialidades das atividades desenvolvidas em estudos. Pedimos que leiam as afirmativas e respondam às questões indicadas com sinceridade, concordando ou não com as afirmações.

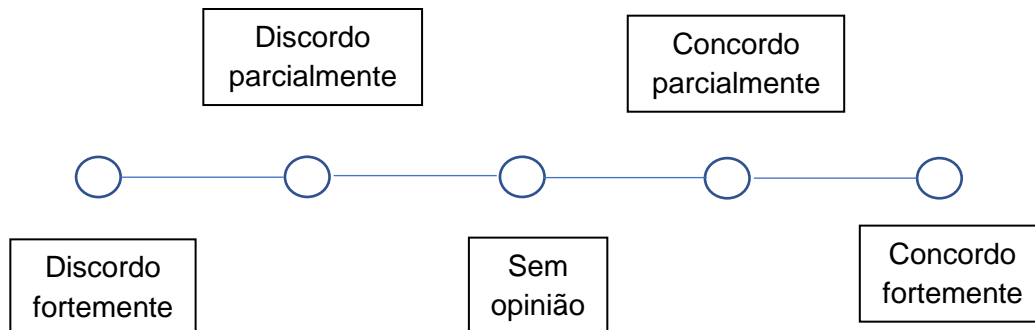
1 – O material complementar disponibilizado me ajudou a acompanhar e entender os conteúdos da área.



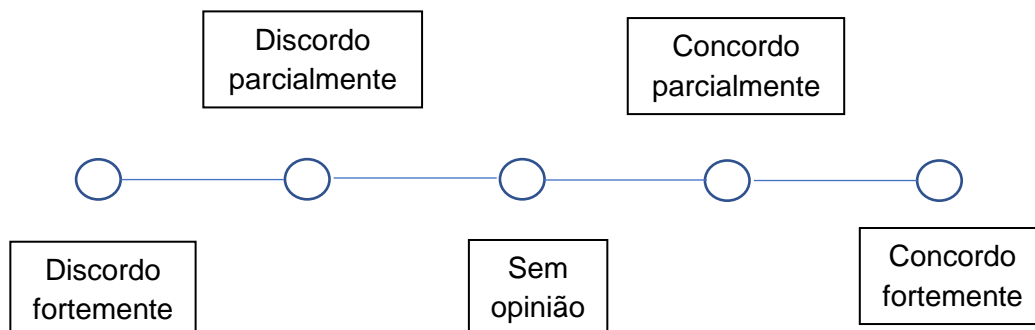
2 - As tarefas propostas para a área 1 foram condizentes com os conteúdos trabalhados na disciplina.



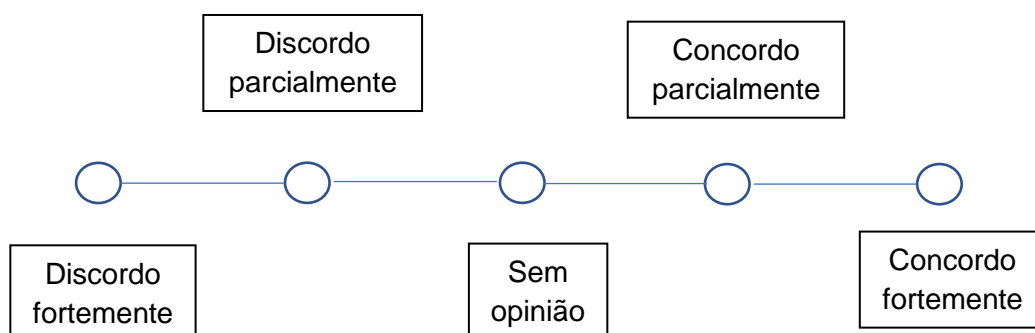
3 - A atividade de *Peer Instruction* contribuiu para o meu processo de aprendizagem.



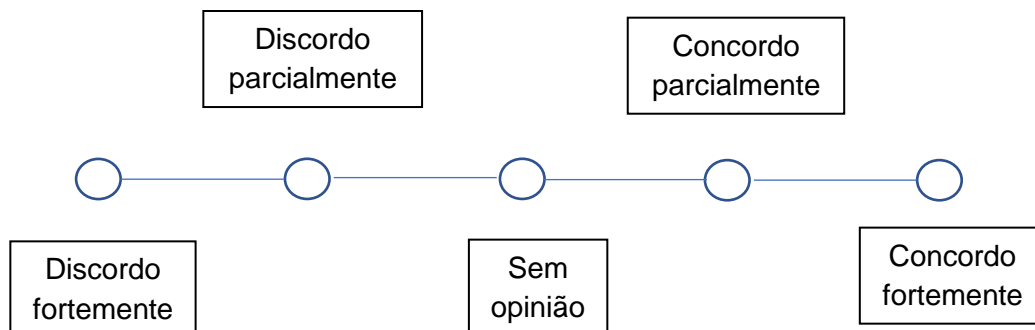
4 - A atividade de resolução de problema contribuiu para o meu processo de aprendizagem.



5 - A atividade de criação de um material ou instrução didática contribuiu para o meu processo de aprendizagem.



6 - Quanto à minha atuação, acredito que fui organizado e me esforcei para acompanhar a área 1.



Por favor, compartilhe suas ideias conosco! Deixe um comentário sobre apontamentos e sugestões para que possamos melhorar a disciplina para as próximas áreas.

---

---

---

---

---

---

---