

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNABUCO – UFRPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO - PRPG
PROGRAMA DE PÓS- GRADUAÇÃO EM ENSINO DAS CIÊNCIAS - PPGEC

KASSIELLY RAIMUNDA DIAS DA SILVA

**ANÁLISE SOBRE COMPREENSÕES E ABORDAGENS FEITAS AO CONCEITO
DE ENTROPIA POR UM GRUPO DE PROFESSORES DE QUÍMICA, EM LIVROS
DIDÁTICOS E PROGRAMAS DISCIPLINARES NO ENSINO SUPERIOR**

Recife

2023

KASSIELLY RAIMUNDA DIAS DA SILVA

**ANÁLISE SOBRE COMPREENSÕES E ABORDAGENS FEITAS AO CONCEITO
DE ENTROPIA POR UM GRUPO DE PROFESSORES DE QUÍMICA, EM LIVROS
DIDÁTICOS E PROGRAMAS DISCIPLINARES NO ENSINO SUPERIOR**

Dissertação apresentado à coordenação do Programa de Pós-graduação em Ensino das Ciências - PPGEC da Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE como requisito parcial para obtenção do título de Mestra em Ensino das Ciências.

Orientadora: Profa. Dra. Edenia Maria Ribeiro do Amaral

Recife

2023

Dedico este trabalho aos meus pais, Abílio e Sebastiana, a minha irmã, Sheilla Dayanne, e a todas as pessoas que sempre acreditaram em mim.

AGRADECIMENTOS

A Deus, razão de tudo, por me permitir sentir sua presença e amparo em todos os momentos. Sem sua permissão nada disso seria possível.

A base que me sustenta, meu amor maior, minha família, por sempre acreditar em mim, me apoiando, acolhendo e incentivando a realização dos meus sonhos. Obrigada por todo cuidado e zelo.

A minha orientadora, Professora Dra. Edenia Maria Ribeiro do Amaral, pela excelente orientação, cuidado, carinho, compreensão em cada momento compartilhado. Me sinto muito honrada em ter a senhora como orientadora.

Ao meu eterno mestre, Professor Dr. Antônio Inácio Diniz Júnior, pela amizade, carinho, conselhos e ensinamentos. Sua generosidade tem mudado a minha vida e a vida da minha família. Sem o seu apoio eu ainda estaria pensando em ingressar no mestrado.

Aos meus amigos de mestrado Suene, Jorge, Janaína, Kédma e, de forma especial, Denilson, por tornar esse período mais leve, pelos momentos de troca e de descontração.

A Geany, amiga desde a infância, minha parceira de estudo e discussões sobre a vida e perfis conceituais. Obrigada pela amizade, carinho e pelas frequentes contribuições.

Aos companheiros do NUPPEDIC pela troca e reuniões que tanto contribuíram para a concretização deste estudo.

Aos membros que compõem a banca avaliadora pelo aceite, disponibilidade e contribuições para este estudo. São pessoas/professores que admiro demais!

A todos os professores do PPGEC, pelo conhecimento e aprendizado a mim proporcionado.

Aos professores participantes deste estudo, pela disponibilidade e contribuições.

À FACEPE, pela bolsa concedida e o incentivo financeiro durante esses dois anos de curso.

KASSIELLY RAIMUNDA DIAS DA SILVA

**ANÁLISE SOBRE COMPREENSÕES E ABORDAGENS FEITAS AO CONCEITO
DE ENTROPIA POR UM GRUPO DE PROFESSORES DE QUÍMICA, EM LIVROS
DIDÁTICOS E PROGRAMAS DISCIPLINARES NO ENSINO SUPERIOR**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ensino das Ciências.

Aprovada em 27/02/2023

BANCA EXAMINADORA

Dra. Edenia Maria Ribeiro do Amaral (Orientadora)
Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE

Dr. José Euzebio Simões Neto (Examinador Interno)
Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE

Antônio Inácio Diniz Júnior (Examinador Externo ao Programa)
Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE

AMADEU MOURA BEGO (Examinador Externo à Instituição)
Universidade Estadual Paulista - UNESP

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S586a

Silva, Kassielly Raimunda Dias da
ANÁLISE SOBRE COMPREENSÕES E ABORDAGENS FEITAS AO CONCEITO DE ENTROPIA POR UM
GRUPO DE PROFESSORES DE QUÍMICA, EM LIVROS DIDÁTICOS E PROGRAMAS DISCIPLINARES NO
ENSINO SUPERIOR / Kassielly Raimunda Dias da Silva. - 2023.

147 f.

Orientadora: Edenia Maria Ribeiro do Amaral.
Inclui referências, apêndice(s) e anexo(s).

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ensino das
Ciências, Recife, 2023.

1. Perfil conceitual de entropia e espontaneidade. 2. Formação de professores. 3. Abordagem metodológica. I. Amaral,
Edenia Maria Ribeiro do, orient. II. Título

CDD 507

A glória seja dada a Deus, o qual, por meio do seu poder que age em nós, pode fazer muito mais do que nós pedimos ou até pensamos (Efésios 3:20).

RESUMO

A presente dissertação teve como objetivo principal analisar como conceito de entropia é abordado nos livros didáticos, em programas disciplinares e por professores de Química do Ensino Médio e Ensino Superior, identificando diferentes modos de pensar sobre esse conceito a partir de zonas do perfil conceitual. Para isso, utilizamos a Teoria dos Perfis Conceituais a partir de uma investigação em várias fontes e em diferentes contextos, buscando discutir ainda a participação mediadora dos professores na construção de conceitos científicos em aulas de Química no Ensino Médio e Ensino Superior. Para a discussão e análise dos dados, consideramos o perfil conceitual de entropia e espontaneidade, estruturado em 3 zonas: perceptiva/intuitiva, empírico/formalista e racionalista. Tivemos como participantes da pesquisa sete professores de Química do Ensino Médio e dois professores de Físico-Química de dois cursos de licenciatura em Química, além da análise de 8 livros didáticos e 2 programas disciplinares. O percurso metodológico foi dividido em quatro etapas, a saber: (1). Aplicação de questionário para professores do Ensino Médio a fim de levantar o perfil profissional dos sujeitos, a percepção deles a respeito de estudos relacionados com a entropia e, identificar as zonas do perfil conceitual na fala desses profissionais; (2). Análise de livros didáticos do Ensino Médio buscando compreender como o conceito de entropia é abordado, identificando as zonas do perfil conceitual em estudo que prevalecem nos livros; (3). Análise de programas de disciplinas de Físico-química para identificar como o conceito de entropia é abordado no Ensino Superior e como os modos de pensar entropia e espontaneidade estão articulados a diferentes abordagens; (4). aplicação de uma entrevista semiestruturada com dois professores de cursos de licenciatura em Química de duas universidades, para levantar o perfil profissional dos participantes; compreender como o conceito de entropia é abordado e mobilizado no Ensino Superior, mapeando zonas do perfil conceitual de entropia e espontaneidade na fala dos professores entrevistados. As entrevistas foram gravadas em áudio e transcritas para análise. Os resultados apontam que os professores do Ensino Média não abordam o conceito de entropia, compreendem entropia majoritariamente como desordem e que a grande maioria dos livros didáticos não apresenta o conceito de entropia. A partir dos programas disciplinares compreendemos que a abordagem e a mobilização dos diferentes modos de pensar entropia, no Ensino Superior, vai depender do papel mediador do professor, e que os dois professores do curso de licenciatura entrevistados abordam o conceito de entropia de formas deveras distintas. A partir do conjunto de dados, consideramos que houve majoritariamente a aparição da zona empírica, do perfil conceitual de entropia e espontaneidade, nas diversas fontes de dados, exceto nas falas do professor universitário 2, que trazem características marcantes da zona racionalista. Ressaltamos, ainda, que há necessidade de estratégias e métodos que incluam o estudo da entropia nos diferentes níveis de ensino, considerando a importância que esse conceito tem com relação às questões atuais.

Palavras-chave: Perfil conceitual de entropia e espontaneidade, Formação de professores, Abordagem metodológica.

ABSTRACT

The main objective of this dissertation was to analyze how the concept of entropy is addressed in textbooks, disciplinary programs and by chemistry teachers in High School and lecturers in Higher Education, identifying different ways of thinking about this concept from zones of the conceptual profile. For this, we were supported by the Theory of Conceptual Profiles (TCP) to identify different ways of thinking about this concept from an investigation carried out in various sources and contexts in which this concept can be applied, also seeking to discuss the mediating participation of teachers and instructors in the teaching of scientific concepts in chemistry classes in High School and Higher Education. For discussion and data analysis, we considered the conceptual profile of entropy and spontaneity, structured in three zones: perceptive/intuitive, empirical/formalist, and rationalist. The investigation involved seven chemistry teachers in High School and two lecturers of Physical-Chemistry acting in two courses for formation of chemistry teachers, besides the analysis of 8 textbooks and 2 disciplinary programs. The methodological design was organized in four steps: 1. Application of a questionnaire to chemistry teachers in High School, in order to raise their professional profile, the perception about studies on entropy and to identify zones of the entropy conceptual profile emerging in the teachers' answers; 2. Analysis of High School textbooks seeking to understand how the concept of entropy is addressed in these didactical resources, identifying zones of the conceptual profile that prevail in the textbooks; 3. Analysis in programs of the Physical-Chemistry disciplines to identify how the concept of entropy is addressed in Higher Education and how different ways of thinking on entropy and spontaneity are articulated in the distinct approaches; 4. Application of a semi-structured interview with two lecturers who act in courses for formation of chemistry teachers from two universities, to raise their professional profiles; to understand how the concept of entropy is approached and mobilized in Higher Education, mapping zones of the conceptual profile of entropy and spontaneity in the speech of the interviewed lecturers. The interviews were recorded in audio and transcribed for analysis. Results indicate that middle school chemistry teachers do not approach the concept of entropy, they mostly understand entropy only as disorder; most of the analyzed textbooks, in general, do not present the concept of entropy. From the disciplinary programs, we understand that the approach and mobilization of the different ways of thinking entropy, in Higher Education, will depend on the mediator role of the instructor; and the two interviewed teachers approaches the concept of entropy in a very different way. From the data set, we consider that there was mostly the emergence of the empirical zone of the conceptual profile of entropy and spontaneity in the various data sources, except for the statements from the lecturer 2, which bring marked characteristics of the rationalist zone of the conceptual profile. We also emphasize that there is a need for strategies and methods to include the study of entropy at different levels of education, considering the importance of this concept for relevant current issues.

Keywords: conceptual profile of entropy and spontaneity, teacher education, methodological approach.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Trabalhos encontrados a partir da revisão sistemática	49
Figura 2: Programa disciplinar 1	93
Figura 3: Objetivos do programa disciplinar 1	93
Figura 4: Metodologia do programa disciplinar 1	94
Figura 5: Formas de avaliação programa disciplinar 1	94
Figura 6: Conteúdo programática programa disciplinar 1	95
Figura 7: Ementa programa disciplinar 2	95
Figura 8: Conteúdo programa disciplinar 2.....	96

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: O perfil conceitual de entropia e espontaneidade.....	32
Quadro 2: Ficha análise do livro didático.....	57
Quadro 3: Desenho metodológico.....	58
Quadro 4: Perfil profissional dos sujeitos.....	59
Quadro 5: Resposta à questão 1: Você teve contato com estudos sobre o conceito de entropia no Ensino Médio? Se afirmativo, descreva sumariamente sua experiência.....	61
Quadro 6: Respostas à questão 2: Você tem ou teve dificuldade em entender o conceito de Entropia? Justifique.....	62
Quadro 7: Respostas à questão 3: Em poucas palavras, descreva como você compreende o que é Entropia.....	63
Quadro 8: Respostas à questão 4: Na sua opinião, existe relação entre entropia e espontaneidade? Justifique.....	65
Quadro 9: Respostas à questão 5: Você costuma abordar o conteúdo Entropia em aulas de química? () Sim. Como costuma realizar essa abordagem? Você sente dificuldades? Justifique. () Não. Por que não aborda esse conceito nas aulas?.....	66
Quadro 10: Respostas à questão 6: A quais conteúdos químicos, o conceito de Entropia pode ser relacionado?.....	68
Quadro 11: Respostas à questão 7: Você considera Entropia um conteúdo importante a ser trabalhado em aulas de Química? Justifique.....	69
Quadro 12: Respostas à questão 8: Considerando que, em geral, o conteúdo sobre entropia é pouco articulado em aulas de Química, a quais fatores você atribui essa ocorrência?.....	70
Quadro 13: Respostas à questão 9: Ao abordar o conteúdo termodinâmica, quais pontos/conceitos são considerados e explorados durante a sua aula?.....	71
Quadro 14: Respostas à questão 10: Na sua percepção, como os livros didáticos de Química do Ensino Médio abordam ou articulam a Segunda Lei da Termodinâmica? Essa abordagem facilita a compreensão do conceito de entropia?.....	72
Quadro 15: Respostas à questão 11: Você poderia citar um bom texto, livro didático ou paradidático, no qual você leu uma boa abordagem sobre entropia?.....	73
Quadro 16: Respostas a questão 12: É possível perceber a aparição ou articulação dos conceitos de entropia e espontaneidade em eventos ou acontecimentos cotidianos? Dê exemplos.....	74
Quadro 17: Resultados alcançados na primeira etapa-aplicação do questionário.....	76
Quadro 18: LD4 trecho 1.....	82
Quadro 19: LD4 trecho 2.....	83

Quadro 20: LD4 trecho 3.....	84
Quadro 21: LD4 trecho 4.....	84
Quadro 22: LD5 trecho 1.....	85
Quadro 23: LD5 trecho 2.....	85
Quadro 24: LD5 trecho 3.....	85
Quadro 25: LD5 trecho 4.....	86
Quadro 26: LD5 trecho 5.....	86
Quadro 27: Representação discursiva LD4.....	89
Quadro 28: Estratégias discursivas LD5	90
Quadro 29: Resultado da entrevista-PU1	98
Quadro 30: Resultado da entrevista-PU2.....	110
Quadro 31: Síntese dos resultados encontrados nas quatro etapas metodológicas.	124

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	15
CAPÍTULO 1: REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
1.1 A Teoria dos Perfis Conceituais	20
1.2 O perfil conceitual de entropia e espontaneidade.....	25
Quadro 1: O perfil conceitual de entropia e espontaneidade	32
1.3 O conceito de entropia no ensino de Ciências	33
CAPÍTULO 2: DESENHO METODOLÓGICO	46
2.1 Classificação da pesquisa	46
2.2 Revisão sistemática da literatura	48
2.3 Sujeitos e <i>Lócus</i> da pesquisa	51
2.4 Instrumentos de coleta de dados	51
2.4.1 Elaboração e aplicação do questionário.....	53
2.4.2 Seleção do livro didático (LD)	53
2.5 Análise dos dados.....	56
2.5.1 Análise da primeira etapa da pesquisa- questionário.....	57
2.5.2 Análise da segunda etapa- livro didático.....	57
2.5.3 Análise da quarta etapa- programas disciplinares	58
2.5.4 Análise da quinta etapa- entrevista semiestruturada.....	58
CAPÍTULO 3: RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
3.1 Resultados da primeira etapa- questionário	60
3.2 Resultado da Segunda Etapa- Análise dos livros didáticos	78
3.3.4 Análise intertextual e interdiscursiva dos LD.....	88
3.3 Resultado da Terceira Etapa- Programas disciplinares	92
3.3.1 Programa disciplinar 1.....	93
3.3.2 Programa disciplinar 2.....	95

3.4 Resultado da quarta Etapa- Entrevista semiestruturada	97
3.4.1 Análise das respostas do professor PU1 na entrevista.....	98
3.4.2 Análise das respostas do professor PU2 na entrevista.....	110
3.5 Síntese dos resultados encontrados nas quatro etapas metodológicas.....	124
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	126
REFERÊNCIAS	129
APÊNDICE 1	136
APÊNDICE 2	138
ANEXO 1.....	140
ANEXO 2.....	143
ANEXO 3.....	146
ANEXO 2.....	147

INTRODUÇÃO

Este estudo teve como objetivo principal analisar como o conceito de entropia é abordado nos livros didáticos, em programas disciplinares e por professores de Química do Ensino Médio e Ensino Superior, identificando diferentes modos de pensar sobre esse conceito a partir de zonas do perfil conceitual. Para isso, utilizamos a Teoria dos Perfis Conceituais para identificar diferentes modos de pensar sobre esse conceito a partir de uma investigação em várias fontes e em diferentes contextos nos quais o referido conceito circula, buscando discutir ainda a participação mediadora do professor na construção de conceitos científicos em aulas de Química no Ensino Médio e Ensino Superior.

Ao longo dos anos, pesquisas vêm buscando aprimorar o modo de aprender e ensinar, abrindo cada vez mais espaços que discutam acerca das necessárias melhorias no chão da escola e nas aulas de Ciências, principalmente no que concerne ao processo de construção de significados para que, a cada momento ele torne a aprendizagem crítica, reflexiva e contextualizada. Nessa perspectiva, a TPC (Teoria dos Perfis Conceituais) parte do pressuposto de que a sala de aula é um espaço heterogêneo e que a construção de significados se estabelece a partir das interações dos indivíduos no compartilhamento de diferentes formas de falar e modos de pensar sobre distintos conceitos (AMARAL; MORTIMER, 2005).

Essa teoria permite entender a heterogeneidade de pensamento que um indivíduo pode apresentar sobre um conceito, ao mesmo tempo que tem consigo concepções vindas das suas experiências pessoais. A caracterização de um perfil de concepções relativo a um conceito traz uma dimensão ampla dos significados que os alunos podem atribuir a este mesmo conceito, e quando usado em sala de aula, pode contribuir para que o professor tenha mais clareza acerca das dificuldades sentidas pelo aluno. Assim sendo, o perfil conceitual pode se tornar uma ferramenta importante para o desenvolvimento e acompanhamento de estratégias e articulações aplicadas em sala de aula e para o acompanhamento do processo de aprendizagem.

Mortimer e El-Hani (2014) estabelecem que os diferentes modos de pensar são estruturados a partir de zonas que representam diferentes compromissos epistemológicos, ontológicos e axiológicos constituídos ao longo do desenvolvimento histórico e científico da humanidade, neste sentido, apresentam visões e percepções de diferentes indivíduos a respeito de um dado conceito. Cada zona corresponde a diferentes visões de mundo diretamente

relacionada com dessemelhantes modos de pensar e formas de falar um dado conceito (AMARAL; MORTIMER, 2005).

Para Araújo e Mortimer (2014), a partir do uso das zonas no processo de ensino e aprendizagem, a TPC pode contribuir na compreensão da pluralidade dos conceitos nas aulas de Ciências, pela utilização consciente dos diferentes sentidos e significados que os conceitos possuem, buscando promover um ensino de conhecimentos científicos que se articulam com outras formas de conhecimento de forma dialógica.

Com isso, compreende-se que existe uma necessidade de investir na articulação do conhecimento científico para o entendimento da realidade, não excluindo o diálogo com outros conhecimentos e saberes, de forma a significar a visão científica situada entre outras visões. Considerando, assim, que há contextos em que um modo de pensar sobre determinado conceito é usado mais adequadamente do que outros, em que a linguagem cotidiana, produzida de acordo com o senso comum ou por diferentes culturas, é mais apropriada do que a visão científica, ou em situações contrárias, em que seja mais conveniente o uso da linguagem científica para explicar determinados fenômenos. Nesses casos, deve ser explorado o valor pragmático associado ao contexto, contribuindo para a mobilização das diferentes visões expressas em sala de aula, pelo professor e seus aprendizes em situações de discussões e debates, o que permite ao indivíduo um enriquecimento conceitual, além de construir novos significados e adquirir distintas visões de mundo acerca de um mesmo conceito (AMARAL, 2004; SIMÕES NETO, 2016).

Em meio ao discurso da formulação e conceituação, é necessário e relevante se pensar sobre o processo de formação de professores, uma vez que o que é construído em sala de aula, em sua maioria, é mediado pelo docente. Para isso, há necessidade de sempre investigarmos como o professor expressa seus conhecimentos, pois este tem um papel primordial na sala de aula no tocante ao ensino e aprendizagem de conceitos para a compreensão do mundo científico e social. Consideramos que atualmente é possível conferir que estudos sobre o ensino de Ciências procuram discorrer a respeito do papel do professor no processo de construção de significados em sala de aula, investigando sua relação entre o processo de ensino e aprendizagem de conceitos científicos.

Acreditamos que o professor, por meio das interações em sala de aula, deve oferecer condições e ajudar o estudante a compreender e a desenvolver o pensamento científico,

abrangendo conhecimentos prévios e novas percepções. Para isso, é necessário que esses profissionais tenham consciência da diversidade de significados que os conceitos trabalhados em sala de aula exibem, ajudando-os a representar cada significado em seu contexto específico, ressaltando a relevância em trabalhar os múltiplos significados de um dado conceito e sua funcionalidade quando aplicados em contextos específicos (MORTIMER, EL-HANI, SCOTT, 2011; AMARAL, MORTIMER, 2005; DINIZ JÚNIOR, 2016).

O conceito de entropia foi escolhido considerando que quando bem estruturado, pode servir de base para aprendizagem de outros conceitos físico-químicos. Na literatura, é possível encontrar discussões acaloradas acerca desse conceito, e principalmente dos obstáculos enfrentados no seu processo de ensino e aprendizagem, entre os obstáculos enfrentados contam: variadas definições atribuídas a ele, fato que pode ter agravado pelo termo ter sido usado na literatura com várias interpretações em diferentes áreas do conhecimento, cada uma com sua especificidade, dificultando sua conceituação, assim o contexto da sua utilização muitas vezes não possuiu facilidade quanto a sua conexão com percepções e experiências cotidianas por parte dos alunos (LIMA, 2016). Com isso, alguns estudos, dos quais podemos citar o perfil conceitual de entropia e espontaneidade proposto por Amaral (2004) em sua tese doutoral, discutem essas diferentes visões do conceito e defendem que é possível vencer essa dificuldade a partir do conhecimento epistemológico do conceito.

Além disso, o conceito de entropia pode ser considerado um conceito estruturante e central, essa característica, segundo Gagliard (1988), refere-se aqueles que quando construídos pelos estudantes ocasiona uma estruturação do seu sistema conceitual, fato que contribui para a continuidade da aprendizagem. Deste modo, buscamos com essa pesquisa focar nas diferentes concepções de professores em relação ao perfil conceitual em estudo, observando algumas relações com a formação e a epistemologia da prática docente, assim como apontando possibilidades a partir da Teoria dos Perfis Conceituais para a abordagem do conceito de entropia em nível médio e superior.

Assim sendo, este trabalho buscou entender como conceito de entropia é mobilizado por professores de Química e como as ideias relativas a esse conceito são abordadas em livros didáticos e programas de disciplinas. O conceito investigado, presente em diferentes áreas das Ciências, sobretudo na Físico-química e Termodinâmica, é considerado um conceito de difícil compreensão por exigir maior grau da linguagem matemática para a explicação dos fenômenos estudados, ser deveras abstrato e podendo ser visto sob diferentes perspectivas, corroborando,

por exemplo, com possibilidades para aprendizagem de outros conceitos químicos no contexto da sala de aula. Assim sendo, consideramos que estudos sobre entropia podem ajudar a diminuir lacunas criadas entre a relação de ensinar e aprender conceitos físico-químicos, estes, apontados na literatura como os mais difíceis de serem ensinados e aprendidos, por isso, muitas vezes negligenciados no ensino (AMARAL, 2004).

Destarte, acreditamos ser possível orientar o ensino e acompanhar os processos de ensino e de aprendizagem, buscando compreender melhor as diversas visões que eles expressam nas discussões em sala de aula a partir da estruturação teórica e metodológica da Teoria dos Perfis Conceituais (MORTIMER; EL-HANI, 2014). Segundo Ribeiro (2013), essa teoria apresenta:

A possibilidade de utilização da noção de perfil conceitual para o acompanhamento da evolução das ideias que os indivíduos podem ter de um determinado conceito; 2) a íntima relação entre a constituição das diferentes zonas de um perfil conceitual e a influência do contexto; 3) a tomada de consciência da diversidade de significados que um conceito pode admitir e as implicações deles para os processos de ensino e aprendizagem dos conceitos que estão em jogo (RIBEIRO, 2013, p. 59).

Diante do exposto, tivemos como problema de pesquisa: **Como o conceito de entropia é abordado por professores de Química do Ensino Médio e Ensino Superior, em livros didáticos e programas disciplinares?** Essa questão cria para nós uma expectativa de compreender razões pelas quais o conceito de entropia muitas vezes é negligenciado, ou preterido em discussões sobre fenômenos químicos e físicos.

Diante da problemática destacada, tivemos como objetivo geral:

- Analisar como o conceito de entropia é abordado nos livros didáticos, em programas disciplinares e por professores de Química do Ensino Médio e Ensino Superior, identificando diferentes modos de pensar sobre esse conceito a partir de zonas do perfil conceitual.

E objetivos específicos:

- Analisar como o conceito de entropia é abordado em fontes documentais que tratam do ensino de Química, nos níveis médio e superior, identificando diferentes modos de pensar sobre esse conceito a partir de zonas do perfil conceitual;

- Identificar diferentes modos de pensar no relato de professores de Química do Ensino Médio e Superior sobre como abordam ou compreendem o conceito de entropia, em situações de ensino e aprendizagem;
- Analisar os modos de pensar (perceptivo/intuitivo, empírico/formalista ou racionalista) que prevalecem nas abordagens feitas ao conceito de entropia no conjunto de dados, apontando dificuldades e possibilidades para ampliar os estudos sobre esse conceito.

Para alcançar esses objetivos, propomos um desenho metodológico com uso de questionários, por meio do formulário Google, buscando entender como professores do Ensino Médio compreendem o conceito de entropia e o abordam em sala de aula; análise de livros didáticos do nível médio, e de programas de disciplinas do Ensino Superior considerando sua abordagem ao conceito, identificando e mapeando zonas do perfil conceitual de entropia. Análise de entrevista semiestruturada para identificação de abordagens relacionadas à entropia e espontaneidade; assim como para análise dos modos de pensar que se articulam nessas abordagens.

Assim, este estudo foi organizado da seguinte forma: No capítulo 1, estruturamos a fundamentação teórica, discutindo a respeito da Teoria dos Perfis Conceituais proposta por Mortimer (MORTIMER, 1995, MORTIMER; EL-HANI, 2014), em seguida sobre as zonas do perfil conceitual de entropia e espontaneidade (AMARAL, 2004; AMARAL; SCOTT; MORTIMER, 2014), e por fim, algumas considerações acerca da formação de professores, bem como uma discussão a respeito da abordagem da entropia em sala de aula por meio de revisão sistemática da literatura.

No capítulo 2, apresentamos o percurso metodológico traçado para o trabalho. Este capítulo traz como executamos as ações para que os objetivos aqui planejados fossem alcançados. Além disso, é neste capítulo que trazemos os instrumentos de coleta de dados e como esses dados foram analisados.

No capítulo 3, organizamos os resultados alcançados e as discussões sobre cada uma das etapas metodológicas. Ao final, apresentamos as considerações finais mediante o conjunto de dados encontrados ao longo desse estudo, em seguida as referências utilizadas nesse estudo e os apêndices.

CAPÍTULO 1: REFERENCIAL TEÓRICO

Nesse capítulo são apresentadas as bases teóricas que fundamentam esse trabalho: Teoria dos Perfis Conceituais (MORTIMER; EL-HANI, 2014), que vem ampliando seu espaço dentro do ensino de Ciências, oferecendo aos docentes novas facetas para se trabalhar de forma construtiva, o perfil conceitual de entropia e espontaneidade (AMARAL, 2004; AMARAL; MORTIMER; SCOTT, 2014), alguns considerações acerca de abordagens feita a entropia em nível médio e superior.

1.1 A Teoria dos Perfis Conceituais

A Teoria dos Perfis Conceituais foi proposta em meados da década de 1990 por Eduardo Fleury Mortimer como forma de modelar os diferentes modos de pensar dos alunos. O objetivo é gerar nos estudantes uma compreensão acerca dos conceitos científicos trabalhados em sala de aula (MORTIMER; EL-HANI, 2014). Essa teoria, desde a sua formulação, vem ganhando a cada ano mais espaço nas pesquisas de diferentes áreas das Ciências, se solidificando como base teórica que consegue articular e organizar diferentes olhares e questionamentos, pois entende a convivência das concepções alternativas e científicas em um mesmo sujeito sem gerar conflitos ou a exigência de um conhecimento em detrimento do outro. Segundo o perfil conceitual, os sujeitos podem passar a entender que a aprendizagem da Ciência é compreender a linguagem científica junto à percepção de que essa construção acontece quando eles aprendem a promover e a considerar o diálogo entre a linguagem científica escolar com a linguagem cotidiana e social (MORTIMER, 1995; MORTIMER; EL-HANI, 2014).

Nessa direção, baseado na ideia de que as pessoas apresentam diferentes modos de pensar e conceituar o mundo a sua volta e que eles são utilizados para dar significado a suas experiências, o perfil conceitual pode ser visto como um modelo de estruturação da heterogeneidade que possibilita a tomada de consciência a respeito dos múltiplos modos de pensar que se constituem em um perfil e da variedade de contextos aos quais esses modos de pensar podem ser empregados de forma apropriada e condizente a cada um. Diante da abrangência e das possibilidades de aprendizagem e compreensão dos sujeitos com o mundo, essa teoria se ancora como suporte teórico e metodológico de um programa de pesquisa sólido capaz de fomentar e estruturar uma diversidade de estudos dentro das Ciências (MORTIMER,

1995, 1996, 1997; MORTIMER; EL-HANI, 2014; MORTIMER et al., 2014; ARAÚJO; MORTIMER, 2013).

Essa linha de pensamento surge em oposição ao modelo de ensino por mudança conceitual no processo de ensino e aprendizagem, no qual o estudante necessariamente deve abandonar suas concepções prévias adquiridas a partir das suas vivências cotidianas, sociais, histórica e cultural para construir uma nova concepção, isto é, considera que para o desenvolvimento do pensamento científico em sala de aula, o aluno deve abandonar suas concepções prévias em detrimento do novo conhecimento, o científico.

Assim, quando Mortimer (1995) apresenta a noção de perfil, considera que a “evolução conceitual em sala de aula pode ser descrita como uma mudança do perfil conceitual do estudante, cujo o novo perfil inclui também, mas não exclusivamente, as ideias científicas” (p. 42). Destarte, a TPC (Teorias dos Perfis Conceituais), proposta por Mortimer e El-Hani (2014), se constitui como um estudo sobre o ensino e aprendizagem de conceitos científicos, portanto, pode ser compreendida como um modelo de ensino e aprendizagem, no qual diferentes visões sobre o mundo são organizadas.

As contribuições dos autores para o ensino de Ciências por meio dessa teoria, vem como possibilidade de orientar e acompanhar o ensino de Ciências, pois considera que seus conceitos centrais estão dispersos em perfis, essa ideia, permite traçar linhas evolutivas dos conceitos e identificar obstáculos quanto à construção de ideias mais avançadas, isto é, ideias correlatas a visão científica. Além disso, se constitui como instrumento para planejamento e análise do ensino de Ciências (SABINO, 2015), como uma ferramenta capaz de orientar uma ação docente mais consciente (DINIZ JÚNIOR, 2016), além de considerar as concepções prévias dos alunos, identificar diferentes visões de mundo e contribuir para o enriquecimento do vocabulário científico do aluno (BALTIERE, 2021).

Assim sendo, os autores ilustram que essa evolução conceitual exibe diferentes ideias que estão relacionadas desde o senso comum, concepções empíricas até a concepções da Ciência Clássica e Moderna. No trabalho, é destacando que cada conceito tem a possibilidade de apresentar um sentido para cada contexto relacionados em níveis de complexidade, pois a medida que ocorre essa evolução é apresentado pelo conceito maior teor científico, trazendo a necessidade de discussões sob perspectivas mais aprofundadas do que a outra (MORTIMER; EL-HANI, 2014).

Assim, dentro dos pressupostos da TPC conceito é entendido como estruturas mentais internalizadas pelo sujeito, que podem ser anunciados como modelos ou esquemas mentais. Mortimer, Scott e El- Hani (2012) apresentam duas visões sobre como o conceito pode ser compreendido. A primeira visão traz uma perspectiva dominante na qual esses termos podem ser vistos como estruturas mentais que o sujeito possui e que são construídas por ele a partir de uma concepção de que são estruturas consistentes. Na segunda visão os autores apresentam uma diferença entre conceito e conceituação, nela a conceituação envolve um processo dinâmico e individual que ocorre na mente do sujeito e que pode ser alterado de acordo com suas experiências. Para Mortimer e El-Hani (2014), por serem produzidos culturalmente os conceitos não pertencem ao indivíduo, mas estão disponíveis para o uso de todos na forma de instrumentos do pensamento. Esse processo dinâmico é o que Vigotski chama de pensamento conceitual. Segundo os autores, a conceituação deve ocorrer no processo de ensino e aprendizagem, visto que é nesse processo que existe o contato do aluno com esses instrumentos. Quadros e Mortimer (2018, p. 28) consideram que:

Nesse referencial, o processo de ensino-aprendizagem constitui-se por meio das interações que acontecem nos diversos contextos sociais, ou seja, o aprendiz constrói significados por meio das interações entre os sujeitos ali presentes. Os significados, são portanto, construções históricas e sociais e se referem aos conteúdos apropriados pelos sujeitos a partir de suas próprias subjetividades.

Na TPC a aprendizagem é concebida a partir de dois processos compilados: a construção de novos modos de pensar e modos de falar e o diálogo entre as novas e velhas zonas com um forte foco na necessidade de que os alunos se conscientizem da própria diversidade de modos de pensar e da demarcação entre seu valor pragmático em contextos distintos (MORTIMER; SCOTT, 2014).

Compreendemos assim, ser comum em sala de aula os professores observarem que existem uma heterogeneidade nos modos de pensar e falar dos alunos sobre os conceitos estudados, como forma de modelar essa diversidade de pensamentos, na TPC são consideradas as experiências dos estudantes e suas características multiculturais, isto é, as influências vindas de diferentes bases, dentro de determinada cultura (ALMEIDA, 2011a, 2011b; AMARAL, 2004), nela, “os diferentes pontos de vista sobre a realidade são associados a contextos específicos que lhes são apropriados, não se caracterizando uma forma de pensar sobre outra (AMARAL, 2004, p. 13).

Nesse estudo, são considerados pressupostos a partir de uma perspectiva sociocultural e sociointeracionista, na qual a aprendizagem em Ciências é entendida como a aprendizagem da linguagem social da ciência escolar (MORTIMER; SCOTT, 2002). Com isso, outros pressupostos teóricos estão na base dessa teoria, tais como: o construtivismo contextual (COBERN, 1996), o Método Genético (WERTCH, 1993), a ideia de heterogeneidade do pensamento verbal (TULVISTE, 1986), o desenvolvimento para a constituição do Pensamento Conceitual (VIGOSTKI, 1978, 1981, 1987), as perspectivas da linguagem como vivência e a Teoria de Enunciação (BAKHTIN, 1986). Deste modo, é constituído um modelo teórico para análise de modos de pensar, formas de falar e do processo de conceituação em situações de ensino e aprendizagem de Ciências (MORTIMER; EL-HANI, 2014).

É igualmente importante lembrar que, para a organização de um perfil conceitual é imprescindível considerar uma extensa diversidade de significados conferidos a um conceito, a variedade de contextos de produção desses significados, incluindo pelo menos três dos quatro domínios genéticos de Vigotski, o sociocultural, o ontogenético e o microgenético. Segundo o autor, para se conhecer inteiramente a gênese de um determinado conceito é importante o conhecer a partir de diferentes domínios genéticos.

Assim, atrelados à teoria, o domínio sociocultural está relacionado à investigação histórica do desenvolvimento do conceito e como ocorre sua evolução. O domínio ontogenético compreende como o conceito é aprendido e como ele evolui na história do indivíduo. O microgenético analisa os microprocessos que ocorrem em situações específicas, em períodos curtos de tempo, a exemplo, em resposta a entrevistas e questionários (MORTIMER; EL-HANI, 2014).

Ancorada ao pressuposto teórico de que existe uma heterogeneidade de pensamento (TULVISTE, 1986) que deve ser considerada no processo de construção de significados, podemos compreender que ao aprender um significado para um determinado conceito, essa nova concepção passa a conviver com ideias anteriores, admitindo a convivência em um mesmo indivíduo de diferentes formas de pensar um conceito, visões arraigadas desde o senso comum, linguagem escolar, conhecimentos científicos e outros que constituem as zonas de um perfil conceitual (VAIRO; REZENDE FILHO, 2013; MORTIMER; EL-HANI, 2014).

Zonas representam uma visão particular de mundo que podem ser modeladas ou estruturadas de acordo com um contexto específico, cada uma representa um modo particular

de pensar sobre determinado conceito, relacionada a uma forma particular de falar representativos das dimensões ontológicas, epistemológicas, além da axiológicas (DARLI, 2010), acessadas através de diferentes meios mediacionais que ganham sentidos em contextos específicos de aplicação (MORTIMER, 2000). A primeira dimensão está relacionada à natureza dos objetos (o que é o objeto), apontando para categorias ontológicas às quais os conceitos científicos estão associados ao material, eventos e abstrações (Chi, 1992). A epistemológica está relacionada à produção do conhecimento, segundo Rodrigues e Mattos (2007) conexa como conhecemos um objeto, cercado de interpretações diversas dadas a partir de diferentes correntes filosóficas. E a axiológico, incluída posteriormente a partir de Darli (2010) possui relação com os valores e fins atribuídos aos objetos, busca responder o porquê das escolhas e fins são associados a esses objetos (BEZERRA; AMARAL, 2019; SABINO; AMARAL, 2018; ALMEIDA; AMARAL, 2019; DINIZ JÚNIOR; AMARAL, 2019).

Deste modo, essa teoria busca estruturar diferentes modos de ver e representar um dado conceito, associados a contextos distintos e que podem conviver e fazer parte do arcabouço teórico e prático de um indivíduo, representando, assim, um ensino de Ciências no qual os aprendizes não precisam abandonar suas concepções alternativas, isto é, não-científicas ou oriundas do senso comum ao adquirirem novos significados, a exemplo o escolar, mas admite que todas as visões são válidas e possuem valor pragmático associados ao contexto, assim como destacado por Vigotski no que concerne a importância da relação entre os conceitos alternativos e os científicos para a aprendizagem dos sujeitos (GEHLEN; DELIZOICOV, 2020).

A teoria em questão valoriza os diferentes modos de pensar os conceitos, contextos e linguagens científicas a partir da construção de perfis conceituais, inserindo novas possibilidades de desenvolver a educação científica de forma construtiva, não permitindo que uma única forma de pensamento se sobressaia sobre outras (AMARAL; MORTIMER, 2006). Para Araújo (2014, p. 01):

O perfil conceitual é uma noção relacionada ao ensino e à aprendizagem de conceitos científicos e fundamenta-se no princípio de que um conceito pode abranger uma diversidade de significados, os quais podem ser aplicados de acordo com o contexto. Assim sendo, o indivíduo pode desenvolver diferentes modos de ver e conceituar o mundo, a partir da própria experiência.

Outrossim, destacamos a relevância de se compreender a polissemia que um conceito dispõe, pois essa faceta reconhece pontes quanto ao desenvolvimento do processo de ensino e aprendizagem de conceitos científicos, possibilitando uma melhor compreensão evolutiva

desses conceitos (ARAÚJO, 2014). Essas discussões nos ajudam a compreender junto à TPC a relevância de se considerar as ideias prévias do estudante durante o processo de ensino e aprendizagem. Para Gehlen e Delizoicov (2020), são nas concepções prévias que se localizam vivências e representam a realidade a qual os alunos estão inseridos. Apesar do conhecimento prévio, em algumas situações, estar distante do objeto propriamente dito, ou seja, do conhecimento a ser ensinado no ambiente escolar, ele constitui a base do conhecimento e do desenvolvimento da mente do indivíduo, imprescindíveis para ampliação de novas concepções pelos sujeitos.

Desde modo, diversos trabalhos vêm se fundamentando na TPC e explorando suas contribuições para ensino de Ciências, entre eles o perfil conceitual de entropia e espontaneidade proposto por Amaral (2004) e Amaral; Mortimer e Scott (2014), discutido a seguir.

1.2 O perfil conceitual de entropia e espontaneidade

A formulação do conceito de entropia passou por um processo longo e intenso. Para Borges (1999) a sua formulação é considerada umas das grandes realizações da Ciência, com ele foi possível construir o arcabouço teórico da Termodinâmica e dos processos reversíveis e irreversíveis, constituindo-se como ponto central de entendimento para outros processos e conceitos físico-químicos.

Sua constituição ocorreu em período coincidente com a revolução industrial, impulsionado pelo surgimento das máquinas térmicas. O interesse era desenvolver máquinas que transformassem calor em trabalho de modo que fosse possível obter sua maior eficiência, isto é, extrair sua maior potência. Contudo, as máquinas foram pensadas sem levar em consideração os fundamentos teóricos que tratam da conservação de energia ou equivalência entre energia e trabalho, o que resultou na sua baixa produção e a grandes perdas de calor (CUNHA; SANTOS; QUEIROZ, 2013, p. 4). Surge então, a necessidade de repensar as perdas de calor e a eficiência máxima a qual uma máquina térmica pudesse chegar.

Naquela época havia duas teorias conflitantes para explicar a obtenção de trabalho. Uma delas era baseada no princípio de Carnot-Kelvin, que estabelecia que o trabalho produzido dependia da diferença de temperatura entre uma fonte quente e uma fonte fria. Dizia-se que o trabalho dependia da qualidade (o que hoje denominamos propriedade intensiva). A outra visão adotava o princípio de MAYER- JOULE, que estabelecia que o trabalho produzido era proporcional ao calor (o chamado equivalente mecânico do

calor), e, portanto, o trabalho dependia da quantidade (o que hoje denominamos propriedade extensiva) (BORGES, 1999, p. 455).

Diferentes pesquisadores se dedicaram a estudos que contribuíram para o desenvolvimento da Termodinâmica, entre eles Carnot (1897), Thomsom (1977) e Clausius (1867). “Seus estudos voltavam-se para a compreensão da dinâmica do calor, dentro de condições de contornos muito específicas: uma máquina térmica ideal, trabalhando em um ciclo, onde um gás realiza trabalho” (PEREIRA; LAMBACH, 2017, p. 6).

Com o intuito de apresentar um novo modelo de máquina térmica, Carnot formulou também o conceito dos ciclos reversíveis, e com isso determinou o rendimento máximo que uma máquina poderia atingir, demonstrando que uma máquina nunca teria 100% de aproveitamento, ou seja, demonstrou que em sistemas cíclicos uma máquina nunca consegue aproveitar toda energia térmica fornecida a ela em trabalho mecânico.

Com o desenvolvimento da termodinâmica no século XIX, novas interpretações surgiram para explicar a ideia de irreversibilidade nos processos termodinâmicos. Em 1852, Willian Thomso (Lorde Kelvin), utilizou em seus trabalhos uma nova interpretação, afirmando que o trabalho mecânico pode se degradar em calor de forma espontânea, mas nunca ao contrário, estabelecendo a Segunda Lei da Termodinâmica.

A primeira definição para entropia veio com Rudolf Clausius, por volta de 1865, que reuniu em seus estudos as visões de Carnot, Mayer e Joule para a obtenção de trabalho, resultando em um rigoroso tratamento matemático relacionado às ideias sobre a interconversão entre calor e trabalho (AMARAL, 2004), atribuindo à entropia o caráter espontâneo na ocorrência dos processos naturais. Posterior a isso, Ludwig Boltzmann agregou à interpretação de entropia a visão matemática, definindo-a a partir de propriedades microscópicas, associando o conceito de entropia a concepções de desordem, visão expressivamente difundida atualmente. Diferentes interpretações científicas foram conferidas à entropia, apontada como uma das dificuldades para a compreensão do conceito, evidenciando a necessidade de ferramentas que compreendam e estructure essas diferentes visões para melhor compreensão do conceito.

Assim sendo, este conceito apesar de ser empregado em outras áreas, está intrinsecamente relacionada a áreas da Física e da Química, ambas vistas como disciplinas de difícil compreensão por muitos estudantes, os conceitos intrincados a elas são apontados pelos professores como os mais difíceis de serem entendidos. Essas dificuldades são percebidas com

destaque no conceito de entropia, conceito fundamental associado à Segunda Lei da Termodinâmica, e de relevância na compreensão dos processos físicos e químicos e de importância para a aprendizagem de outros conceitos químicos. Essas dificuldades estão associadas ao alcance de abstração exibido por este conceito, sua aproximação atrelada à física e a linguagem matemática exigida na promulgação de fatos.

Ao pensar entropia em termos de um perfil conceitual, Amaral (2004) reflete os muitos questionamentos oriundos da observação de processos físico-químicos, ou seja, buscou-se a partir desse perfil efetivar um aprofundamento do conhecimento em relação a esses processos, empregando as diferentes visões do conceito de entropia dentro das reflexões do processo de ensino e aprendizagem, pois apesar de sua complexidade, este conceito está presente em diferentes conteúdos do ensino, tais como: Termodinâmica, grandezas físicas, pressão, equilíbrio químico, processos reversíveis e irreversíveis, propriedades dos gases, máquinas térmicas etc, admitindo assim, a relevância da difusão desse conceito no ensino e para a compreensão da Segunda Lei da Termodinâmica aplicados as transformações físico-químicas.

Desde modo, para a construção de um perfil conceitual, precisam ser estabelecidas zonas distribuídas segundo uma ordem genética que representarão o caráter plural de um tema específico a ser perfilado. Assim, quatro zonas foram propostas para esse perfil a partir de três compreensões (Perceptiva/intuitiva, empírica e teórica), sendo que cada compreensão possui pelos menos uma zona do perfil de entropia e espontaneidade. Destarte, as quatro zonas que compõe esse perfil são: perceptiva/intuitiva (compreensão perceptiva/intuitiva), zona empírica (compreensão empírica), zona formalista (compreensão teórica), zona racionalista (compreensão teórica). Assim sendo, Amaral (2004, p. 107) destaca que “as zonas do perfil conceitual estão vinculadas de forma mais restrita aos conceitos de entropia e espontaneidade, implicados na segunda lei da termodinâmica aplicada as transformações químicas”. Para a autora, esses conceitos fornecem subsídios para a compreensão das transformações físico-químicas quando se trata da Segunda Lei da Termodinâmica.

Amaral (2004) explica que para constituição desse perfil conceitual, inicialmente foi considerado somente a ideia de espontaneidade, assim, as primeiras zonas, as zonas não científicas, possuem ligação com as primeiras concepções sobre a transformação da matéria e as zonas cujas concepções estão mais ligadas à Ciência apontaram na direção do conceito de entropia, fato balizador do perfil conceitual para entropia e espontaneidade, visto que os

conceitos em estudo demonstraram interligação de modo que juntos compõem um mesmo perfil conceitual, levando como foco as condições em que uma reação química pode ou não ocorrer.

No perfil conceitual proposto, esses dois conceitos se complementam porque a compreensão sobre a espontaneidade dos processos físico-químicos encontra seu termo de racionalização no conceito de entropia, e este, surgido nas esferas do formalismo matemático, tem na ideia de espontaneidade a sua concretização (AMARAL, 2004, p. 108).

Deste modo, a opção por trazer o conceito de espontaneidade para essa abordagem conceitual está ancorada na experiência cotidiana, visto que não é um termo comumente utilizado em livros didáticos de Físico-química e de Química, mas que usam o termo “espontâneo” (aspas da autora) para caracterizar as condições as quais determinados processos ocorrem, assim, a espontaneidade como conceito pode funcionar como um elo entre as concepções que alunos têm sobre algumas transformações físico-químicas a conceitos mais formalizados de entropia e energia, isto é, conceitos que contribuam para uma abordagem mais ligada a concepções científicas, visto que o processo de escolarização dos conhecimentos científicos inclui mais que uma transposição de conceitos criados no contexto de produção da ciência para o contexto escolar. A produção do conhecimento escolar deve considerar não apenas as características do conceito a ser ensinado, desde o ponto de vista científico, mas também as mediações necessárias que ajudam a transformar esse conceito como significado para o aluno (AMARAL; MORTIMER, 2004).

Assim, quatro zonas foram propostas para o perfil conceitual de entropia e espontaneidade. Nas zonas, as ideias estão implicadas na representação e conhecimento relativos a questões sobre os aspectos energéticos e condições nas quais transformações físico-químicas ocorrem, buscando explorar a compreensão das razões pelas quais elas acontecem.

A zona perceptiva/intuitiva compreende as ideias intuitivas e subjetivas sobre espontaneidade que emergem quando os sujeitos estão diante dos fenômenos, são adquiridas a partir de contatos prévios e percepções primárias, sem que seja feita uma análise cuidadosa ou sistemática das informações. Essas ideias caracterizam intuições resultantes de ideias pré-estabelecidas a partir de série de contextos, tais como o cultural, o meio social e histórico e muitas vezes não estão desligadas a contextos científicos, pois não consideram as condições em que os processos ocorrem. Nessa zona, estão compreendidas também ideias subjetivas elaboradas a partir de experiências empíricas de um fenômeno em particular, a exemplo, a concepção de que o gelo converte-se espontaneamente em água à temperatura ambiente como

curso natural, sem problematizar com as grandezas físico-químicas que condicionam sua ocorrência, tal como a temperatura, compreensões que podem ser comum dentro e fora do contexto social da escola, visto que “na sala de aula, os alunos apresentam, com relativa frequência, ideias que se referem a contextos não necessariamente científicos e que podem ser motivados pelo sujeito nos processos sociais de construção do conhecimento científico” (AMARAL, 2004, p. 110). Quanto ao nível de compreensão ao qual esta zona está relacionada, a autora acrescenta estar caracterizado pela participação do sujeito na constituição de noções concernentes com a percepção imediata da realidade, isto é, ligadas à curiosidade, aparências e admiração, que não correspondem à sistematização das ideias científicas. Para a caracterização do nível perceptivo/intuitivo foram considerados perspectivas do realismo ingênuo de Bachelard (AMARAL, 2004).

A zona empírica, como o próprio nome indica, está ligada à ideias da condução experimental dos fenômenos físico-químicos, isto é, compreendendo as condições imprescindíveis para que estes processos ocorram de forma espontânea, levando em consideração os diferentes fatores necessários para a consolidação das reações químicas (AMARAL, 2004). De maneira geral, Amaral (2004) explica que “o nível empírico de compreensão foi relacionado com as experiências vivenciadas pelos alunos, em uma perspectiva investigativa a partir da qual ele busca a compreensão dos fenômenos” (p. 125). Nesse nível de compreensão, a espontaneidade empregada à ocorrência dos fenômenos não é uma prioridade de um sistema, mas a sua dimensão empírica está relacionada à observação de processos, que podem ser avaliados quanto a sua espontaneidade a partir da entropia. Nesse modo de pensar, a ideia de desordem pode ser considerada como uma abordagem grosseira para o conceito de entropia, pois traz compreensões características a nível atômico-molecular associada ao nível macroscópico.

Assim sendo, entende-se que nesse nível de compreensão, o aluno começa a usar estruturas explicativas relacionadas à Ciência para a interpretação dos fenômenos, contudo essas estruturas funcionam como uma convenção que ajuda a decidir sobre a espontaneidade de processos físico-químicos. Deste modo, a observação empírica leva em conta as condições necessárias para que os processos espontâneos ocorram, tal como temperatura e pressão. Dependendo do contexto pedagógico, essas ideias podem ser discutidas em uma perspectiva cotidiana ou em uma dimensão teórica, dependendo do aspecto pode favorecer concepções intuitivas ou científicas (AMARAL; MORTIMER; SCOTT, 2014).

Na compreensão teórica foram organizadas as zonas formalista e racionalista, estando caracterizadas a partir do racionalismo aplicado de Bachelard e resguardando ideias científicas mais complexas desde o nível macroscópico até o microscópico. Nela é considerado o processo de racionalização da entropia, que se inicia na compreensão empírica. Esse nível de compreensão faz uso de construtos teóricos, formais ou conceituais para discutir a espontaneidade de processos. “O que distingue esse nível teórico do nível empírico de compreensão é que o esforço de interpretação e análise é feito a partir de construtos teóricos, como o formalismo matemático ou as relações conceituais, e não de prioridades empíricas associadas aos fenômenos” (AMARAL, 2004, p. 134).

A zona formalista corresponde ao uso das formulações matemáticas para a análise dos processos que se preocupam em atender à aplicações e análise de processos químicos, cujo o intuito é formalizar e quantificar os fatores determinantes dentro dos sistemas físico-químicos. Nessa visão, é possível perceber que as ideias estão articuladas a expressão de energia livre, uma compreensão mais complexa relacionada à entropia, entalpia e temperatura, mas sem a precisão de uma compreensão clara sobre o que essa energia representa (AMARAL, 2004).

Zona racionalista: Está ligada a aplicações matemáticas e nas ideias sobre a espontaneidade dos processos que levam em consideração a distribuição de energia a nível molecular e atômico, satisfazendo as características do conceito de entropia quando relacionado ao fator de desordem de um sistema associado à discussão teórica acerca da entropia e energia livre, pois apesar da forte presença do formalismo matemático, é possível compreender e perceber que há uma racionalidade das ideias e “quando há uma compreensão da entropia dentro de uma noção mais complexa expressa pela energia livre” (AMARAL, 2004). Podemos afirmar que esta zona apresenta ideias condizentes com o contexto científico e ser uma visão mais difícil de ser observada, visto que que é necessário maior maturidade no processo de conceituação para desenvolver esse modo de pensar.

Em trabalho *a posteriori*, Amaral, Mortimer e Scott (2014) apresentam três zonas para o perfil conceitual de entropia e espontaneidade, a saber: Zona perceptiva/intuitiva que corresponde à espontaneidade na ocorrência de fenômenos. Zona empírica (empírico-formalista), uma vez que o formalismo foi caracterizado em uma dimensão empírica do conhecimento pelo sujeito), que considera as circunstâncias de ocorrência dos processos químicos e zona racionalista, que está ligada à distribuição de energia em nível atômico-molecular. Neste trabalho, para análise dos dados, consideraremos o trabalho de Amaral,

Mortimer e Scott (2014), que trata das três visões acerca da entropia e espontaneidade, perceptiva/intuitiva, empírica (empírico-formalista) e racionalista.

A representação para três zonas desse perfil conceitual foi alcançada a partir de uma releitura dos dados históricos e epistemológicos que sustentam um perfil conceitual já proposto, ação comum dentro da teoria. Segundo Amaral, Mortimer e Scott (2014) a ação de adequar zonas de um determinado perfil não está ligado a uma regra específica, mas, quando existe a proposição de um perfil e em situações de aplicação do estudo é possível perceber que os contextos e dados usados apresentam outros elementos que podem de alguma forma ampliar as discussões sobre aquele perfil, seja expandindo suas bases ou modificando zonas com o objetivo de tornar o trabalho mais representativo quanto a heterogeneidade de ideias dos diferentes modos de pensar que de alguma forma ainda não estavam sendo contemplados no estudo *a priori*, assim, a releitura pode ocorrer a partir de respaldos em estudos de bases históricas e epistemológicas que evidencie possibilidades de ampliações para os estudos já propostos. Entre casos de perfis que passaram por modificações, podemos citar o perfil conceitual de Calor (ARAÚJO, 2014), de Substância (SILVA, 2013; SABINO; AMARAL, 2018) e de Entropia e Espontaneidade (AMARAL; MORTIMER; SCOTT, 2014).

Desde modo, no caso específico do perfil conceitual de entropia e espontaneidade as novas discussões evidenciaram que o formalismo matemático do ponto de visto epistemológico não se sustentava enquanto uma zona, refletiu-se assim, que não era possível conhecer ou pensar uma determinada ideia somente a partir do formalismo como uma ideia independente (AMARAL; MORTIMER; SCOTT, 2014). Para o novo estudo houve uma modificação em duas zonas já propostas de modo que fossem mais representativas quanto a ideias identificadas em sala de aula, a zona formalista passou a integrar a zona empírica.

Nessa adequação, segundo Amaral, Mortimer e Scott (2014), a zona perceptiva/intuitiva permanece ligada a ideias que envolvem percepções, sensações e/ou intuições imediatas que orientam os indivíduos na construção de suas noções de acordo com as contexto histórico em que vivem e interagem com seus pares. As ideias e percepções presentes nessa zona surgem da experiência empírica e da interpretação pessoal sobre a ocorrência de um fenômeno, sem lidar diretamente com a entropia, mas sobre fenômenos que ocorrem naturalmente sem interferências externas.

As concepções empíricas organizadas em zonas estão relacionadas à visão empírica de dados de instrumentos técnicos, na qual é considerada também a referência a eventos observáveis atribuídos a ideia de desordem (por exemplo, um prato quando é quebrado). Na mesma direção, é considerado também como objeto de uma abordagem empírica o uso de convenções relacionadas com as variações de entropia e energia livre quando os processos são estudados. Isso ocorre pela aplicação de algoritmos e fórmulas matemáticas na análise de processos físicos e químicos sem um entendimento completo das relações conceituais envolvidas nele. Em comum, os alunos usam a expressão de entropia ou a equação da energia livre um conceito mais complexo que relaciona entropia, entalpia e temperatura, mas de forma quase geral, eles não entendem claramente o que essas expressões representam. A ocorrência espontânea de um processo é indicada por um valor que simula um aumento na entropia do universo e/ou uma diminuição da energia livre de um sistema. Em termos de uma expressão matemática, isso é representado por $\Delta S_{\text{universo}} > 0$ (mudança na entropia do universo é maior do que zero) e $\Delta G < 0$ (a variação da energia livre é menor que zero). O uso do formalismo matemático sem a compreensão completa sobre teorias implicadas distingue a zona empírica da próxima, a zona racionalista (AMARAL; MORTIMER; SCOTT, 2014).

A zona racionalista resguarda ideias relativas à entropia e espontaneidade que se baseiam na distribuição de energia em um nível atômico-molecular. Para Amaral; Mortimer e Scott (2014), nesta zona estão ideias que representam uma compreensão mais profunda dos dois conceitos, pois há uma abordagem a entropia e a espontaneidade em relação aos modelos microscópicos de distribuição de energia de moléculas. Desta forma, nesta zona, o conceito de entropia é entendido como parte de uma noção mais complexa relacionada à energia livre. Sendo assim, a zona cuja compreensão condiz com a visão científica dos conceitos, representando um nível desejado de compreensão a ser alcançado pelos alunos no processo de ensinar e aprender. Com isso, se destaca a ação do professor que tem papel de liderança e mediador na construção de significados em sala de aula (DINIZ JÚNIOR, 2016; DINIZ, JÚNIOR, SILVA, AMARAL, 2015).

No Quadro 1, apresentamos uma prevê descrição sobre as três zonas propostas por Amaral, Mortimer e Scott (2014) para o perfil conceitual de entropia e espontaneidade.

Quadro 1: O perfil conceitual de entropia e espontaneidade

Zona	Descrição
------	-----------

Perceptiva/intuitiva	Representa ideias que envolvem percepções, sensações e/ou intuições imediatas que orientam os indivíduos na construção de suas noções de acordo com as contexto histórico em que vivem e interagem com seus pares.
Empírica	Está relacionada a dados de instrumentos técnicos, na qual é considerada também a referência a eventos observáveis atribuídos a ideia de desordem.
Racionalista	Resguarda ideias relativas à entropia e espontaneidade que se baseiam na distribuição de energia em um nível atômico-molecular.

Fonte: Adaptado de Amaral; Mortimer; Scott (2014)

A partir do exposto, na próxima seção, apresentamos algumas considerações acerca da importância do papel do professor, considerando que sua ação se constitui como ferramenta que beneficia a aprendizagem de conhecimentos e conceitos em sala de aula. Outrossim, discutiremos como vêm se desdobrando as possibilidades pedagógicas relacionadas ao processo de ensino e aprendizagem do conceito de entropia em salas de aulas de Ciências a partir de trabalhos publicados na literatura entre o período de 2012 a 2021.

1.3 O conceito de entropia no ensino de Ciências

Ensinar Ciências implica em introduzir os estudantes numa cultura que, inicialmente, não lhes pertence, e dar condições para que eles se apropriem dela e a relacionem com outras dimensões de sua cultura e com a realidade concreta da vida, em suas múltiplas extensões. O entendimento da complexidade envolvendo o processo de conceituação em sala de aula exige dos professores, paciência, compromisso e atento acompanhamento, perspectivas que dissolve o entendimento de aprendizagem de conceitos fácil e imediata (LIMA; AGUIAR JÚNIOR; CARO, 2011). É nesse sentido, que os autores defendem a ideia de que a formação de conceitos é, essencialmente, dialógica e depende diretamente das estratégias de mediação adotadas, sejam elas, pelo professor, os livros didáticos, autores e/ou outros interlocutores.

Nessa perspectiva, aprender conceitos é um processo lento, complexo e sempre inacabado, visto que os conceitos ao longo do desenvolvimento histórico do pensamento científico, vão sendo revistos e ampliados. A partir destas considerações, buscamos discutir também aspectos relacionados ao papel mediador do professor no processo de formação de conceitos científicos, com especial destaque ao conceito de entropia, pois acreditamos assim como cita Lima, Aguiar Júnior e Caro (2011), “sendo conceitos complexos, é mais uma razão

para que sejam apresentados recursivamente nos vários níveis de ensino, em diferentes contextos e níveis de complexidade (p. 869) e, tal fato está relacionado a tomada de consciência do professor sobre os sentidos e significados aos quais os conceitos estão sujeitos.

Diante disso, Mortimer (2001) e Diniz Júnior (2014) consideram que a ação mediadora do professor pode desenvolver diferentes formas e possibilidades de aprendizagem, projetando e organizando olhares para o conhecimento da Ciência, bem como a capacidade de acompanhar de maneira legitimadora a evolução conceitual no contexto da sala de aula.

Com base nos estudos de Bachelard, Maldaner (2000) destaca ser comum a ação mediadora do professor apresentar ideias de bases racionalistas e empirista, a primeira desenvolvida durante sua formação, e a segunda oriunda do senso comum, justificando a necessidade de investigações e necessárias reflexões nesse espaço de construção do conhecimento. Nesse sentido, Lôbo e Moradillo (2003) destacam que essa racionalidade técnica tem se mostrado ineficaz diante dos problemas complexos inerentes a sala de aula, visto que separa as bases teóricas da formação da prática, que acaba sendo visto como um campo a parte. Ainda segundo os autores, e Gauche et al., (2007), existem indícios dessa desarmonia encontrados nos currículos das licenciaturas em Química, quando há separação entre as disciplinas ditas de conteúdo específico e as disciplinas pedagógicas. Segundos os autores Lôbo e Moradillo (2003), há consenso entre pesquisadores da área de que as concepções dos professores de Ciências, suas crenças e epistemologias, influenciam sua prática pedagógica e em consequência as concepções dos alunos.

Compreendemos assim, ser preciso pensar a formação docente (inicial e continuada) como momentos de um processo contínuo de construção de prática docente qualificada e de afirmação da identidade, da profissionalidade e profissionalização do professor (BRASIL, 2006). Para Maldaner (2010) existe uma clara necessidade em criar oportunidades de aperfeiçoamento para os professores, pois além das demandas já citadas, nos últimos anos houve também uma expansão no número de alunos das escolas sem a necessária formação para os professores, provocando uma série de improvisações resultando, muitas vezes, num ensino de baixa qualidade (FERNANDEZ, 2018).

No que concerne ao contexto da sala, um dos grandes desafios dos professores para o Ensino de Química está em despertar nos alunos o interesse pelo aprendizado de conceitos fundamentais dessa Ciência. Por vezes, se torna igualmente difícil contextualizar o ensino desses conceitos com a realidade e vivências dos alunos. Segundo Silva; Souza; Silva e Simões

Neto (2019), mesmo diante dos cuidados com o processo de transposição didática em sala de aula, os alunos do Ensino Médio ainda sentem dificuldades na aprendizagem de conteúdos químicos.

Entre esses conceitos, destaca-se o de entropia, cuja abordagem é pouca explorada no ensino, assim como estudos dedicados a esse tema em sala de aula. Esse conceito é apontado na literatura como um dos mais difíceis de serem compreendidos nos campos da Física e da Química, apontado como impopular entre estudantes e professores. As discussões em torno do ensino de entropia, conceito que representa a formalização da espontaneidade, refletem um espaço ainda pouco explorado (AMARAL; MORTIMER; SCOTT, 2014).

Assim sendo, quando se tece um panorama sobre a mobilização e compreensão do conceito de entropia em diferentes níveis de ensino por meio de dados de pesquisas disponíveis na literatura, verificamos um cenário geral permeado de impasses quanto o ensino desse conceito. Há um discurso majoritário referente a complexidade do conceito e sua ausência ou pouca articulação no ensino. Estudos em Educação em Ciências nos últimos anos (AMARAL, 2004; CUNHA; SANTOS, 2013; ALMEIDA, 2015; CAVALCANTE *et al.*, 2018; LIMA, 2016; FONTANA; SANTOS, 2016; SANTOS, 2018; CUNHA; GENOVESE; QUEIROS, 2018; GUIMARÃES, 2019; SANTOS; COSTA; SILVA, 2019; GUIMARÃES; SILVA; SIMÕES NETO, 2019; NOGUEIRA, 2021) documentam essa constatação, atribuindo com principal causa, sua difícil compreensão. Nas palavras do matemático e físico J. Von Neumann “... ninguém sabe o que é entropia...” (STYER, 2000).

Covalin e Silva (2005, p. 98) ressaltam, ao falar de entropia, que o “conceito de entropia foi escolhido em face de uma carência de pesquisas, por nós observadas, referentes ao tema e também por acreditarmos na dificuldade que o educador encontra no ensino deste construto, o que se evidencia em relação a outros conceitos dentro da Física Térmica”.

Em estreita relação com a Física e a Química, o conceito de entropia está presente no Ensino Médio e Superior, modalidades que comumente estudam essas ciências. Na última, as dificuldades resultam em propostas alternativas, baseadas no enfoque microscópico, enquanto a primeira, preza por uma abordagem tradicional com enfoque essencialmente macroscópico (AGUIAR, 2016), e muitas vezes acaba não sendo ao menos considerado.

No ensino médio as dificuldades com a segunda lei são ainda maiores que no ensino superior. A abordagem dominante, pelo menos no Brasil, segue o ponto

de vista macroscópico e é centrada na análise de máquinas térmicas. Não há, até onde sabemos, iniciativas abrangentes de se apresentar a segunda lei no ensino médio a partir do ponto de vista microscópico (AGUIAR, 2016, p. 2).

Em alguns livros, a abordagem de entropia é expressivamente feita considerando os enunciados de Clausius, Kelvin e o ciclo de Carnot, que trazem ideias ligadas a reversibilidade e irreversibilidade. No Ensino Médio, a grande maioria das abordagens didáticas se limita ao estudo das máquinas térmicas, não mencionado a entropia. “Uma das maneiras de enunciar a 2ª lei da termodinâmica reflete exatamente uma característica das máquinas térmicas” (CAVALCANTE et al., 2018, p. 169), nesse âmbito, a tendência desordem ainda é a atribuição mais conhecida. As dificuldades reconhecidas pelo professor e sentidas pelo aluno entorno desse ensino, o trás para esfera de pouca exploração, e na educação básica, na quase totalidade dos casos, retirada do currículo (AGUIAR, 2016). Segundo Amaral (2004, p. 62):

Apesar de ser solidamente ancorado na experiência cotidiana, com processos físicos, químicos ou biológicos, este não é um conceito explicitamente abordado nos capítulos sobre termoquímica em livros didáticos de Físico-Química para o ensino superior.

Cavalcante e colaboradores (2018) discutem os caminhos que levam a difusão majoritária de desordem para entropia, nessa concepção compreende-se que entropia seria a passagem de uma ordem para uma situação desordenada, quanto maior a desordem maior a entropia. Essa visão, segundo os autores, se dá por compreender que entropia é maior em substâncias em estado gasoso que em estado líquido, visto que a maior possibilidade das partículas acaba sendo um critério para a compreensão de que a entropia dos sólidos é menor do que as dos líquidos, que é menor que a dos gases (AMARAL, 2004). Mortimer e Machado (2016) explicam, a partir do exemplo do gás do botijão ao vaziar, o comportamento da entropia em estado gasoso. Esse gás se espalha por toda a cozinha, visto que esse estado se concretiza ao maior número possível de distribuições termodinâmicas, se pode considerar que a expansão faz com que os níveis de energia translacional permitam que o armazenamento de energia se apresentem em um maior número de formas, resultando no aumento da entropia devido à expansão e distanciamento das moléculas (LOWE, 1987, *apud* AMARAL, 2004), a entropia S , cresce quando uma substância passa do estado sólido para o líquido $S_{\text{sólido}} < S_{\text{líquido}} < S_{\text{gasoso}}$ (MORTIMER; MACHADO, 2016).

Essa é a forma mais precisa de enunciar o conceito de entropia ou o seu aumento, e esse aumento nada mais é do que a passagem para um estado com um maior número de configurações equivalentes entre as moléculas. Essa forma de pensar entropia podem estar

relacionadas a zona racionalista, quando se preocupa com a direção natural da distribuição de energia, isto é, com a probabilidade de existir espontaneamente. Não havendo essa consideração da interpretação probabilística, considera-se um modo de pensar mais intuitivo do processo (zona intuitiva/perceptiva).

As dificuldades de compreensão atrelada à entropia, são percebidas desde a sua formulação por Rudolf Clausius. Durante esse período, Willian Thomson questionava Clausius a acerca da relação exercida entre calor e o trabalho do ciclo de Carnot, contribuindo para que sua interpretação pairasse em diferentes controvérsias (CUNHA; GENOVESE; QUEIROS, 2018). Os autores apontam, ainda fatores presentes no ensino que corroboram com essa difícil apreensão pelos estudantes, entre eles, dificuldades de uma definição precisa do conceito, a analogia entre entropia e desordem, ausência de estratégia didáticas e de contextualização, a última evidenciada especialmente no Ensino Médio. “Diante deste cenário a compreensão e o ensino de entropia nas aulas de Química e Física ficam mais e mais complicados para os estudantes” (CUNHA; GENOVESE; QUEIROS, 2018, p. 119). Essa problemática acerca da compreensão do conceito de entropia e espontaneidade é acordada de forma enfática na literatura em Ensino de Ciências, provocando uma exclusão desse conceito em nível médio, e uma visão resumida e divergente no nível superior, justificando a necessidade de buscas e usos de ferramentas didáticas que dinamizem esse ensino.

Outrossim, Aurani (2018), ao realizar um estudo histórico acerca desenvolvimento das duas leis da termodinâmica e formulação do conceito de entropia e sua relevância para o Ensino de Ciências, destaca que uma grande dificuldade para aprendizagem do conceito está nas restrições do livro didático e nas formulações matemáticas abordadas por ele. A revisão em questão versa pelo estudo de textos originais como possibilidade de auxiliar professores de Física no processo de ensino e aprendizagem, evidenciando que a dificuldade de apreensão do conceito não está centrada no aluno, mas também no professor.

Freitas (2013), através de estudo bibliográfico integra a teoria da Aprendizagem Significativa e o recurso de *softwares* de Modelagem Computacional no ensino e aprendizagem de entropia e baseado na sua experiência em sala de aula do Ensino Médio, justifica a necessidade de investigação e articulação do ensino de entropia por ser destacado, tanto na forma de aprender como de ensinar, difícil. O autor destaca ainda que, nesse nível de ensino, os alunos apresentam muitas dificuldades no entendimento de muitos conceitos termodinâmicos, com acentuado destaque em entropia. Além disso, o autor considera que os

livros didáticos, apesar de trazer o conceito em tela se apresenta com uma abordagem teórico reduzida com relação a outros conceitos (energia e força, por exemplo) e fora da realidade do aluno. Segundo o autor, o tópico referente ao estudo é acompanhado de constante preocupação pelos professores. Através desse estudo, o autor aborda uma proposta de ensino e aprendizagem para o ensino de entropia a ser aplicado em aulas de Física do Ensino Médio. Além da dificuldade percebida em sala de aula e prática docente, o autor ressalta “percebi que os livros didáticos usados pelos estudantes costumam trazer assuntos sobre entropia, mas nunca com ênfase e uma necessidade teórica aceitável, ao contrário de outros conceitos físicos que são abordados em tais livros como força e energia, por exemplo” (p. 9).

Oliveira Júnior et al. (2021), por meio de revisão sistemática da literatura, afirmam que o ensino da Termodinâmica tem um nível acentuado de dificuldade quanto a sua compreensão, especialmente quando se fala da segunda da Lei, diferente da primeira, na qual se entende ser mais facilmente compreendida. Desde a primeira formulação, ainda no século XIX sempre houve uma discussão acalorada entre cientistas de diferentes origens a respeito de seu entendimento. O uso dos diagramas de Carnot foram apontados como possibilidades acessíveis para o ensino de entropia.

Para Melo (2014) a entropia desde sua constituição foi ganhando força em outras áreas também, importante para o melhoramento dos meios de comunicação, nos estudos de fenômenos financeiros, econômicos e sociais. Apesar do uso, a grandeza é mal compreendida e pouco explorada. Tanto os livros didáticos de Física do Ensino Médio como do ensino superior trazem uma abordagem tímida e pouca articulada do conceito. A ideia do estudo é apresentar um aporte teórico capaz de anunciar um entendimento para entropia como uma grandeza que mede irreversibilidade, desordem e incerteza por meio de detalhamento de fórmulas. Apesar disso, não há uma proposta pedagógica. Funciona como um manual para o entendimento da entropia para medir irreversibilidade, desordem e incerteza. O autor afirma que até mesmo os livros de Física Básica do Ensino Superior tratam o conceito de forma superficial, não atentando para seus diversos significados.

Cortela e Sanson (2019), por meio de relato de experiência realizado do estágio supervisionado, expressam as dificuldades observadas em aulas de Física sobre Termodinâmica, especialmente quando se trata do conceito de entropia em aulas no Ensino Médio. Com isso, buscou-se o uso de experimentos e projeção de vídeos que mostraram situações nas quais foi possível observar fenômenos reversíveis e irreversíveis comuns a

cotidiano dos alunos, tal como: o derretimento do gelo, ovo sendo frito, café se dissolvendo em água, etc. O intuito foi explicar que a entropia é uma grandeza física que está intimamente ligada à irreversibilidade do sistema e que as moléculas tendiam sempre a um estado mais “desorganizado”, ou seja, mais dispersas umas das outras. Feito isto, se explicou que a entropia indicava o grau de irreversibilidade de um processo e, conseqüentemente, quanto de energia não poderia ser convertida em trabalho devido essa irreversibilidade, o que poderia ser chamado de degradação da energia.

Para Lima (2016), grande parte dos problemas de aprendizado de físico-química, de um modo geral, pode se relacionar com o conceito de entropia, tal como o entendimento da espontaneidade de certos processos. Sua análise foi realizada com discentes, professores e livros didáticos de Química do curso de licenciatura em Química de uma universidade pública federal. Assim, o autor propõe um o estudo de uma abordagem para o conceito de entropia a partir do ponto de vista da Termodinâmica estatística e Termodinâmica clássica e uma abordagem histórica de sua proposição.

Souza, Dias e Santos (2013) apontam que a segunda lei da termodinâmica é, em geral, tratada superficialmente nos textos de Ensino Médio. Frequentemente, a lei é apresentada como uma fórmula, que fornece o rendimento de máquinas térmicas. Em particular, o aspecto microscópico da lei é ignorado. O estudo foi realizado em aulas de Física do Ensino Médio. Os autores propõem, então, uma abordagem para a segunda lei da termodinâmica que introduz seus aspectos estatísticos e que é acessível ao aluno do Ensino Médio, utilizando-se de experimento de baixo custo para demonstração dos aspectos estatísticos, contando os estados (possibilidades de dispersão) para construção dos conceitos de macroestado e microestado.

O trabalho de Almeida (2015) tem como ponto central desvincular o conceito de entropia do termo “desordem”. Além disso, o autor justifica a escolha do tema pela dificuldade de se trabalhar conceitos termodinâmicos no Ensino Médio, especialmente o de entropia, além das atividades e abordagens ausentes desse conceito nos livros didáticos.

Em seu estudo sobre entropia, Lowe (1988, *apud* AMARAL, 2004) considera que a abordagem a partir de uma concepção de aleatoriedade ou desordem de um sistema para entropia não é suficiente para explicar a ocorrência de determinados fenômenos, o que pode causar confusão no aluno. O autor acrescenta que o professor, ao explicar que normalmente nos processos que levam a um maior número de formas de armazenar energia, existe também uma

maior entropia e maior aleatoriedade de posição. Essa definição acaba sendo mais fácil de ser visualizada e por isso, mais utilizada.

Fontana e Santos (2016), por meio de revisão em livros didáticos de Física, consideram que os livros texto de física básica abordam a segunda lei da termodinâmica de duas maneiras distintas. Inicialmente, associada a discussão sobre máquinas térmicas, são enunciados os princípios de Clausius e Kelvin. Subsequentemente, aborda-se a segunda lei introduzindo o conceito de entropia e seu princípio de variação positiva, ou nula, nas transformações termodinâmicas. Conclui-se que a demonstração de equivalência entre os enunciados de Clausius e o princípio de máxima entropia oferece uma alternativa de abordagem para a discussão das formulações da segunda lei da termodinâmica e suas implicações.

Marques e Santana (2020), ao reconhecer o conceito de entropia como uma das grandes realizações da Ciência e fundamental em boa parte do arcabouço teórico da Física, discutem a respeito das “discrepâncias” existentes na conceituação de entropia em termos de desordem e seus impactos no processo de aprendizagem em diferentes níveis de ensino. Segundo os autores, o problema na compreensão deste conceito está na definição do ponto de vista teórico, uma vez que existem diversas definições para o conceito, sendo uma conotação ambíguo e atrelado a diferentes interpretações por diferentes cientistas, desde a sua definição inicial por Clausius. Diante do exposto, os autores julgam ser indispensável uma abordagem clara sobre esse conceito ao longo de todo o ciclo de ensino, do nível médio ao superior. Com esse intuito, partem de aspectos da Teoria de Aprendizagem de David Ausbel e realizam uma exposição das analogias envolvendo o conceito de entropia, tomando como base proposições feitas por Arieh Bem Naim.

A compreensão de desordem destacada por Marques e Santana (2020), na TPC, está relacionada a zona empírica. No trabalho citado os autores, dentro da estratégia didática proposta, consideram ser pertinente a compreensão de entropia mais ligada a zona racionalista o abandono na compreensão de entropia como desordem. Para os autores, “o que têm-se visto é o contrário: uma associação irrestrita em todos os níveis de ensino dos conceitos de entropia e desordem do sistema (com raízes na já citada revolução industrial), analogia esta permeada por incongruências conceituais sérias” (p. 4).

O modo de pensar ligado a zona empírica pode ser identificado ao falarmos sobre mudanças nos estados físicos da água, por exemplo. Neste processo, a entropia aumenta na

mudança do estado sólido para o líquido, do líquido para o gasoso, por se considerar uma desordem nas moléculas. No estado gasoso, ocasionado pela fervura da água ou por sua evaporação espontânea à temperatura ambiente, se entende que a desordem das moléculas é maior.

Nessa perspectiva, Oliveira et al., (2019) acreditam ser necessário o abandono de ideias ligadas ao senso comum para o desenvolvimento de pensamento científico sobre entropia. Tal acordo é resultado de um estudo realizado em um curso de licenciatura em Química, no qual os autores investigam a respeito da espontaneidade dos fenômenos naturais abordados no Ensino Médio. No resultado, ocorreu a prevalência de ideias intuitivas para a identificação de um processo espontâneo, em detrimento de explicações e identificação de fatores que contribuem para a ocorrência desses fenômenos, tal como a energia de Gibbs, como verificado em uma mistura gasosa. Como alternativa para essa mudança, os autores elencam. A alfabetização científica segundo Chassot (2003), pode ser a ponte que transformará o senso comum em conhecimento científico, possibilitando aos alunos uma visão ampla e adequada das transformações que ocorrem ao seu redor” (p. 42)

A concepção intuitiva a respeito da ocorrência de fenômenos espontâneos está ligada a zona perceptiva/intuitiva, sua identificação se torna possível nas ideias de naturalidade na ocorrência de processos físico-químicos, a exemplo, ao se considerar que o ferro enferruja naturalmente, quando está em contato com o ar, não se considerando as grandezas físico-químicas envolvidas no processo de oxidação do ferro.

A partir da análise de seis livros didáticos de Física do Ensino Médio, Watanabe (2019) conclui que o conceito de entropia é a porta de entrada para a complexidade nas aulas de Ciências do Ensino Médio, visto que “a entropia, ao ter sido enunciada de várias formas e por abranger diversas áreas do conhecimento, tornou-se de difícil conceituação e demasiadamente complexa, no sentido de integrar e interagir em diferentes sistemas” (p. 48).

Silva (2020) e Silva e Neto (2020), motivados pelas dificuldades enfrentadas pelos seus alunos na compreensão do conceito de entropia no Ensino Médio, realizam um estudo bibliográfica, no qual julgam entropia e a sua relação com a desordem como estruturante para o ensino de Química, por conseguir explicar processos importantes da área. Segundo os autores, as dificuldades dos alunos sobre entropia variam desde a não compreensão de um fenômeno

reversível ou irreversível, não compreender porque determinados fenômenos ocorrem de forma espontâneo ou não, e na associação do conceito a desordem.

Guimarães (2019) e Guimarães, Silva e Simões Neto (2019), ao investigarem a emergência de zonas do perfil conceitual de entropia e espontaneidade em um curso de licenciatura em Química, discutem a complexidade atribuída ao conceito, “trata-se de um conceito abstrato, difícil de ser ensinado e aprendido e, por isso, muitas vezes negligenciado pelos docentes no Ensino Médio” (p. 16).

Nogueira (2021), usa a contextualização histórica, aliadas ao uso de experimentos, para discutir a Segunda Lei da Termodinâmica e o conceito de entropia em nível médio nas aulas de Física. Segundo o autor, o ensino desses conteúdos neste nível de ensino tem sido considerado um desafio tanto para os professores como para os alunos, devido a sua complexidade e difícil compreensão.

Gregio (2018) afirma que apesar de estar presente nos livros didáticos do Ensino Médio, nas abordagens sobre a Termodinâmica, a entropia acaba não sendo discutida. Entre as principais dificuldades destacadas pelo autor, estão as diversas definições atribuídas ao conceito.

Como resultado de uma investigação em livros de Química de nível superior, Carneiro (2019) ratifica como dificuldade para a compreensão de entropia a diferentes formas de compreender esse conceito, assim como a existência majoritária do termo a desordem. Gonçalves (2020), a partir de um levantamento bibliográfica de trabalhos de conclusão tecidos em cursos de licenciatura em Química e Física de uma universidade pública federal, que abordaram o conceito de entropia, realizou uma investigação a respeito das concepções alternativas de licenciandos da disciplina de Físico-química I. Em seus resultados, a pesquisadora afirma haver uma escassez de trabalhos que tratem do conceito em estudo, assim como que grande parte dos discentes continuam a associar o conceito de entropia a desordem mesmo após cursarem a disciplina. Assim sendo, a autora considera ser necessário o abandono da ideia de desordem para o desenvolvimento e construção de um modelo conceitual de entropia condizente com o que é exigido pela comunidade científica, uma concepção relacionada a zona racionalista.

Segundo a mesma autora, essas concepções atribuídas ao conceito na graduação podem estar ligadas as dificuldades de compreensão inerente ao termo, equívocos conceituais sobre entropia relacionados ao uso de livros didáticos de curso superior de Química, analogias usadas por professores e alunos ao se referirem ao aumento ou diminuição da entropia e por falta de embasamento teórico dos discentes na graduação, pois muitos não estudaram o conceito no Ensino Médio.

Santos, Costa e Silva (2019) apresentam uma análise sobre a eficácia da utilização de abordagens de caráter lúdico introduzidas ao ensino de entropia. Segundo os autores a escolha do conceito em tela ocorreu por ser pouco explorado dentro do ensino de Física, além de ser considerado de difícil compreensão. Para os autores, “a Termodinâmica, especialmente no que diz respeito ao conceito de entropia e às leis da Termodinâmica, tem se mostrado impopular entre os estudantes e difícil de se trabalhar, devido a uma aparente dissociação entre esses conceitos e o cotidiano dos alunos” (p. 3).

A maioria dos trabalhos que se dedicam a estudar o processo de ensino e aprendizagem da entropia considera ser necessário o abandono de concepções prévias e alternativas dos estudantes para o desenvolvimento do pensamento e conhecimento científico do conceito, isto é, muitos autores consideram a concepção de desordem como um obstáculo à aprendizagem da compreensão mais aprofundada do conceito. Para Oliveira (2000 *apud*, AMARAL, 2004, p. 105), “Bachelard não propôs obstáculos epistemológicos necessariamente como barreiras que devem ser superadas em definitivo para a construção do conhecimento científico, mas como algo que pode estar enraizado no inconsciente humano”.

Com isso, compreendemos por meio da Teoria dos Perfis Conceituais a relevância de se considerar os diferentes modos de pensar sobre um determinado conceito. Na aprendizagem da Ciência escolar, que está vinculada a aprendizagem da linguagem social da Ciência, nenhuma concepção ou ideia devem ser desconsiderada, visto que a teoria em questão busca explicar como o indivíduo desenvolve um universo de significados possíveis para uma mesma palavra ou conceito, não havendo limite para a inclusão de compreensões não-científicas quando estas guardam relação com o conceito em foco na constituição de um perfil conceitual (MORTIMER, 2002. MORTIMER et al, 2010).

Corroborando com o exposto, Amaral (2004) cita que uma das perspectivas de ensino e aprendizagem implicada na Teoria dos Perfis Conceituais, está nas discussões dos diferentes

modos de pensar sobre um conceito, isto é, em considerar as diferentes concepções sobre determinado conceito para enriquecimento da aprendizagem, pois possibilita uma aproximação da vivência do aluno com o novo conhecimento. Para a mesma autora, a visão ampla do conceito e dos seus diferentes significados associados a distintos contextos pode propiciar a identificação de obstáculos para a aprendizagem e a elaboração de estratégias de ensino eficiente” (p. 11).

No que concerne ao fator de segunda ordem, Gehlen e Delizoicov (2020, *Apud* GEHLEN; DELIZOICOV, 2012) discorrem sobre o destaque que Vigotski atribui a relação entre conceitos espontâneos e a conceituação científica como possibilidade de mediação na solução de problemas dentro do ensino. Nas palavras de Vigotski,

[...] a formação dos conceitos surge sempre no processo de solução de algum problema que se coloca para o pensamento do adolescente. Só como resultado da solução desse problema surge o conceito (VYGOTSKI, 2001, p. 237).

[...] um conceito não é uma formação isolada, fossilizada e imutável, mas sim, uma parte ativa do processo intelectual, constantemente a serviço da comunicação, do entendimento, e da solução de problemas (VYGOTSKI, 2005, p. 66).

A partir do exposto, é possível perceber a relevância que a formação de conceitos e como processo de conceituação pode contribuir para o desenvolvimento do ensino e da aprendizagem de conceitos científicos, em especial, aqueles que apresentam distorções e dificuldades em serem ensinados e aprendidos, tal como o conceito de entropia, sendo pouco compreendido e abordado de forma introdutória sem considerar aspectos que resultem no aprofundamento desse conceito do ensino. Como possibilidade de discutir tal temática, trazemos o trabalho de Amaral, Scott e Mortimer (2014), que trata do Perfil conceitual de entropia e espontaneidade, discutindo aspectos que reconhecem a Teorias dos Perfis Conceituais como ferramenta relevante para melhor compreensão desse conceito, assim como de outros conceitos importantes ligados ao de entropia.

De modo geral, entre os estudos realizados a partir da revisão de literatura, é possível destacar duas perspectivas que discutem o conceito, (i) uma formalista, utilizando de números e fórmulas, isto é, explora apenas sua natureza estatística; e (ii) uma de discurso pedagógico que discutem ideias que podem ajudar no entendimento desse conceito em situações de ensino e aprendizagem. Enquanto primeira, está relacionada ao uso de algoritmos em áreas externas ao ensino, por exemplo, na Teoria da Informação, administração, meio ambiente, psicologia, linguística, engenharia, entre outros, nas quais, entropia ganha formas além das advindas da

Termodinâmica, mas se adapta a cada área em particular (MAGOSSI; PAVIOTTI, 2019); a segunda é imbuída do enfoque pedagógico, direcionado para a abordagem do conceito em sala de aula de Ciências, está, foco da nossa investigação.

CAPÍTULO 2: DESENHO METODOLÓGICO

Nesse capítulo apresentamos o desenho metodológico da pesquisa, destacando sua natureza, participantes e *locus* da pesquisa, etapas e instrumentos de coleta de dados, os métodos usados para análise dos dados com base no objetivo geral, que foi analisar como conceito de entropia é abordado nos livros didáticos, em programas disciplinares e por professores de Química do Ensino Médio e Ensino Superior, identificando diferentes modos de pensar sobre entropia a partir de zonas do perfil conceitual. Destacamos, ainda, os aspectos éticos que foram adotados durante este estudo.

A pesquisa foi aprovada pelo Comitê de ética e Pesquisa (CEP) da Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE, sob CAAE 60137822.3.0000.9547. Para operacionalização deste estudo os professores assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE, anexo 1 e 2). Nos documentos foram especificados os objetivos do estudo, seus benefícios e possíveis riscos, os passos metodológicos, destacando que os sujeitos poderiam desistir ou retirar seu consentimento a qualquer momento, sem que lhes sejam atribuídos qualquer tipo de prejuízo, além de lhes assegurar confidencialidade quanto a identificação dos sujeitos. Deste modo, asseguramos que neste estudo foram respeitadas todas as normas e diretrizes regulamentadoras exigidas para pesquisa que envolva seres humanos.

Para tanto, seguimos os seguintes passos: (i) a realização de uma revisão sistemática da literatura; (ii) a aplicação de um questionário com professores de Química do Ensino Médio (apêndice 1); (iii) análise de livros didáticos do Ensino Médio; (iv) análise de programas de disciplinas de cursos de licenciatura em Química; e (v) Aplicação de uma entrevista semiestruturada com professores dos cursos de licenciatura em Química (apêndice 2).

2.1 Classificação da pesquisa

A presente pesquisa adotou uma abordagem de natureza qualitativa e reúne perspectivas exploratória, descritiva e documental. A partir da abordagem qualitativa, investigamos a construção dos significados, dos motivos e das interações, estendendo o olhar para subjetividade dos fatores investigados de forma a compreendê-los e interpretá-los (PRODANOV; FREITAS, 2013). A natureza qualitativa reconhece que o ser humano, em suas ações cotidianas interpreta a realidade a sua volta, assim, essa pesquisa prima pela interação e interpretação do homem como ser ativo a sua realidade (GUERRA, 2014). Além disso, na

perspectiva qualitativa o pesquisador tem contato direto com o campo de pesquisa e objeto de estudo, permitindo que ele acompanhe e valorize mais o processo que o resultado.

Partimos de estudo exploratório, uma vez que a aproximação e familiarização do pesquisador com o ambiente, fato ou fenômeno a ser investigado, subsidia sua análise de modo que ele conheça e formule questões ou problemas que lhe auxiliem em uma pesquisa mais precisa (LAKATOS; MARCONI, 2010). Além disso, dentro do arcabouço descritivo, os dados coletados foram descritos com o objetivo de retratar a realidade investigada. Dentro da perspectiva documental, o objetivo é esclarecer um conteúdo, elucidando questões de acordo com o propósito do pesquisador (PRODANOV; FREITAS, 2013), utilizando para isso fontes primárias, precisamente livros didáticos de Química de nível médio e programas de disciplinas do curso de Licenciatura em Química de duas universidades públicas federais. Por representarem uma fonte natural de informação, documentos “[...] não são apenas uma fonte de informação contextualizada, mas surgem dentro de um contexto” (LUDKE; ANDRÉ, 1986, p. 39)

Conforme Ludke e André (1986, p. 38), a pesquisa documental é uma “técnica valiosa de abordagem de dados qualitativos, seja complementando as informações obtidas por outras técnicas, seja desvelando aspectos novos de um tema ou problema”. Assim, partimos de estudo documental, compreendendo que documentos são materiais que podem ser usados para obtenção de informações do comportamento humano (PHILLIPS, 1974). Desde modo, documentos podem ser regulamentos, normas, leis, pareceres, livros, memorandos, diários pessoais, autobiografias, etc.

Destacamos que, para este estudo, não tivemos a pretensão de realizar uma investigação aprofundada das etapas metodológicas aqui definidas, pois compreendemos a complexidade inerente a essa proposta, mas apresentar, a partir de uma pesquisa exploratória perspectivas que nos possibilite contribuir com o estudo e o ensino do conceito de entropia nos diferentes níveis de ensino, assim como proposto no nosso terceiro objetivo específico, que consiste em analisar os modos de pensar (intuitivo, empírico/formalista ou racionalista) que prevalecem nas abordagens feitas ao conceito de entropia no conjunto de dados coletados, apontando dificuldades e possibilidades para ampliar os estudos sobre esse conceito, pois “um aprofundamento na compreensão conceitual da entropia pode ampliar as perspectivas de aplicação e contextualização desse conceito, resultando”, alternativas para o ensino de entropia e da Segunda Lei da Termodinâmica (AMARAL, 2004, p. 63).

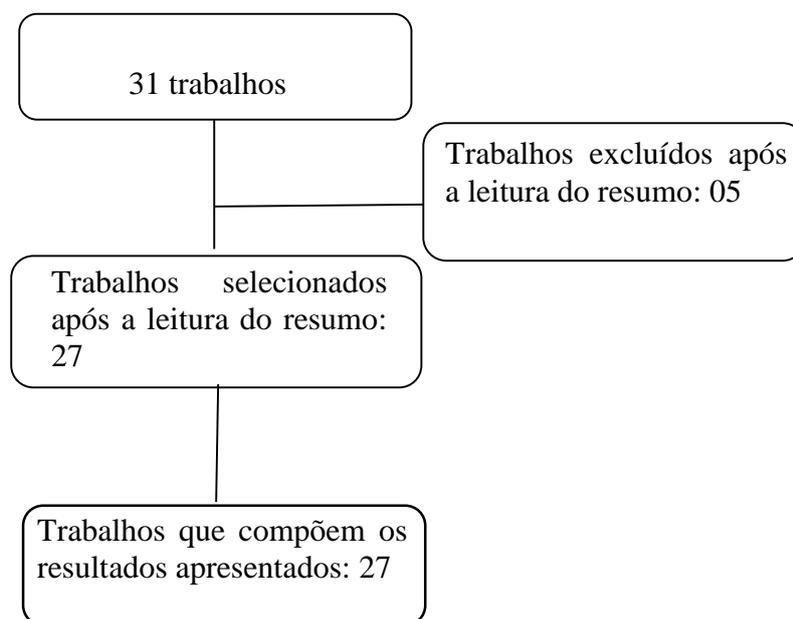
2.2 Revisão sistemática da literatura

Para Caiado et al., (2016), o intuito de uma revisão sistemática é localizar os estudos mais relevantes existentes com base em questões de pesquisa formuladas anteriormente para avaliar e sintetizar suas respectivas contribuições. Sendo assim, a revisão sistemática possibilita que uma pesquisa apresente a seleção dos principais estudos que discutem a temática, trazendo a discussão de trabalhos que já trataram do tema.

A revisão deste trabalho foi realizada considerando a *priori*, seis revistas, a saber: Educación Química, Investigación em Ensino de Ciências- IENCI, Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências- RBPEC, Ciência e Educação, Revista Virtual de Química, Química Nova e Química Nova na Escola- QNEsc. Inicialmente, foram definidas as bases de dados considerando sua representatividade dentro do Ensino de Ciências, e seus estratos que vão desde Q1 a B2 considerando a avaliação quadrienal 2017-2020.

Nestas revistas, buscamos artigos que discutam acerca do conceito de entropia no âmbito de pesquisas em Ensino de Ciências no intervalo de tempo de 2012 a 2021, a partir de palavras-chave que julgamos ser pertinente ao nosso objeto de estudo, tal como: entropia, espontaneidade, termodinâmica, energia e entalpia. A escolha pelo período ocorreu em função da viabilidade e da possibilidade de visualização das características das pesquisas desenvolvidas nos últimos anos, além de alcançar logicidade para nosso estudo (GALVÃO; RICARTE, 2019), objetivando, ainda, de forma mais recente, entender como se encontram as discussões que tratam da abordagem dentro do Ensino de Ciências. Deste modo, o objetivo foi de nos aproximar das discussões sobre entropia realizadas nos últimos anos em âmbito educacional, por este motivo, foram excluídos do estudo trabalhos que não atendessem a discussões acerca da abordagem do conceito de entropia em situações de ensino e aprendizagem.

Durante a busca, encontramos apenas um artigo que elucidassem os critérios supracitados. Assim sendo, estendemos nossa investigação a plataforma Google Acadêmico. Nela encontramos um vasto número de trabalhos sobre a temática em tela, no entanto, concentrados nos últimos dez anos, encontramos trinta e um, deste número, cinco estudos foram excluídos após a leitura do resumo por não estarem relacionadas com o ensino. Na Figura 1 sistematizamos o resultado da nossa busca.

Figura 1: Trabalhos encontrados a partir da revisão sistemática

Fonte: Adaptado de Baltieri (2020, p. 41)

Inicialmente, na fase de pré-análise foi realizada uma leitura de todos os trabalhos encontrados. As informações coletadas relacionam-se em 3 categorias que emergiram a partir das leituras dos trabalhos, são elas: (I) trabalhos que envolvem propostas de atividades sobre o conceito de entropia desenvolvidas em sala de aula, (II) análise curriculares/documentais que se referem ao conceito de entropia, e (III) pesquisas que tratam da formação de professores e incluem a abordagem do conceito de entropia.

Considerando os critérios elencados para a revisão deste estudo, compreendemos, que poucos autores publicaram mais de um trabalho discutindo o conceito de entropia no período de 2012 a 2021. Em 2012, percebemos que não houve publicações, mas somente a partir de 2013, quando ocorreu a primeira publicação. O interesse por esse conceito aparece de forma mais expressiva em trabalhos publicados entre os anos de 2019 e 2021, principalmente em trabalhos de conclusão de curso e dissertações. Assim sendo, de uma forma geral, consideramos que poucos trabalhos têm discutido ou investigado o processo de ensino e aprendizagem de entropia. O conceito em estudo foi abordado de diferentes maneiras, em diferentes níveis de ensino, com dessemelhantes sujeitos e propondo estratégias didáticas que auxiliam na dinamização do ensino desse conceito.

Diante desse cenário, observamos que sumariamente todos os trabalhos analisados apontam entropia como um dos conceitos mais difíceis e complexos dentre os conceitos físico-químicos e, sua tão difundida associação como desordem deve ser superada, isto é, muitos autores consideram a concepção de desordem como um obstáculo à aprendizagem da compreensão mais aprofundada do conceito, assim como proposto por Bachelard em sua noção de obstáculo epistemológico.

Assim, os autores justificam o interesse pelo conceito devido à complexidade envolvida em sua compreensão e por ser um conceito pouco explorado na área do ensino, especialmente no Ensino Médio, que em muitos casos a entropia acaba não sendo explorada ou mesmo mencionada (AMARAL, 2004). Existem também convergência quanto a clara necessidade de novas possibilidades de estratégias que auxiliem no ensino desse conceito. Deste modo, todos os trabalhos analisados vêm propondo metodologias que visam contribuir e oferecer possibilidades que tornem a compreensão do conceito mais acessível e próxima dos estudantes e professores.

Os trabalhos analisados centram suas investigações em dois sujeitos de pesquisas e dois níveis de ensino, professores do Ensino Médio e licenciandos no Ensino Superior, ambos se distribuem entre as áreas da Física e da Química, de forma mais expressiva na Física, demonstrando que a entropia costuma ser mais discutida nessa área das Ciências. Apesar disso, não houve, durante a análise, a identificação de investigação simultânea dos dois públicos ou dos dois níveis, no entanto, Cunha, Genovese e Queiros (2018) e Marques e Santana (2020) sugerem estratégias didáticas aplicáveis aos dois níveis de ensino.

Dessa forma, consideramos ter encontrado na literatura pesquisas nas áreas da Física e Química relacionados a novas propostas metodológicas, quando se discute a proposição de sequências didáticas; análise e investigações em recursos didáticos, quando se trata de análises realizadas em livros didáticos, nos quais os resultados mostram avanços significativos, com algumas dificuldades superadas, mas com espaço e necessidade para outras possibilidades exitosas, visto que estudos apontam que, mesmo com todo cuidado com os processos de transposição didática, como verificado nos trabalhos analisados, os alunos, especialmente do Ensino Médio, ainda sentem dificuldades na aprendizagem de conteúdos relacionados à Química.

2.3 Sujeitos e *Lócus* da pesquisa

A pesquisa foi realizada nos estados do Piauí e Pernambuco, com um grupo de professores de Química do Ensino Médio e dois professores de Físico-química. Tendo em vista que a seta orientadora deste trabalho é a tese de doutoramento de Amaral (2004) realizada na região Sudeste do Brasil, precisamente no estado de Minas Gerais, nosso *lócus* está relacionado a um recorte feito na região Nordeste do Brasil, cujo o intuito é trazer contribuições quanto a abordagem da entropia nessa região.

Desde modo, primeiramente, trabalhamos com sete professores de Química que atuam no Ensino Médio. Vale salientar que a escolha desses indivíduos teve como objetivo investigar como esses profissionais compreendem o conceito em estudo, considerando o caráter de suas formações. Além disso, essa escolha foi realizada mediante um estudo exploratório, no qual buscamos identificar como professores consideram o conceito de entropia na sua prática docente, visto que a literatura aponta que poucos professores o fazem (AMARAL, 2004; CAVALCANTE *et al.*, 2018; CUNHA; GENOVESE; QUEIROS, 2018; GUIMARÃES, 2019; SANTOS; COSTA; SILVA, 2019; GUIMARÃES; SILVA; SIMÕES NETO, 2019; NOGUEIRA, 2021).

No segundo público de participantes trabalhamos com professores de cursos de licenciatura em Química de duas universidades federais, com o objetivo de compreender como o conceito de entropia é abordado desse nível de ensino e como essa abordagem poderá reverberar da ação docente de futuros professores de Química e a importância do papel mediador do professor para o ensino desse conceito. Eles foram escolhidos considerando que são responsáveis pela disciplina de Físico-química, na qual há uma discussão mais expressiva sobre o conceito de entropia. Deste modo, foram acompanhados neste estudo dois professores de Físico-química, considerando as relações dos conteúdos abordados nesta disciplina com o conceito de entropia. Sendo assim, a escolha dos professores como sujeitos de pesquisa foi realizada a partir da consulta em programas e ementas de disciplinas dos Curso de Licenciatura em Química das duas universidades.

2.4 Instrumentos de coleta de dados

Nesta pesquisa realizamos um levantamento acerca das diferentes abordagens atribuídas ao conceito de entropia em Nível Médio e Superior através da aplicação de questionário e

entrevista, análise de livros didáticos, ementas e programas disciplinares. Com isso, buscamos compreender como esse conceito vem sendo trabalhado no ensino de Química, possíveis limitações e possibilidades para esse ensino.

Deste modo, a coleta de dados da nossa pesquisa ocorreu em quatro etapas, quais sejam:

- Aplicação de um questionário com professores de Química do Ensino Médio;
- Análise de livros didáticos de Química do Ensino Médio;
- Análise de programas de disciplinas de licenciatura em Química que tratam do conceito de entropia;
- Aplicação de uma entrevista semiestruturada com professores de Físico-química de cursos de licenciatura em Química.

No primeiro momento, realizamos por meio de visitas nas escolas um levantamento de todos os professores de Química atuantes no 2º ano do Ensino Médio, série que geralmente é abordado o conteúdo Termodinâmica. Em seguida, o questionário foi enviado para estes professores através de e-mail e aplicativo de mensagens *WhatsApp*. Dos 8 professores, 7 realizaram a devolutiva do questionário. A primeira parte buscou traçar o perfil profissional desses participantes, enquanto a segunda objetivou entender a experiência e prática do professor quanto a abordagem do conceito de entropia em aulas de Química no Ensino Médio. Registramos os dados desta etapa na plataforma Google formulário.

Com relação à segunda etapa, selecionamos 8 livros didáticos de Química do Ensino Médio. Inicialmente consideramos os livros adotados pelos professores em suas aulas de Química. Em seguida, através da plataforma PNLD, buscamos livros com objetivo de encontrar documentos que abordam o conceito em estudo. Deste modo, entre os livros, 3 são os usados pelos professores e 5 são resultado da busca no site PNLD 2020.

Na terceira etapa, realizamos buscas em site de dois cursos de licenciatura em Química por ementas e programas disciplinares que discutissem o conceito de entropia. A partir desta busca, foram selecionados os programas disciplinares de Físico-química I e II. Com relação a quarta etapa, selecionados os dois professores responsáveis pela disciplina correspondentes aos programas analisados. Desde modo, foram investigados dois professores de Nível Superior que discutem o conceito de entropia em aulas de Físico-química.

Diante do exposto, apresentamos a seguir como ocorreu a estruturação de cada uma das etapas aqui descritas.

2.4.1 Elaboração e aplicação do questionário.

O questionário foi operacionalizado com o auxílio do *Formulário Google*¹ e enviado via *WhatsApp* e e-mail para que os professores respondessem de forma on-line. A escolha dessa ferramenta ocorreu pelo fato da elaboração e aplicação poder ser realizada de forma remota, com o auxílio de qualquer computador ou aparelho *smartphone*, permitindo que cada atualização ficasse gravada na nuvem. Além disso, consideramos que essa ferramenta permite que as respostas ao questionário fiquem armazenadas em um arquivo em forma de planilha, na qual cada linha corresponde a um professor e cada coluna a uma pergunta, facilitando a análise das respostas, professor a professor, bem como questão a questão, considerando a sequência de respostas de um mesmo professor.

Salientamos que o questionário foi aplicado com professores de Química do Ensino Médio, com intuito de compreender como esse profissional entende entropia e como trabalha esse conceito em aulas de Química, isto é, quais alusões faz ao conceito durante sua prática docente. Para essa etapa, consideramos as zonas do Perfil Conceitual de Entropia (AMARAL, SCOTT e MORTIMER, 2014). Dessa forma, foi aplicado um questionário contendo perguntas abertas.

2.4.2 Seleção do livro didático (LD)

O livro didático é considerado como um importante instrumento de pesquisa, representando uma fonte documental cuja avaliação deve ser realizada de forma crítica por parte do pesquisador, que levará em consideração seus aspectos internos e externos (PRODANOV; FREITAS, 2013). Silva (2011) acrescenta: “temos consciência de que os livros didáticos são produtos de relações que ocorreram ao longo do tempo na sociedade e não objetos surgidos ao acaso” (p. 179).

A escolha desse instrumento ocorreu por compreender que grande parte dos livros didáticos apresentam poucas atividades de ensino que viabilizam a interação entre professor-aluno e a abstração inerente aos conceitos de entropia, espontaneidade, irreversibilidade, ordem

¹ Ferramenta disponível para usuários do Google Drive ou Google Docs.

e desordem. Esses fatores juntos tornam-se obstáculos para a abordagem da entropia com os alunos do Ensino Médio (ALMEIDA, 2011). Além disso, a escolha do LD (Livro Didático) como objeto de estudo pautou-se também na constatação discutida em muitas pesquisas, que a muito tempo apontam a relevância e centralidade desse material educativo na estruturação de atividades desenvolvidas em sala de aula (CARNEIRO; SANTOS, 2005; FRACALANZA; MEDIG METO, 2006; MARTINS, 2006, MOREIRA; MARTINS, 2015).

Deste modo, para a análise dos livros didáticos inicialmente selecionamos três obras, usadas pelos professores do Ensino Médio, participantes de pesquisa neste estudo. Em seguida, escolhemos seis livros por meio da busca nas coleções apresentadas no guia PNLD. Assim sendo, vale ressaltar, um aspecto fundamental no arcabouço teórico que orienta o estudo do LD nesta pesquisa, que diz respeito ao entendimento desse instrumento como gênero discursivo. Nessa perspectiva, o discurso produzido nos livros didáticos, chamado de científico-escolar, surge numa organização que incorpora elementos do discurso científico, do didático, além dos elementos de contextualização, com a mídia, a divulgação, a pesquisa e apresentando formulas, exercícios resolvidos, entre outras atividades que se relacionam a prática social do Ensino de Ciências (MARTINS, 2006). De uma forma geral, a análise realizada não se voltou somente para a estrutura e o conteúdo do LD, mas também para aspectos de sua circulação e das possibilidades de mudança discursivas das quais participa.

Assim, os livros selecionados seguiram os seguintes critérios:

- Livros utilizados pelos professores participantes da pesquisa;
- Livros de Química aprovados no PNLD 2020.

Assim sendo, a seguir, na tabela 1, apresentamos os dados dos livros escolhidos pelos professores e na tabela 2 dados dos demais livros, todos aprovados pelo PNLD 2020.

Tabela 1: Livros didáticos utilizados pelos professores da pesquisa

Livro didático	Descrição
LD1	AMABIS, J. M.; et al. Moderna Plus: o conhecimento Científico. 1. ed. São Paulo; Moderna, 2020.
LD2	AMABIS, J. M.; et al. Moderna Plus: Água e Vida. 1. ed. São Paulo. Moderna, 2020.

LD3	AMABIS, J. M.; et al. <i>Moderna Plus: Ciência e Tecnologia</i> . 1. ed. São Paulo. Moderna, 2020.
------------	--

Fonte: PNLD (2020)

Tabela 2: Livros didáticos aprovados no PNLD 2020

Livro didático	Descrição
LD4	GODOY, L; et al. Ciências da Natureza: Eletricidade na Sociedade e na Vida . 1. ed. São Paulo: Multiversos, 2020
LD5	MORTIMER, E; et al. Matéria, energia e vida . 1. ed. São Paulo. Scipione, 2020
LD6	SANTOS, C. S.; Diálogo: Ciências da Natureza e suas Tecnologias . 1. ed. São Paulo: Moderna, 2020.
LD7	THOMPSON, M.; et al. Conexões: Matéria e Energia . 1. ed. São Paulo. Moderna, 2020.
LD8	LOPES, S.; ROSSO, S. Ciências da Natureza: Evolução e Universo . 1. ed. São Paulo. Moderna, 2020.

Fonte: PNLD (2020)

A partir da análise dos livros didáticos buscamos identificar quais abordagens e articulações atribuídas à entropia, suas formações discursivas, as zonas do perfil conceitual do conceito de entropia e espontaneidade e, entre as abordagens intuitiva, empírica e teórica, qual predomina nesses materiais didáticos.

2.4.3 Seleção de programas de disciplinas no Ensino Superior

A escolha deste instrumento ocorreu com o intuito de averiguar como estes documentos abordam e consideram o conceito investigado, e por compreender que existe uma relação entre a organização dos conteúdos e a prática dos professores no que concerne a mobilização de conceitos científicos em sala de aula. Desde modo, para operacionalização desta etapa seguimos os seguintes passos:

- Escolha e seleção do curso considerando o estudo e abordagem do conceito de Entropia;
- Busca exploratória no site no curso escolhido por programas e ementas de disciplinas que discorressem de forma mais detalhada e expressiva o conceito de entropia. Assim sendo, foi selecionada a disciplina Físico-química I da universidade localizada no Piauí e Físico-química II em Pernambuco.

Foram selecionados dois programas, estes foram analisados por partes, buscando organizar e sistematizar o tratamento dos dados. Foi levado em consideração os seguintes elementos de cada documento: a carga horaria da disciplina; a ementa; os objetivos propostos; a metodologia; e os conteúdos elencados. Além disso, consideramos para apreciação nesta etapa do estudo, as zonas do perfil conceitual de entropia e espontaneidade com o intuito de presumir os possíveis modos de pensar sobre esses conceitos.

2.4.4 Estruturação e aplicação de entrevista semiestruturada com professores do Ensino Superior

O uso da entrevista se constitui como ferramenta de coleta de dados amplamente utilizada. A opção pela entrevista semiestruturada ocorreu mediante a liberdade oferecida para a formulação das perguntas e na intervenção da fala do entrevistado (MANZINI, 2004). Além disso, segundo o mesmo autor, esse tipo de entrevista é direcionado por roteiro estruturado anteriormente pelo pesquisador. Lembramos que durante a aplicação da entrevista fizemos uso de gravadores, a fim de preservar os dados coletados.

Assim sendo, a quarta etapa da nossa pesquisa foi realizada a partir da aplicação de uma entrevista semiestruturada, cujo o principal objetivo foi compreender como o conceito de entropia vem sendo abordado e articulado no Ensino Superior, observando a importância do papel mediador do professor quanto possibilidades e limitações para a compreensão do conceito pelos licenciandos e como isso poderá reverberar em sua futura ação docente, pois acreditamos que a construção epistemológica do professor se dá a partir de reflexões sobre sua própria prática, bem como na formação de cada profissional, seja ela inicial e/ou continuada.

Vale ressaltar, que os dados obtidos nessa etapa foram transcritos para análise e que a escolha da disciplina (Físico-química I e II) ocorreu mediante busca e análise dos programas e ementas da referida disciplina, considerando sua abordagem ao conceito em estudo.

2.5 Análise dos dados

A seguir, apresentaremos o processo de análise dos dados, evidenciando também os critérios de análise em cada uma das etapas.

2.5.1 Análise da primeira etapa da pesquisa- questionário

Neste momento inicial, analisamos as respostas dos professores de Química do Ensino Médio. O questionário foi aplicado via formulário Google. Por meio dessa técnica, buscamos levantar compreensões, interesses e expectativas referentes ao ensino do conceito em estudo, mapeando zonas do perfil conceitual de entropia e espontaneidade (AMARAL; SCOTT; MORTIMER, 2014).

Destacamos que para a aplicação deste questionário, durante sua constituição na plataforma Google Formulário, foi adicionado um resumo do trabalho, esclarecendo aos participantes nossos objetivos e propostas. Junto ao texto foi acordado que, ao responderem o questionário os participantes estariam concordando em participar deste estudo. Além disso, lhes foi apresentado o TCLE com todos os dados referentes a pesquisa.

2.5.2 Análise da segunda etapa- livro didático

Reconhecendo o papel de destaque que o livro didático ocupa no processo de ensino e aprendizagem, constituindo-se na maioria dos casos como principal referência usada pelo professor para conduzir o processo de ensino, esse material didático torna-se instrumento central, quiçá o único, usado no planejamento dos conteúdos a serem ministrados durante o ano letivo. Assim, na segunda etapa, analisamos dados obtidos a partir da apreciação de dois livros didáticos de Química usados no Ensino Médio. Desde modo, a escolha pelo LD como objeto de estudo, também se pautou na constatação obtida através de pesquisas, que há algum tempo reafirmam a respeito da relevância e do papel desse instrumento no desenvolvimento de atividades em sala de aula (MOREIRA; MARTINS, 2015).

Além do trabalho de Amaral, Mortimer e Scott (2014), Consideramos para essa análise o trabalho de Martins (2006). Por meio da perspectiva de análise de estudos discursivos, balizados em Bakhtin, a autora significa o livro para além das acuidades conceituais e a forma de apresentação dos conteúdos no LD, mas aprofunda sua investigação relacionado esse artefato às suas condições sociais de produção, problematiza a sua composição e estruturas retóricas, explora formas de sua recepção pelas audiências-alvo, as práticas de leitura a ele associadas em diferentes contextos e discute seus contextos de utilização e inserção em práticas educativas. Assim sendo, figuram-se em sua análise aspectos relacionados à linguagem e o dialogismo inerente a ela, reconhecendo-a em suas extensões comunicativa e constitutiva. Para a autora:

Em outras palavras, consideramos que a linguagem é mais do que um conjunto de recursos simbólicos de expressão e comunicação: é instância constitutiva de identidades, de relações entre sujeitos, e de relações entre sujeitos, instituições e conhecimento. Esta proposição, de Bakhtin, inaugurou uma nova perspectiva nos estudos linguísticos e relacionou definitivamente a linguagem com as condições concretas da vida dos sujeitos (MARTINS, 2006, p. 120).

Para a análise dos livros didáticos, consideramos a ficha descrita e organizada no Quadro 2, a seguir.

Quadro 2: Ficha análise do livro didático

<p>1- Identificação do conceito de entropia e demais conceitos termodinâmicos;</p> <p>2- Identificação e discussão dos diferentes modos de pensar o conceito de entropia e espontaneidade;</p> <p>3- Análise de aspectos intertextuais e discursivos expostos nos livros.</p>

Fonte: Adaptado de Martins

O primeiro item diz respeito a busca e identificação da abordagem do conceito de entropia nos livros didáticos, isto é, averiguamos inicialmente dentre as obras selecionadas quais trabalhavam o conceito, para que assim, pudessem avançar para as próximas etapas. Uma vez realizada essa identificação, seguimos para o item dois, que está relacionada a identificação das zonas do perfil do perfil conceitual de entropia e espontaneidade a partir dos textos dos livros.

2.5.3 Análise da quarta etapa- programas disciplinares

Para esta etapa consideramos as possíveis articulações dadas para o ensino e aprendizagem do conceito de entropia planejadas para as aulas de Físico-química e quais níveis de compreensão do perfil conceitual de entropia e espontaneidade prevalecem nesse conjunto de dados.

2.5.4 Análise da quinta etapa- entrevista semiestruturada

Para esta etapa realizamos a transcrição das informações dadas pelos sujeitos. Com isso, objetivamos compreender como o conceito de entropia é abordado, qual importância é dada ao ensino desse conceito, bem como as possibilidades e limitações em nível superior acerca do conceito de entropia e importância papel do professor para o ensino do conceito em estudo.

Diante do exposto, apresentamos no Quadro 3 uma sistematização do nosso percurso metodológico.

Quadro 3: Desenho metodológico

Objetivos específicos	Etapas metodológicas	Instrumentos de coleta de dados.
Analisar como o conceito de entropia é abordado em fontes documentais que tratam do ensino de química nos níveis médio e superior, identificando diferentes modos de pensar sobre esse conceito a partir de zonas do perfil conceitual.	Correspondem a este objetivo específico as etapas 2 e 3, sejam elas: análise de livros didáticos e de dois programas disciplinares.	Para esta etapa os instrumentos de coleta foram 2 livros de didáticos de Química do Ensino Médio e dois programas disciplinares de físico-química de dois curso de licenciatura em Química, cujo objetivo foi compreender como o conceito de entropia é abordado nesses instrumentos.
Identificar diferentes modos de pensar no relato de professores de Química de nível médio e superior sobre como abordam ou compreendem o conceito de entropia, em situações de ensino e aprendizagem.	Correspondem a este objetivo as etapas 1 e 4 do nosso percurso metodológico que versa sobre a aplicação de um questionário e de uma entrevista semiestruturada	Os instrumentos usados foram 1 questionário, cujo aplicação ocorreu com professores de Química do Ensino Médio e aplicação de uma entrevista semiestruturada com professores do curso de licenciatura em Química. A análise foi realizada mediante a apreciação e transcrição das falas dos sujeitos da pesquisa acerca dos modos que compreendem e abordam o conceito de entropia.
Avaliar os modos de pensar (intuitivo, empírico/formalista ou racionalista) que prevalecem nas abordagens feitas ao conceito de entropia no conjunto de dados, apontando dificuldades e possibilidades para ampliar os estudos sobre esse conceito.	Nesta etapa, foi realizada a apreciação do conjunto de dados coletados, isto é, o resultado da análise dos livros didáticos e programas disciplinares, do questionário e entrevista semiestruturada.	O conjunto de elementos resultante da apreciação dos dados coletados a partir do questionário, dos livros didáticos, dos programas disciplinar e da entrevista semiestruturada.

Fonte: Própria

CAPÍTULO 3: RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, apresentamos os resultados alcançados durante esta pesquisa. Destarte, por meio destes, apresentamos como o professor do Ensino Médio compreende e aborda o conceito de entropia em sala de aula, o resultado da análise dos livros didáticos de Química do Ensino Médio, o estudo de programas de disciplinas do curso de licenciatura em Química que tratam do conceito de entropia e o resultado da aplicação da entrevista semiestruturada com os dois professores de Química do Ensino Superior.

3.1 Resultados da primeira etapa- questionário

Apresentaremos, nesta seção, os resultados da primeira etapa, a aplicação do questionário. Por meio deste instrumento, tivemos o intuito de investigar aspectos como: (i) o perfil profissional dos sujeitos; (ii) a percepção destes a respeito de estudos relacionados a entropia; (iii) possíveis estratégias e articulações relacionadas ao ensino de entropia em nível médio; (iv) uso de recursos didáticos que abordem o conceito de entropia; e (v) identificar zonas do perfil conceitual na fala dos professores. Destacamos, que a identificação das zonas ocorreu pelo destaque em negrito dos trechos em que há a presença de modos de pensar ligados ao perfil conceitual de entropia e espontaneidade na fala dos professores, mas que nem sempre foi possível realizar esse mapeamento, pois em muitos casos não houve nas respostas concepções ligadas as zonas desse perfil conceitual. É o caso das respostas descritas nos quadros 3, 4, 5, 8, 9, 11, 12, 14.

O questionário foi disponibilizado por meio do Google formulário, enviado via aplicativo *WhatsApp* e e-mail aos professores, 7 professores responderam o questionário. Como forma de preservar a identidade desses profissionais, eles foram identificados como P1, P2, P3, P4, P5, P6 e P7, o número atribuído aos professores foi dado de acordo com a ordem das respostas dadas ao questionário.

Destarte, inicialmente discutimos as respostas descritas no Quadro 4, o perfil profissional dos sujeitos.

Quadro 4: Perfil profissional dos sujeitos.

Professor	Respostas
-----------	-----------

Síntese das Perguntas	Área de formação	Maior titulação	Componentes curriculares que trabalha	Ano do Ensino Médio que trabalha.
P1	Licenciatura em Química	Especialização em Educação ambiental	Química	1º e 2º Ano
P2	Licenciatura em Química	Especialização em Gestão do Ensino Superior	Química e Física	1º, 2º e 3º anos do Ensino Médio regular e EJA
P3	Licenciatura em Química	Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática	Química	1º e 2º ano
P4	Licenciatura em Ciências Biológicas	Graduação	Química	1º, 2º e 3º ano
P5	Licenciatura em Química	Especialização em Gestão do Ensino Superior	Química e Física	1º, 2º e 3º ano
P6	Licenciatura em Química	Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática	Química	1º e 2º ano
P7	Licenciatura em Química	Graduação	Química	2º e 3º ano

Fonte: Própria

Conforme verificamos no Quadro 4, em relação as quatro primeiras perguntas do questionário, dos sete professores investigados, seis possuem formação em Licenciatura em Química e uma licenciatura em Ciências Biológicas. Dois professores possuem mestrado na área de Ensino das Ciências, três professores possuem especialização *latu-senso* em área externa ao Ensino de Química, dois possuem apenas graduação. A especialização em área externa revela um ponto comum dentro da formação continuada de professores nessa região, que fazem o curso devido a uma demanda curricular, isto é, pela necessidade de possuir o curso e, por este motivo fazem o que está sendo ofertado (na grande maioria dos casos, em instituições particulares), pois apesar da demanda existe uma carência de especializações relacionadas ao Ensino de Ciências. Para fazer um curso de pós-graduação, mestrado e doutorado, por exemplo, é necessário se deslocar para outras cidades, pois na microrregião não há essa oferta.

Todos os professores ministram aulas de Química no 2º ano do Ensino Médio. Por meio destas questões é possível perceber que além da Química, dois professores também são responsáveis pela disciplina de Física nas escolas que trabalham. Considerando a experiência profissional apresentada pelos professores, buscamos ainda compreender como esses

profissionais veem a as mudanças ocorridas pela reforma do Novo Ensino Médio e, constatamos que eles não tem uma visão crítica a respeito das mudanças, pois declararam em sua maioria (com exceção de P3 e P6 que declaram ainda não estarem apropriados da reforma para dar uma resposta concisa), que apesar da apreensão envolvendo a reforma, consideram ser um ponto positivo e que dar margem para que o professor tenha autonomia para o desenvolvimento de suas aulas.

Nos Quadros 4, 5, 6 e 7 apresentamos respostas acerca das perguntas que envolveram a percepção e compreensão dos professores a respeito de estudos relacionados a entropia, buscando sempre que possível identificar zonas do perfil conceitual na fala dos professores. Assim sendo, no Quadro 5, apresentaremos respostas a respeito do ensino de entropia, questão 1.

Quadro 5: Resposta à questão 1: Você teve contato com estudos sobre o conceito de entropia no Ensino Médio? Se afirmativo, descreva sumariamente sua experiência.

Professor	Respostas
P1	Sim. De forma bem superficial, na disciplina de Química, quando estávamos estudando termoquímica.
P2	Não
P3	Não
P4	Não
P5	Sim, mas de forma superficial.
P6	Não.
P7	Não.

Fonte: Própria

A partir das respostas apresentadas no Quadro 4, verificamos que dos sete professores, cinco declararam não ter estudado o conceito de entropia enquanto discentes no Ensino Médio. Dois professores, P1 e P5, afirmaram terem estudado o conceito no Ensino Médio, no entanto, descrevem a experiência como superficial. Segundo Amaral (2004), entropia é pouco articulada e abordada no Ensino Médio, ou assume uma modesta abordagem, isto é, geralmente é vista de forma resumida e superficial, em alguns casos o conceito acaba sendo apenas mencionado. Fatos como este podem estar associados ao seu caráter abstrato, aproximação com a Física e a exigência do formalismo matemático atribuídos ao conceito (AMARAL; MORTIMER; SCOTT, 2014).

Além disso, Oliveira et al., (2019) apontam que a ausência da abordagem do conceito de entropia e da Segunda Lei da Termodinâmica resulta em dificuldades no Ensino Superior e em baixos índices de aprovação em disciplinas como a Físico-química. No Quadro 6, apresentaremos a resposta dos professores para segunda pergunta.

Quadro 6: Respostas à questão 2: Você tem ou teve dificuldade em entender o conceito de Entropia? Justifique.

Professor	Respostas
P1	Acho que não. A entropia está relacionada com a desordem das partículas que constituem um material e isso determina sua espontaneidade.
P2	Não. Considero que seja um conteúdo de fácil compreensão.
P3	Não.
P4	Não tive dificuldade de entender!
P5	A princípio sim, mas aos poucos fui superando.
P6	Como sou aluno de escola pública, meu primeiro contato foi na universidade com o conceito de entropia, em um primeiro momento tudo era muito abstrato, mas como sempre fiz estudei em vários livros e artigos os princípios da Termodinâmica e os seus conceitos e aplicações. Pois mesmo não tendo contato com este conteúdo no Ensino Médio, não tive dificuldades em aprender.
P7	Sim. É um conceito bastante abstrato e que requer bastante esforço para compreender.

Fonte: Própria

Quando questionados a respeito da dificuldade na compreensão de entropia, fato amplamente respaldado na literatura, apenas P7 declara sentir dificuldades em compreender o conceito, “fato genuinamente compreensível, uma vez que o mesmo, sob qualquer perspectiva, guarda um teor de abstração acentuado” (MARQUES; SANTANA, 2020, p. 11), assim como explicado por P7. Além disso, é sabido que as dificuldades inerentes a essa compreensão são percebidas não somente por discentes, mas por docentes também, ambos demandados a construir uma compreensão sobre a distribuição de energia em nível submicroscópico, que está relacionada aos aspectos energéticos que explicam a ocorrência de reações químicas (AMARAL, 2004).

Os professores, P1, P2, P3 e P4 declararam não sentir dificuldade em compreender o conceito, P1 justifica sua resposta definindo o conceito a partir da compreensão de desordem, característica da zona empírica, não considerando para o conceito uma concepção mais aprofundada. P6 relata que inicialmente, durante a educação básica, teve dificuldades em compreender o conceito, mas que elas foram superadas diante dos seus esforços em investigar

e se aprofundar em leituras sobre Termodinâmica. P6 atribui a esse desentendimento inicial, a vivência em escola pública, estruturando a ideia de que em escolas privadas o conteúdo é trabalhado. Tal fato evidencia o abismo entre educação privada e pública, quanto a qualidade do ensino. Sendo assim, o docente considera que hoje, no Ensino Superior, essa dificuldade foi superada. P5 afirma também que já teve dificuldades em compreender, mas que estas já foram superadas, não relatando como ocorreu essa superação. Na sua fala, é possível conferir a presença de um percurso histórico-cultural que se desdobra do Ensino Médio ao Ensino Superior.

Quadros et al., (2011) reforçam que as lacunas demonstradas pelo ensino em escolas públicas, tal como colocado por P5, referindo que esse ensino trabalha poucos assuntos, pode se ajudar a diminuir essas lacunas se houver investimento na formação continuada para os professores, mais contato com a universidade, aumento da carga horária da disciplina, entre outros. Silva (2017) e Lima (2018) reconhece essa constatação ao investigar o ensino do conceito de Calor no Ensino Fundamental em escolas públicas, quando os professores participantes atribuem o pouco acesso estudos referentes ao estudo das Ciências a ausência de tempo para se trazer novas possibilidades e metodologias para a sala de aula.

No Quadro 7, apresentamos as respostas para a terceira pergunta no questionário, nela, foi solicitando que os docentes descrevessem sua compreensão a respeito do conceito de entropia.

Quadro 7: Respostas à questão 3: Em poucas palavras, descreva como você compreende o que é Entropia.

Professor	Respostas
P1	Desordem das partículas que constituem determinado material.
P2	Entropia é uma grandeza da Termodinâmica que determina ou mede a desordem das partículas em um determinado sistema.
P3	Grau de desordem de um sistema
P4	Entropia é a desordem que ocorre em um sistema.
P5	É uma grandeza física que mede o grau de desordem de um sistema.
P6	É utilizada para medir a dispersão de energia em um processo.
P7	Interpretaria de uma forma simplória como a ordem natural da conversão de energia, uma vez que o caminho inverso demanda um esforço maior para se processar.

Fonte: Própria

No Quadro 7, a partir dos destaques em negrito, é possível observar que todos os participantes, exceto P6 (que traz indícios da zona racionalista), compreendem e relacionam entropia ao termo desordem, concepção ligada a zona empírica do perfil conceitual. Nesta zona, entropia está relacionada a ordem e desordem de um sistema, além de considerar que processos espontâneos podem ocorrer quando lhe é fornecido algumas condições físicas para isso, como temperatura e pressão apropriadas (AMARAL; MORTIMER; SCOTT, 2014).

As respostas dos professores confirmam a definição encontrada nos livros didáticos do Ensino Médio, que conceitua a entropia como uma grandeza termodinâmica que mede o grau de desordem de um sistema (SANTOS et al., 2017). Corroborando com o exposto, referências encontradas na literatura confirmam que a ideia de desordem relacionada a entropia é amplamente difundida em detrimento de outras definições (COLOVAN; SILVA, 2005).

Diante do exposto, podemos perceber que os professores, ao definir entropia, não mobilizam outras concepções ou definições sobre o conceito, mas falam a partir de uma ótica pautada nos livros didáticos sem muita reflexão. Como já exposto, a ideia de desordem propicia uma visualização empírica para entropia (AMARAL, 2004), no entanto, Lowe (1988, *apud* AMARAL, 2004) considera que esse tipo de argumento pode não ser suficiente e isso pode causar confusão do aluno. O autor, explica a partir de uma investigação realizada em sala de aula que, em geral, alguns livros de Química trazem duas abordagens para entropia, tentando incluir a aleatoriedade de distribuição de energia junto com a aleatoriedade espacial. Os fatores que levam a um maior número de formas de armazenar energia e, conseqüentemente levam maior entropia, também levam uma maior aleatoriedade de posição, a última por ser mais fácil de visualizar, por isso, acaba sendo a mais utilizada.

Com isso, é possível considerar que os professores compreendem de forma geral entropia associado a desordem a partir de uma visão macroscópica, tal fato pode implicar diretamente na sua prática docente e no entendimento dos seus alunos sobre o conceito e sua significação.

No Quadro 8, a seguir, trazemos as respostas dos professores a pergunta de número 4 do nosso questionário. O conceito de entropia, embora presente em experiências cotidianas, nas explicações de fenômenos físicos, químicos e biológicos, a espontaneidade não é um conceito de comum abordagem nos livros didáticos e em formulações de leis. No entanto, é comumente utilizado para explicar determinados processos. Assim, Amaral (2004) justifica a definição de

espontaneidade como um conceito por considerar “que essa ideia pode funcionar como um elo entre as concepções cotidianas que os alunos têm sobre a ocorrência de transformações e os conceitos mais formalizados de entropia e energia livre, que permitem abordar cientificamente as condições em que essas transformações podem ou não ocorrer” (p. 62).

Quadro 8: Respostas à questão 4: Na sua opinião, existe relação entre entropia e espontaneidade? Justifique.

Professor	Respostas
P1	Sim, pois quando há espontaneidade, há aumento de entropia.
P2	Sim. Porque se a entropia aumenta, ou seja, se a desordem das partículas de um sistema aumenta, significa que esse processo ocorre espontaneamente.
P3	Sim, a tendência natural é que a desordem aumente naturalmente e para ordenar o sistema gastamos energia.
P4	Acredito que sim pois entropia produz bastante surpresas.
P5	Sim, pois estão interligadas
P6	Sim. $G = H - TS$
P7	Sim e não. Sabemos que é possível converter um tipo de energia em outro e há diversas dessas conversões que são espontâneas, ou demandam pouco esforço para se processar, seja qual for a direção, entretanto também sabemos que há perdas na transformação.

Fonte: Própria

Em análise ao Quadro 8, observamos que P1, P2, P3, P4, P5, P6 e P7 concordam que há relação entre entropia e espontaneidade, indícios da zona perceptiva/intuitiva. Amaral; Mortimer e Scott (2014) esclarecem que essa zona está ligada a percepções e intuições que não são organizadas em uma estrutura coerente, ou seja, acredita-se que os processos ocorrem apenas por ser seu curso natural, sem a interferência ou presença de outras grandezas. Essa zona considera somente a ideia de espontaneidade, sendo uma forma de pensar não científica, visto que foi constituída a partir das primeiras interpretações sobre as transformações da matéria, assim como exposto por P1 também.

Os professores P2 e P3 justificam suas respostas atribuindo a desordem como algo espontâneo, compromissos relacionados a zona empírica, representando a continuidade do modo de pensar empirista indicado na questão 3. Os professores P4, P5 e P6 não justificam ou explicam suas respostas, ponto que dificulta a identificação de zonas, assim como apontado por Guimarães (2019). O professor P6, além da resposta afirmativa para a relação entre entropia e espontaneidade, apresenta uma equação que representaria essa relação, no entanto, ele não explica como a aplicação ou representação da equação explica essa relação.

Os conceitos de entropia e espontaneidade, ambos relacionados a questão 3 e 4, constituem a base para a compreensão das transformações físico-químicas quando se trata da Segunda Lei da Termodinâmica. De forma interligada, o primeiro possibilita uma abordagem racional para a espontaneidade (AMARAL; MORTIMER; SCOTT, 2014).

A seguir, no Quadro 9, apresentamos a respostas dos sujeitos para quinta pergunta do questionário, que versa sobre possíveis estratégias e articulações relacionadas ao ensino de entropia em nível médio.

Quadro 9: Respostas à questão 5: Você costuma abordar o conteúdo Entropia em aulas de química? () Sim. Como costuma realizar essa abordagem? Você sente dificuldades? Justifique. () Não. Por que não aborda esse conceito nas aulas?

Professor	Respostas
P1	Não. Falar de entropia, não é só falar de uma simples desorganização, envolve muitos fatores, nos momentos que já falei, comentei de forma bem superficial.
P2	Não. Acho que o fenômeno de entropia está mais presente nos conteúdos abordados pela Física.
P3	Sim, apenas do ponto de vista teórico, fazendo analogia com nossa vida cotidiana.
P4	Sim, através de amostragens de exemplos em sala de aula, quando possível.
P5	Costumo abordar, mas sinto que os alunos sentem dificuldades para compreender e consequentemente preciso estar sempre buscando mecanismos que possa tornar mais acessível a compreensão.
P6	Como as aulas de Química são limitadas (tempo 2 aulas de 50 min por semana) apenas apresento a primeira lei. Depois faço uma breve explicação da espontaneidade.
P7	Não é um assunto recorrente, mas trabalho sim. Há uma certa barreira para a compreensão da turma, para tornar o assunto mais leve costumo relacionar com o conceito de moto-perpetuo e a sua inviabilidade.

Fonte: Própria

Em resposta a quinta questão, exposta no Quadro 9, os professores P1 e P2 afirmam não considerar o conceito em suas aulas. P1 justifica essa ausência por considerar que não se trata de uma tarefa simples, que exige outros fatores além de considerar entropia apenas como desordem, como fez nas questões anteriores. Nessa resposta, o professor demonstra ter ciência da complexidade envolvendo a explicação e entendimento do conceito, pois nas respostas anteriores sua fala se restringe a defini-la como desordem.

P2 afirma que não trabalha com o conceito nas aulas de Química, uma vez que na sua concepção o conceito está mais ligado a disciplina de Física. Alguns trabalhos (SANTOS, et

al., 2017; ALMEIDA, 2011, 2015) apontam que estudos relacionados a investigação desse conceito estão predominantemente na área da Física, o primeiro autor destaca a incipiência desses estudos na Química com um número reduzido de trabalhos.

Os docentes P3, P4, P5, P6 e P7, afirmam considerar a abordagem de entropia nas suas aulas. Contudo, apresentam restrições para a abordagem. P3 relatar abordar apenas do ponto de vista teórico. P4 acrescenta apenas que faz uso de exemplos quando possível, todavia, não apresenta ou cita os exemplos considerados. P5 descreve que, durante as abordagens, sente que os alunos sentem dificuldades em compreender o conceito, mas que para supera-las realiza a busca de outros mecanismos que possibilitem a compreensão pelos estudantes. A docente, no entanto, não exemplifica ou elucida quais mecanismos.

P6 explica que devido as limitações destinadas ao tempo e frequência das aulas de Química, aborda apenas a Primeira Lei da Termodinâmica. Depois disso, considera o conceito de espontaneidade em aula, mas o conceito de entropia não. P7 reconhece não ser um assunto recorrente nas aulas de Química, mas que aborda o conceito. O professor cita um exemplo que costuma usar para diminuir as lacunas entre a compreensão e o conceito, motor perpétuo e sua inviabilidade, exemplo comum nos livros didáticos.

Consideramos que os professores participantes desta etapa do estudo, mesmo aqueles que afirmam trabalhar entropia em sala de aula, não mencionam ou trazem exemplificações concretas nas respostas apresentadas, exceto os professores P6 e P7, que uma noção de como conduzem, ou não, o conceito de entropia. De maneira geral, apenas P1 apresenta indícios que sente dificuldades em abordar o conceito de entropia. Oliveira Júnior et al. (2021) destacam que os estudos disponíveis na literatura, em sua maioria, induzem alunos e professores a nem sempre ter uma compreensão real da entropia, tampouco sua relação com o cotidiano em situações como o gás em processo de expansão, a indução de calor em fricção ou resfriamento de objetos ao ar livre, tal fato acaba ocasionado na exclusão ou pouca articulação da entropia em sala de aula.

No Quadro 10, apresentaremos as respostas dos professores para a questão 6, que trata de estratégias e articulações relacionadas ao ensino de entropia, aos conteúdos químicos que os docentes consideram estar ligado à entropia.

Quadro 10: Respostas à questão 6: A quais conteúdos químicos, o conceito de Entropia pode ser relacionado?

Professor	Respostas
P1	Termoquímica, reações químicas, equilíbrio químico, propriedades da matéria.
P2	No conteúdo Dissociação iônica.
P3	Vaporização, reações químicas, processos termodinâmicos, reações de síntese, etc.
P4	Termodinâmica, mudanças de estados físicos, entropia e a Biologia.
P5	Termoquímica, mudanças de estado físico...
P6	Soluções, Gases, eletroquímica etc... até em orgânica, se utilizar bem a imaginação...
P7	Especialmente termoquímica, mas podemos associar com a cinética e conseqüentemente com o equilíbrio químico.

Fonte: Própria

No quadro 10 é possível perceber que os professores associam entropia ao estudo da Termodinâmica, reações químicas, propriedades da matéria, vaporização, reações de síntese, soluções, gases, eletroquímica, cinética e equilíbrio químico. Ademais o professor P2, que relatou considerar entropia mais presente na Física, foi o único que mencionou o conteúdo dissociação iônica. O professor P6 afirmou que se houver criatividade pode estar ligado também a Química Orgânica, não exemplificando como poderia ocorrer. Sendo assim, compreende-se;

(...) a entropia é a força motriz que está por traz de muitas mudanças físicas, tais como a mudança na temperatura de ebulição e de congelamento de uma solução comparada com o solvente puro, difusão dos gases, solubilidade, osmose e fusão do gelo. Por exemplo, o processo de dissolução de um soluto sólido em um líquido é quase sempre endotérmico e ocorre espontaneamente por que resulta num aumento de entropia (AMARAL, 2004, p. 93).

Outrossim, conteúdo de reações químicas citado por alguns professores, foi considerado como elemento balizador para construção do perfil conceitual de entropia e espontaneidade. Amaral (2004) destaca que seu estudo se consolidou a partir de reflexões da autora a respeito da ocorrência e acerca das condições que levam uma reação ocorrer.

Ademais, a partir das respostas apresentadas, consideramos plausível e pertinente a abordagem do conceito de entropia em aulas do Ensino Médio, bem como a investigação neste nível de ensino, dado que os conteúdos citados pelos docentes demonstram sua relação com diferentes conteúdos de nível médio, conceito importante para a compreensão de outros conceitos físico-químicos. E para que esse conceito seja entendido, deve ser levado em consideração a relação entre esses conceitos (SANTOS, 2007).

A seguir, no Quadro 11, apresentaremos o resultado das respostas para a pergunta de número 7 que está relacionada a percepção dos sujeitos a respeito da importância da entropia e a abordagem desse conceito em aulas de Química.

Quadro 11: Respostas à questão 7: Você considera Entropia um conteúdo importante a ser trabalhado em aulas de Química? Justifique.

Professor	Respostas
P1	Sim. É importante, é a chave para o entendimento de muitos fenômenos.
P2	Sim, principalmente no conteúdo de dissociação iônica, pois permite analisar a desordem provocada no sistema.
P3	Sim, pois a espontaneidade de muitos processos pode ser explicada a partir desse conceito.
P4	Sim! A entropia faz parte do nosso cotidiano.
P5	Sim, pois permite ampliar conceitos termodinâmicos importantes.
P6	Sim, mas no nível de Ensino Médio somos limitados por ementas de disciplinas e tempo de aula.
P7	Sim, assim como a física buscamos compreender processos que estão a nossa volta, e uma visão um pouco diferente pode transformar a forma como olhamos situações corriqueira, abrir horizontes e quem sabe nos inspirar uma descoberta.

Fonte: Própria

Em análise ao Quadro 11, percebemos que todos os professores consideram ser importante trabalhar o conceito de entropia em aulas de Química, mas na Questão 5 afirmaram que não o trabalham em suas aulas. A relação entre as duas perguntas nos faz refletir sobre o porquê da não abordagem do conceito na aula desses profissionais, uma vez que consideram importante trabalhar, mas não o fazem.

P1 considera que ele é a chave para o entendimento de muitos fenômenos, mas sem exemplificá-los ou problematizá-los. Assim também P5, que considera que o ensino de entropia permite conhecer e ampliar o entendimento acerca de outros conceitos termodinâmicos. P2 destaca que o conceito é importante, principalmente para a abordagem do conteúdo de dissociação iônica, relacionando entropia a compreensão de desordem de um sistema, característica da zona empírica. P3 percebe a importância do conceito de entropia por permitir explicar a espontaneidade dos processos. Sua fala apresenta indícios de modos de pensar empírico, visto que o conceito de entropia representa a formalização da espontaneidade.

P6 esclarece que apesar de considerar o conceito importante nas aulas de Química, em nível médio essa abordagem é limitada pela ementa e pelo curto tempo destinado as aulas desse componente curricular. P4 e P7 consideram que o conceito está ligado a situações cotidianas, fornecendo explicações para sua ocorrência.

Consideramos, assim, que mesmo os professores reconhecendo a relevância do conceito para ensino da Química e Física, não existem articulações referentes a esse conteúdo no Ensino Médio. No Quadro 12, a seguir, apresentamos as respostas referentes a oitava questão do questionário que discorre a possíveis abordagens e articulações sobre entropia realizada pelos professores em sala de aula e ao uso de recursos didáticos que abordam o conceito de entropia.

Quadro 12: Respostas à questão 8: Considerando que, em geral, o conteúdo sobre entropia é pouco articulado em aulas de Química, a quais fatores você atribui essa ocorrência?

Professor	Respostas
P1	A nível de ensino médio o material disponibilizado quase não fala sobre isso, a dificuldade de repassar isso aos alunos de forma que eles compreendam, sem está exigindo demais.
P2	Acho que a entropia está mais relacionada aos processos físicos do que aos processos químicos.
P3	O principal é o livro didático não traz esse conteúdo.
P4	Pouco abordados nos livros didáticos e falta de contextualização.
P5	Pode ter relação com a organização dos conteúdos no livro didático. Muitas o professor está muito habituado seguir rigorosamente os "comandos" do livro
P6	Somos limitados por ementas de disciplinas e tempo de aula.
P7	Principalmente ao fato de tentar fazer uma separação do que cabe a cada um dos componentes que compõe as ciências da natureza. Dizer que isso é exclusivo de determinada disciplina limita a compreensão do todo.

Fonte: Própria

A partir das respostas do Quadro 12, quando perguntado a quais fatores eles atribuíam a pouca exploração do conceito de entropia nas aulas de Química no Ensino Médio, os professores P1, P3, P4, P5 atribuem a esse fato a ausência ou pouca articulação do conceito em materiais didáticos. P1 discorre que devido à ausência de materiais didáticos que possibilitem esse ensino, existe a preocupação de fugir do entendimento dos alunos. Nessa perspectiva, Oliveira (2015) realiza uma investigação em 10 livros de Química do Ensino Médio e relata que a abordagem de entropia geralmente vem de forma muito abstrata e distante do cotidiano do aluno, sem fornecer explicações expressivas para a abordagem.

P2 mantém em sua fala o elo entre entropia e o Ensino de Física. Para o professor a pouca articulação do conceito na Química ocorre por este estar mais presente na Física. Um dos sujeitos, P6, considera que o fato está relacionado ao tempo das aulas de Química. P7 considera que o fato de vincular o conceito aos limites de uma outra área das Ciências contribui para sua pouca articulação.

Além disso, observamos que o livro didático é considerado como o principal determinante para articulação e abordagem de entropia nas aulas de Química, tal fato evidencia a necessidade de investigação a respeito destas fontes documentais. Com relação a fala de P6 que trata das barreiras impostas pelas ementas, nos faz refletir que limitações ao Ensino de Química em Nível Médio.

A seguir, no Quadro 13, apresentamos respostas a questão de número 9 que também vai ao encontro de abordagens e articulações relacionadas ao ensino de entropia e os recursos didáticos que abordam esse conceito.

Quadro 13: Respostas à questão 9: Ao abordar o conteúdo termodinâmica, quais pontos/conceitos são considerados e explorados durante a sua aula?

Professor	Respostas
P1	Fala-se mais da energia que é abordada na primeira lei da termodinâmica.
P2	Os conceitos relacionados à energia, trabalho e calor.
P3	Trabalho, energia, entalpia, energia interna, entropia, calor e temperatura.
P4	Não respondeu
P5	A troca de energia
P6	A primeira lei por completo e adaptada ao Ensino Médio.
P7	O currículo do estado do Piauí prioriza alguns conceitos, e no período de incerteza que vivemos dificulta ir além, mas focamos em: Energia envolvida nas transformações químicas; Termoquímica; Teoria das Colisões e Cinética Química; Energia de ativação.

Fonte: Própria

Como observado, o professor P1 declara que durante o ensino do conteúdo Termodinâmica considera com mais frequência o conceito de energia. Para o professor esse é o conceito mais presente nessa abordagem. P2 declara abordar os conceitos de energia, trabalho e calor ao ensinar sobre a Termodinâmica. P3 cita os conceitos de energia, trabalho, entalpia, energia interna, entropia, calor e temperatura. P4 não respondeu à pergunta, logo, não atendeu a condição para inclusão da sua resposta. P6 expôs apenas que adapta o conteúdo referente a

Primeira Lei da Termodinâmica, de modo que consiga trabalhá-la por completo. P7 afirma seguir os conceitos priorizados no Currículo do Piauí, assim sendo, no geral o professor aborda a energia envolvida nas transformações químicas; Termoquímica; Teoria das Colisões e Cinética Química; Energia de ativação, visto que esse currículo não prioriza ou descreve habilidades que envolvem o conceito de entropia. Nesse documento normativo, constatamos para o 2º ano do Ensino Médio a indicação dos conteúdos como: Termoquímica, cujo o objetivo de aprendizagem se restringe a comparar a eficiência energética de combustíveis fósseis e alternativos com base na quantidade de calor produzido e na formação de potenciais poluentes para o ambiente, a abordagem mais próxima feita as Leis da Termodinâmica.

O conceito de energia aparece na fala de cinco dos sete sujeitos investigados, sendo o conceito mais abordado ao se trabalhar a Termodinâmica. A entropia e energia aparece em uma das falas, evidencia que há pouca exploração do conceito ao se trabalhar conteúdos, como a Termodinâmica na aula desses professores.

Quando questionados acerca da abordagem e articulação da Segunda Lei da Termodinâmica nos livros didáticos, isto é, sobre o uso de recursos didáticos que abordem o conceito de entropia os professores apresentam as seguintes respostas, expostas a seguir, no Quadro 14.

Quadro 14: Respostas à questão 10: Na sua percepção, como os livros didáticos de Química do Ensino Médio abordam ou articulam a Segunda Lei da Termodinâmica? Essa abordagem facilita a compreensão do conceito de entropia?

Professor	Respostas
P1	Não facilita. Eles colocam de forma muito superficial, o que pode dá margem pra outros entendimentos.
P2	Nos livros de Química observados, não abordam a Segunda Lei da Termodinâmica. Esse conteúdo é abordado nos livros de Física.
P3	A imensa maioria não aborda esse tópico
P4	Como a entropia é utilizada para medir o grau de desordem de um sistema.
P5	Aborda de forma vaga.
P6	Os livros didáticos estão ficando a desejar em relação a esse conteúdo, temos que sempre levar material extra retirado e adaptado dos livros de Ensino Superior.
P7	Pouquíssimos, e na grande maioria das vezes abordam de forma confusa, ou com exemplos que não alcançam o público.

Fonte: Própria

Analisando o Quadro 14, é possível observar que os professores investigados consideram que os livros didáticos abordam a Segunda Lei da Termodinâmica de forma vaga e superficial. P2 detalha que nos livros observados por ele, não há abordagem da Segunda Lei. Para o docente, essa abordagem é própria dos livros de Física, não de Química. P3 concorda com a fala ao afirmar que a imensa maioria dos livros de Química não a trazem. P4 afirma que a definição dada pelos livros, é a ideia de desordem.

Também, o professor P5 respondeu que esses materiais didáticos vêm deixando a desejar e, devido a essa carência, existe a necessidade de incorporar outros materiais nas aulas de Química. Em sua resposta, P7 afirma que os livros didáticos em sua maioria, não trazem uma articulação clara acerca da Segunda Lei da termodinâmica, os exemplos são confusos distantes do alcance e compreensão dos alunos.

Uma das principais causas apontadas na literatura para a difícil compreensão atribuída ao conceito de entropia está na ausência de estratégias contextualizadas nos livros didáticos (CUNHA; GENOVESE; QUEIROS, 2018). Para os autores, a grande dificuldade em se compreender este conceito está ligada diretamente a forma como é tratado nos textos tradicionais. Além disso, como apontado por diversos autores (MARTINS, 2005; PINHÃO, 2010; CUNHA; GENOVESE; QUEIROS, 2018) o livro didático é o principal recurso usado pelo professor para o desenvolvimento e planejamento das aulas. Dezolovicov, Angotti e Pernambuco (2011) trazem que muitos professores insistem em seguir o livro didático como guia básico para as aulas, pois acreditam que a memorização de conceitos e resolução das listas de exercícios são as formas mais viáveis de ensinar, corroborando com a restrição do ensino tradicional. Vale lembrar que diante da justificativa apresentada pelos professores, somente na fala de P4 foi possível identificar uma zona do perfil conceitual, nesse caso, a zona empírica.

O Quadro 15, traz as respostas dos professores referentes a suas indicações de um livro didático ou paradidático que se possa encontrar bons textos que tragam a abordagem de entropia, ou seja, suas indicações quanto ao uso de recursos didáticos que abordem o conceito de entropia

Quadro 15: Respostas à questão 11: Você poderia citar um bom texto, livro didático ou paradidático, no qual você leu uma boa abordagem sobre entropia?

Professor	Respostas
P1	No Ensino Superior tive contato com o livro Princípios de Química, do Peter Atkins.

P2	Nenhuma sugestão.
P3	Martha Reis V. 2 (se estamos falando de educação básica)
P4	Não.
P5	Normalmente estes conceitos acabam não sendo devidamente evidenciados nos livros de Química, mas posso destacar Ricardo Feltre e Martha Reis como bons autores que trazem aspectos importantes sobre entropia.
P6	Sempre li livros da área de Química. Atkins, Brown, Chang, Castellan.
P7	Mortimer, Eduardo Fleury, Química: Ensino Médio / Eduardo Fleury Mortimer, Andréa Horta Machado. -- 3. ed. -- São Paulo: Scipione, 2016.

Fonte: Própria

Conforme verificado no quadro 14, nas respostas dos professores P1 e P6 é possível observar a indicação de livros usados no Ensino Superior, usados com frequência em cursos de Licenciatura em Química. O livro de Martha Reis foi citado por dois professores, P2 e P5.

Ademais, os livros de Ricardo Feltre e uma edição do livro de Mortimer foram também citadas, o primeiro da fala de P5, os últimos da fala de P7. Os professores P2 e P4 responderam que não tem sugestão a dar acerca dos livros didáticos. Desde modo, no que se refere notadamente aos livros didáticos, além do seu valor simbólico e seu uso do processo de escolarização, ele não só continua relevante, como também é um instrumento para a implantação da legislação e do currículo, sobretudo, no atual cenário da lei 13.415/2017 e da BNCC (SOUZA; BAIRRO, 2014 *apud* MARQUES, 2018). Além disso, Delizocov, Angotti e Pernambuco (2011) esclarecem que o ensino de conceitos científicos ainda está muito vinculado ao modelo de ensino tradicional, em que fica claro que o processo de construção de significados está restrito a reprodução dos livros didáticos de Ciências, o que acarreta em uma visão e compreensão errônea acerca de diferentes conceitos. Quanto aos paradidáticos, nenhum dos professores trouxeram exemplos desse material.

Na questão de número 12 perguntamos aos professores se a articulação ou aparição dos conceitos de entropia e espontaneidade em eventos cotidianos. Além disso, pedimos exemplos desses eventos, buscando compreender a percepção destes a respeito de estudos relacionados a entropia acerca de situações cotidianas. No Quadro 16, a seguir, apresentaremos essas respostas.

Quadro 16: Respostas a questão 12: É possível perceber a aparição ou articulação dos conceitos de entropia e espontaneidade em eventos ou acontecimentos cotidianos? Dê exemplos.

Professor	Respostas
-----------	-----------

P1	A questão do próprio estado como a matéria se apresenta.
P2	Sim. Nas transformações físicas como: o derretimento do gelo; a ebulição da água, também em transformação química como a dissociação do cloreto de sódio em água.
P3	Sim, a organização da casa, guarda-roupa , etc.
P4	Sim. Um jarro se quebrando .
P5	A adição de cloreto de sódio em água, fusão da água.
P6	Desde a fervura da água até a dissolução de sal de cozinha , temos aí exemplos de entropia.
P7	Sim. Em praticamente dos os processos que não podemos reverter, como um prato que se quebra e não pode retornar ao que era .

Fonte: Própria

Com relação ao Quadro 16, nas respostas dos professores temos exemplos como, o estado da matéria, as transformações físicas apontadas por P2, derretimento do gelo, ebulição da água, dissociação do cloreto de sódio em água. P3 em seu exemplo associa entropia a ideia de ordem e desordem, citando a organização de uma casa e do guarda roupa. P5 e P6 assim como P2, fala da adição de cloreto de sódio na água e fusão da água. O professor P4 e P7 ao exemplificarem como a entropia está presente no cotidiano, relaciona-a aos processos reversíveis e irreversíveis, afirmando que entropia está presente em quase todos os processos irreversíveis. Além disso, as falas dos professores apresentam indícios da zona empírica do perfil conceitual de entropia e espontaneidade (AMARAL; MORTIMER; SCOTT, 2014).

As respostas corroboram com a possibilidade de adições e contextualizações plausíveis a abordagem da entropia no Ensino Médio, a fim de introduzir e propiciar seu entendimento, citando exemplos cotidianos para a sala de aula, pois diferentes modos de compreensão, pois o conceito está amplamente vinculado a diferentes contextos sociais, entre os quais podem ser destacados, o contexto escolar, no qual o conhecimento científico é discutido e apresentado aos alunos; o contexto cotidiano, no qual os alunos convivem com diferentes grupos e culturas, no qual circulam em sua maioria pensamentos mais intuitivos e do senso comum (DINIZ JÚNIOR; SILVA; AMARAL, 2015).

A seguir, apresentamos uma síntese dos resultados encontrados a partir da aplicação do questionário.

3.1.1 Síntese dos resultados encontrados na primeira etapa

Nessa seção apresentamos uma breve síntese dos resultados alcançados pela aplicação do questionário com os professores de Química do Ensino Médio, considerando os 5 critérios elencados e a ordem pela qual eles se apresentam no início da seção 3.1. Deste modo, no Quadro 17, apresentamos a síntese.

Quadro 17: Resultados alcançados na primeira etapa-aplicação do questionário.

Crítérios	Resultados
(i) o perfil profissional dos sujeitos	Dos 7 professores participantes, 6 são licenciados em Química e em Ciências Biológicas. 2 possuem mestrado em Ensino das Ciências, 3 possuem especialização em áreas não relacionadas a Química e 2 apenas a graduação. Todos trabalham com a disciplina de Química no Ensino Médio.
(ii) a percepção destes a respeito de estudos relacionados a entropia	4 dos 7 professores não tiveram dificuldades em compreender o conceito. Majoritariamente todos compreendem e definem entropia como desordem. Em alguns momentos entraram em contradição, por exemplo, quando consideram entropia um conceito importante a ser trabalhados em aulas de Químicas, mas não o abordam.
(iii) possíveis estratégias e articulações relacionadas ao ensino de entropia em nível médio	Não abordam o conceito de entropia em sala de aula.
(iv) uso de recursos didáticos que abordem o conceito de entropia	Reconhecem a importância dos livros didáticos para a condução do ensino e, citam alguns exemplares que consideram ter uma boa abordagem ao conceito. Consideram que a ausência e a limitada atenção dada a entropia dos livros didáticos é um fator determinante para sua pouca articulação em aulas de Química, pois não costumam abordar esse conceito. Dos 7 professores, 2 indicam livros de Química do Ensino Superior, 3 livros didáticos do Ensino e 2 professores não opinaram quanto a indicação de materiais didáticos ou paradidáticos que tragam uma boa abordagem do conceito de entropia.
(v) identificar zonas do perfil conceitual na fala dos professores	Predominância da zona empírica. Ressalta-se que entre as possibilidades de se referir empiricamente a entropia, a desordem relacionada a eventos observáveis e a como medida da aleatoriedade que o sistema pode ser, foram os mais presentes na fala dos professores. Além da zona empírica, foi observado também a exibição com um número inferior de aparição da zona perceptiva/intuitiva

Fonte: Própria

A partir dos resultados elencados no Quadro 17, podemos concluir que a recorrência da abordagem empírica na fala dos professores pode estar associada a dois fatores, a saber: (i) a sua formação inicial, a partir de uma reprodução de técnicas e abordagens advindas do Ensino Superior. Segundo Maldaner (2000), problemas como esse são comuns na literatura e que dificuldades durante a formação inicial e continuada de professores de Química podem ser resultados de diversos fatores, inclusive da prática epistemológica dos professores do Ensino

Superior; e a (ii) ampla divulgação desse termo na literatura e materiais didáticos, Nessa perspectiva Delozoicov, Angotti e Pernambuco (2011, *apud* DINIZ JÚNIOR, 2016), destacam que muitos professores insistem em usar o livro didático como principal instrumento a ser seguido na aula, pois consideram que a memorização dos conceitos, a reprodução de listas de exercício, são as principais e mais viáveis formas para se ensinar.

3.2 Resultado da Segunda Etapa- Análise dos livros didáticos

Nesta seção, nos dedicamos a apresentar a análise realizada nos livros didáticos de Química do Ensino Médio, com o intuito de: (i) identificar como esses materiais didáticos abordam o conceito de entropia; (ii) identificar modos de pensar entropia a partir de zonas do perfil conceitual, e; (iii) analisar os livros didáticos a partir de uma perspectiva discursiva. Vale lembrar que para este estudo foram considerados livros usados a partir do ano de 2021, ou seja, materiais organizados segundo a reforma do Novo Ensino Médio.

3.2.1 Organização e estrutura dos livros didáticos

Os livros estão organizados segundo critérios elegidos pela reforma do Novo Ensino Médio que, em nome da “flexibilização”, saiu da antiga segmentação por disciplinas para ser dividido por áreas do conhecimento. De uma forma geral, cada disciplina tinha até 2021 um livro didático em um único volume, a partir de 2022 os livros didáticos do Ensino Médio não possuem mais essa organização. No lugar disso, são seis obras por área do conhecimento: Ciências da Natureza, Ciências Humanas, Matemática e linguagens. Desde modo, até 2021, cada disciplina teve um LD em volume único para todo o Nível Médio, no ano seguinte há apenas um material didático para cada área do conhecimento.

As primeiras elaborações dessa reforma datam de 2013, gerando uma série de debates, mas que foram interrompidos quando em seu primeiro mês de governo, Michel Temer editou a medida provisória 726. Nela o então presidente acabou com a obrigatoriedade das disciplinas de Artes, Educação Física, Sociologia e Filosofia e indicou que o ensino seria não mais por disciplinas, mas por áreas de conhecimento, além de projetos integradores. A lei que instituiu de fato o Novo Ensino Médio, 13.415/2017, instituiu a substituição de livros didáticos de cada disciplina por áreas de conhecimento, formando os itinerários formativos: linguagens e suas tecnologias, matemática e suas tecnologias, ciências da natureza e suas tecnologias, ciências humanas e sociais aplicadas e formação técnica e profissional. Assim, “o currículo do Ensino

Médio passa a ser composto pela Base Nacional Comum Curricular e por itinerários formativos [...]” (BRASIL, 2017).

Deste modo, o **LD1** é composto por 13 capítulos, são eles: o conhecimento científico e as Ciências da Natureza; Unidades de medida; Elementos, substâncias e reações químicas; Modelos atômicos e tabela periódica; Níveis de organização da vida e classificação biológica; Introdução ao estudo dos movimentos; Citologia (I): Membrana celular e citoplasma; Citologia (II): Núcleo celular, cromossomos e mitose; Ligações químicas interatômicas; Fundamentos dos compostos orgânicos; Estudo e aplicações dos vetores; Leis de Newton; Reprodução, meiose e embriologia animal.

O **LD2** conta com 12 capítulos, a saber: Os seres mais simples: vírus, bactérias, arqueas, protoctistas e fungos; Anatomia e fisiologia das plantas; Geometria molecular e interações moleculares; Reprodução das plantas e hormônios vegetais; Anatomia e fisiologia dos animais; Compostos inorgânicos; Concentração de soluções; Fluidos; Máquinas simples; Solubilidade e precipitação; Quantidade de movimento e impulso de uma força e Gases.

Com relação ao **LD3**, se tem também 12 capítulos, sejam eles: As leis da herança; Bases cromossômicas da herança; O código genético e a síntese de proteínas; Eletrostática: Eletricidade estática; Circuitos elétricos; Pilhas e baterias (celas galvânicas); Oxidantes e redutores; Eletromagnetismo; Eletrólise; Genética e biotecnologia na atualidade; Acústica e Nanotecnologia.

O **LD4** dispõe de 12 capítulos, a saber: Química ambiental; Fundamentos de Química Orgânica; Reações orgânicas; Bioquímica; Calor e temperatura; Dilatação térmica; Propagação do calor; Calorimetria; Estudo dos gases; Termodinâmica, Máquinas térmicas, Termoquímica – reações exotérmicas e endotérmicas; Biodiversidade; Impactos ambientais; Conservação, preservação e sustentabilidade.

Com relação ao **LD5**, temos uma estrutura composta por 8 capítulos, são eles: Introdução às transformações químicas; A massa muda? Conservação da matéria; Evitando desperdício nas reações: Química Verde; Ligações químicas e interações entre átomos; Interações intermoleculares; Calor, temperatura e propriedades térmicas dos materiais; Leis da Termodinâmica e máquinas térmicas e Armazenando energia elétrica.

No **LD6** contamos também com 12 capítulos, sejam eles: Do místico ao racional; A produção do conhecimento científico; A Ciência moderna; Formação do Universo;

Organizando a matéria; Organização dos elementos químicos; A Terra no Universo; Teorias sobre a origem da vida; Os astros no Universo; Movimentos na Terra; A vida na Terra e Substâncias e misturas.

Já o **LD7** conta com apenas 6 capítulos, são eles: O mundo que nos cerca: do que a matéria é feita; Energia e movimento; Calor é energia; Vida e energia; As transformações ao nosso redor e Reciclagem e transformação de matéria e energia nos seres vivos.

Sobre o **LD8**, contamos com uma organização de 10 capítulos, a saber: Cosmologia; A formação dos átomos; Evolução estelar e o Sistema Solar; A química da vida; Origem e evolução da vida na Terra; Evolução humana; Populações e comunicações; Processos Metalúrgicos Extrativos; Leis de Newton, máquinas simples e dinâmica do movimento circular e Equilíbrio.

De acordo com o conteúdo descrito nos livros didáticos é possível constatar a diluição de conteúdos no que tange a elaboração dos livros didáticos no PNLD 2020. Para Souza (2020):

...as obras de projetos integradores não contemplam a complexidade de conteúdo de cada eixo disciplinar das ciências da natureza. “A compreensão de cada nível de organização da vida é indispensável para a biologia. O conhecimento das diferentes manifestações da matéria é vital para que possamos avaliar as diferentes substâncias químicas que nos cercam”, lista. E exemplifica: “Os fenômenos físicos que regem nosso dia a dia precisam ser compreendidos para combatermos falas incoerentes sobre teorias científicas.

Além disso, a exclusão das disciplinas da grade curricular provoca uma desvalorização do trabalho docente especializado e ao ensino e aprendizado de conceitos científicos, visto que a formação e ensino envolvendo a aprendizagem de conceitos científicos na escola se dá por meio dialógicos estruturados a partir de sujeitos que ocupam lugares diferentes e historicamente referenciados pelos significados atribuídos ao currículo (LIMA; AGUIAR JÚNIOR; CARO, 2011), fator inviabilizado diante dessa reconfiguração. Branco e Zanatta (2021) apontam que esse reducionismo pode comprometer o Ensino de Ciências, visto que distancia conteúdos sistematizados e organizados a um segundo plano, ou seja, foram suprimidas e descaracterizadas, por força da lei (13.415/2017), alguns componentes curriculares considerados essências para a formação humana dos estudantes, entre eles a Química.

Assim sendo, essa análise de caráter mais geral elucidada quais livros didáticos abordam o conceito de entropia, além de esclarecer que a Química se apresenta não mais dentro de um material específico de sua área, mas como uma subcategoria da área de Ciências da Natureza e suas tecnologias, conforme sugerido na BNCC para o Ensino Médio. Esse rearranjo, sugere que

ela perca sua especificidade como área do ensino e, atue apenas como um foco dentro das Ciências Naturais.

Posto isso, mais adiante, apresentamos a análise dos LD, considerando o primeiro aspecto da nossa análise, a identificação da abordagem do conceito de entropia nos livros. Assim sendo, foram considerados para a análise somente os LD 4 e LD5.

3.3.2 O conceito de entropia nos LD

Para o entendimento global da Segunda Lei da Termodinâmica, consideramos ser importante dar atenção aos conceitos que fazem parte dessa lei. Desde modo, os conceitos de entropia, energia, temperatura, trabalho e calor fazem parte do contexto teórico de estudo que leva ao seu entendimento.

Assim sendo, diante dos dados descritos na seção 3.3.1, anterior a esta, ressaltamos que apenas dois dos oito livros didáticos abordam em seu escopo o conceito de entropia (aqui identificados como LD4 e LD5), critério fundamental para a concretização da análise. A partir desse resultado, constatamos que o percentual de livros didáticos que abordam o conceito de entropia continua baixo e com as modificações exigidas pela reforma ocorrida no Ensino Médio, esse percentual sofreu reduções. O novo formato trazido pela BNCC implica na diminuição da ênfase da disciplina de Química no Ensino Médio, na redução dos conteúdos químicos nesse nível de ensino e na realocação de muitos conteúdos dessa disciplina para o Ensino Fundamental (ALVEZ; MARTINS; ANDRADE, 2021). Como exemplo dessa realocação relacionados a Termodinâmica, podemos citar as habilidades propostas pela base comum no 7º ano do Ensino Fundamental com as proposição das seguintes habilidades: (EF07CI01) Discutir a aplicação, ao longo da história, das máquinas simples e propor soluções e invenções para a realização de tarefas mecânicas cotidianas; (EF07CI02) Diferenciar temperatura, calor e sensação térmica nas diferentes situações de equilíbrio termodinâmico cotidianas e (EF07CI04) Avaliar o papel do equilíbrio termodinâmico para a manutenção da vida na Terra, para o funcionamento de máquinas térmicas e em outras situações cotidianas. Sendo assim, visto de forma fragmentada sem a devida problematização e continuidade nos anos seguintes, apenas no 7º ano e posteriormente no 2º ano do Ensino Médio.

A partir do exposto, constatamos que no LD4, de autoria de Godoy e colaboradores (2020) foi destinado uma unidade da obra à Termodinâmica. Desde modo, são explorados, de

forma ordenada, os assuntos trabalho, energia interna, a Primeira Lei da Termodinâmica, Máquinas Térmicas, transformações gasosas reversíveis e irreversíveis a Segunda Lei da Termodinâmica, Ciclo de Carnot a partir da sua representação em gráficos e fórmulas e, por fim, a entropia acompanhada da exemplificação do funcionamento de um motor a combustão interna, totalizando 14 páginas, das quais 3 são para entropia.

Apesar desse sequenciamento de assuntos desde o conceito de trabalho até se chegar na entropia, não se percebe uma conexão entre os tópicos a fim de facilitar e perceber a importância do conceito de entropia dentro dessa estrutura sequencial. Segundo Fontana e Santos (2015), são raras em livros didáticos, discussões que evidenciem a conexão entre os enunciados da Segunda Lei da Termodinâmica associados a máquinas térmicas e a própria abordagem da entropia. Os autores do LD4 explicam sobre entropia a partir de uma compreensão macroscópica e a define como desordem de um sistema, caracterizado, segundo os autores, pela tendência da espontaneamente, aumentar a desordem dos processos naturais, sem a preocupação de explicar o que vem a ser essa desordem associada a um sistema. A relação de entropia como desordem vem desde os primórdios da sua definição, com Clausius, em 1965, quando o físico nomeou entropia para o consciente de uma troca reversível de energia térmica dividida pela temperatura ($dS=Dq_{(ver)}/T$) (LOMBERT, 2006, apud SANTOS, 2017).

No LD5, de Mortimer e colaboradores (2020), a discussão sobre entropia já se inicia desde a primeira página do capítulo Leis da Termodinâmica e máquinas térmicas, contido na unidade Energia. O referido capítulo explora vários assuntos, dentre ele trabalho que se caracteriza com o conceito central na discussão do capítulo, energia interna e calor. A Primeira Lei da Termodinâmica, pressão, temperatura, máquinas térmicas e a Segunda Lei. Os autores destinaram 20 páginas da obra para esse capítulo, destas, 9 estão relacionadas a entropia, a Segunda Lei da termodinâmica e aos processos reversíveis e irreversíveis.

Por mais que os autores tenham destinados subtemas para cada um desses conteúdos, em todos, é possível observar que existe uma articulação entre eles, sem isolar um do outro como se não houvesse relação entre si. Além disso, as discussões vêm acompanhadas de imagens e amostras próximos do cotidiano, a exemplo, a entropia presente no processo de queima de papel e nos estados físicos da matéria, como o derretimento do gelo.

Lembramos que nos demais livros não foram identificados a abordagem dos conceitos de entropia e espontaneidade, por esse motivo, não foram considerados para as próximas etapas

de análises envolvendo esse material. A partir da identificação da entropia, a seguir, discutimos os diferentes modos de pensar atribuídos ao conceito em estudo no capítulo dos LD.

3.3.3 Modos de pensar e falar entropia e espontaneidade presente nos livros didáticos

Como já mencionado neste estudo, os modos de pensar o conceito de entropia e espontaneidade foram apresentados por Amaral, Mortimer e Scott (2014) a partir da constituição de três zonas para esse perfil conceitual, a saber: intuitiva/animista, empírica e racionalista. Destarte, nessa seção analisamos e identificamos as zonas do perfil conceitual de entropia e espontaneidade e quais níveis de compreensão relacionados a esse perfil prevalecem nessas abordagens.

Assim sendo, no LD4 a abordagem dada ao conceito tem início do capítulo sob o tema Máquinas térmicas, trazendo o exemplo de moto-perpétuo, acarretando nas transformações gasosas reversíveis e irreversíveis. Em seguida, traz a Segunda Lei da Termodinâmica, o Ciclo de Carnot e o conceito de entropia, sem estabelecer relação entre um tópico e outro. Apesar das lacunas, nota-se que essa sistematização é abordada para ancorar a definição de entropia, porém, não se leva em consideração a maioria desses conceitos-subtemas, mas apenas o de reversibilidade e irreversibilidade. Alguns estudos apontam que considerar apenas a relação da entropia com irreversibilidade dos fenômenos é um dos entraves do ensino da Termodinâmica, pois não leva à compreensão do conceito (SANTOS; et al., 2017 *apud* LAMBERT, 2006).

Além disso, para Santos (2009), a Segunda Lei da Termodinâmica nos livros didáticos se dá são majoritariamente em termos de irreversibilidade das trocas de calor ou da impossibilidade de uma máquina térmica transformar todo calor que recebe em trabalho. Mas quando tratam da entropia de forma específica, existe uma descontinuidade entre os enfoques principais: o primeiro relacionado a irreversibilidade dos processos físicos e químicos no qual se faz a menção de que existe um conceito que expressa essa irreversibilidade, a entropia. O segundo relacionado a uma tentativa de realizar um tratamento microscópico a partir de elementos estatísticos. Assim, no subtema entropia, no primeiro trecho analisado, ao falar sobre o conceito o livro traz:

Quadro 18: LD4 trecho 1

*Essa tendência de os sistemas buscarem os níveis mais baixos de energia e, conseqüentemente, de ordenação, recebe o nome de **entropia**, sendo uma propriedade dos sistemas, caracterizada pela tendência de, espontaneamente, aumentar a desordem nos processos naturais (p.110).*

Fonte: Godoy, et al., (2020)

Nesse ponto, a entropia torna-se uma grandeza com a definição imprecisa. Ao tratar entropia a partir desta definição, os autores mobilizam ideias da zona empírica do perfil conceitual em estudo, visto que valores atribuídos a entropia representando uma medida de desordem e processos espontâneos que ocorrem quando há alguma evidência para o aumento da entropia (AMARAL; MORTIMER; SCOTT, 2014). Mesmo tendo ganhado a interação do formalismo matemático a partir de uma ótica macroscópica, esse modo de pensar também remete a condição de um sistema (aumento da desordem) sem necessariamente estar vinculada ao formalismo matemático (GUIMARÃES, 2018), como no caso do LD.

Além disso, ao ilustrar exemplos sobre entropia e suas configurações possíveis com o intuito de demonstrar que certas transformações só ocorrem num sentido, o livro traz a imagem de cartas de baralho e descreve no trecho 2, a seguir:

Quadro 19: LD4 trecho 2

Por exemplo, considere um baralho no qual suas cinquenta e duas cartas estejam ordenadas por naipe e por valores. Embaralhando-as de maneira a desorganizar todas as sequências anteriores (e sem vê-las), elas irão se distribuir ao acaso. É possível refazer o processo de embaralhamento de forma a colocar as cartas novamente na sequência anterior? Apesar de não ser impossível, a probabilidade é extremamente pequena, se aproximando, no limite, de zero (p. 110).

Fonte: Godoy, et al., (2020)

Ou seja, quanto mais bem embaralhado mais difícil se torna a recuperação da ordem inicial. Gregio (2016) explica que em casos como esse e como em todas as analogias entre o mundo macroscópico e os fenômenos envolvendo átomos e moléculas existem limitações. Para o mesmo autor: “A forma de contagem de configurações possíveis das cartas do baralho, leva em conta que estas são distinguíveis uma das outras, no entanto, para gases, líquidos ou sólidos as partículas constituintes não são a princípio identificáveis uma a uma” (p.45), portanto, não favorece o desenvolvimento de uma linguagem mais precisa e qualificável para a relação entropia-desordem.

Essa constatação corrobora com alguns estudos que analisaram livros didáticos do Ensino Médio (ALMEIDA, 2015; SANTOS; et al., 2017) que conceituam entropia como uma grandeza termodinâmica que mede o grau de desordem de uma sistema, ao passo que esclarecem que embora a organização desses instrumentos tenha mudado, a abordagem dedicada ao conceito de entropia foi preservada, demonstrado que as múltiplas ideias que se referem a ele continuam não sendo discutidas. Na descrição do LD4, exposta no quadro 20, temos:

Quadro 20: LD4 trecho 3

Isso significa que as transformações naturais sempre levam a um aumento da entropia do Universo. Ela não é a medida do grau de desordem do universo, mas quanto mais desorganizado ele for, maior sua entropia (p. 110).

Fonte: Godoy, et al., (2020)

Ou seja, entropia é apresentada como a própria desordem. O formalismo matemático fica evidente durante a abordagem do Ciclo de Carnot e Máquinas Térmicas, ambos abordados antes da entropia. Para essas seções os autores trazem gráficos para o Ciclo de Carnot e fórmulas para o cálculo da conservação de energia e o rendimento de uma máquina térmica a partir das fórmulas, indícios da zona empírica do perfil conceitual de entropia e espontaneidade. A seguir, no quadro 21, temos um exemplo dessa representação.

Quadro 21: LD4 trecho 4

$$\tau = Q_1 - Q_2$$

$$\eta = \frac{\tau}{Q_1}$$

$$\eta = \frac{\tau}{Q_1} \Rightarrow \eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

Fonte: Godoy, et al., (2020)

Apesar da presença das equações, não há nenhuma aplicação ou exemplo concreto quanto ao uso e resolução desses problemas, indícios da compreensão formalista do perfil conceitual de entropia e espontaneidade e da presença de um ensino tradicional. Lima, Aguiar Júnior e Caro (2011), analisando livros didáticos, afirmam que a prática corrente e tradicional no Ensino de Ciências incide em apresentar um conjunto de definições, seguidas de alguns exemplos, um conjunto de exercícios, com poucas variações entre eles, para fixação do exercício.

Com relação ao LD5, a discussão sobre entropia tem início a partir de uma abordagem histórica, na qual é estruturado a razão $\frac{Q}{T}$, entre o calor Q e a temperatura T, que se constituía como uma nova propriedade de um sistema que Clausius denominou entropia. Os autores explicam que a escolha por esse nome se deu em virtude do seu significado grego se referir “transformação em um ambiente fechado” (aspas dos autores). O texto segue com discussões

apresentando as demais propriedades que constituem a equação da entropia. No trecho 5, exposto no quadro 22, temos:

Quadro 22: LD5 trecho 1

(...) sua entropia varia de uma quantidade ΔS por: $\Delta S = \frac{Q}{T}$. Portanto, em processos reversíveis, a variação de entropia de um sistema positivo quando ele recebe calor ($\Delta S < 0$). Clausius demonstrou que, na máquina térmica ideal de Carnot, mostrada na figura 7.19, a diminuição da entropia da fonte quente deve ser igual ao aumento da entropia da fonte fria, de modo que a soma total das variações de entropia é nula, ou seja: $\Delta S = -\frac{Q_q}{T_q} + \frac{F_q}{T_f} = 0$. Assim, em uma máquina térmica ideal e reversível, funciona com dois reservatórios de calor, quente e frio, temos $\frac{Q_q}{T_q} = \frac{Q_f}{T_f} = 0$ (p. 126).

Fonte: Godoy, et al., (2020)

A partir do exposto acima, observamos que o conteúdo é explicado em forma de compreensões empíricas do conceito quando faz uso da expressão de variação de entropia, além do formalismo matemática para a equação que calcula o valor da entropia. Essa expressão está associada a uma variação de entropia maior que zero em processos espontâneos. Em seguida, os autores trazem o tópico sobre o tema Segunda Lei da termodinâmica, com a seguinte conceituação destacada no quadro 23 seguir.

Quadro 23: LD5 trecho 2

A segunda lei da Termodinâmica estabelece que a entropia total de um sistema isolado nunca pode diminuir ao longo do tempo. A variação da entropia total será nula se os processos forem reversíveis e maior do que zero se os processos forem irreversíveis (p.126).

Fonte: Mortimer, et al., (2020)

Com isso, é possível observar que as explicações de cunho empiristas e formalistas apareceram com a mesma frequência no texto durante as explicações sobre processos reversíveis e irreversíveis e a relação da entropia em cada um deles. Tal fato é observado no trecho 3, descrito no quadro 24.

Quadro 24: LD5 trecho 3

É importante notar que a entropia de um sistema ou de uma parte dele pode diminuir se ele não estiver isolado. No caso da máquina ideal de Carnot, por exemplo, vimos que a entropia da fonte quente diminuiu de uma quantidade $-\frac{Q_q}{T_q}$, pois a fonte quente cedeu calor para a máquina. Essa diminuição da entropia da fonte quente não viola a segunda lei da Termodinâmica, pois a fonte quente não é um sistema isolado (p.127).

Fonte: Mortimer, et al., (2020)

Verificamos expressões ligadas a zona racionalista, compreensão teórica do perfil conceitual em, estudo na associação do conceito de entropia com a expansão dos processos reversíveis e irreversíveis a partir da expressão $\Delta S = \frac{Q}{T}$, o que remetem a entropia como uma função de estado que dependem do estado inicial e final, indícios de que os autores buscam ampliar ideias correlatas com a visão científica, assim como descrito no quadro 25.

Quadro 25: LD5 trecho 4

De acordo com a segunda lei da Termodinâmica, sabemos que a entropia aumenta em um processo irreversível, porém não podemos calcular diretamente a variação da entropia. Podemos, no entanto, determinar essa variação se considerarmos um processo reversível cujos estados inicial e final sejam os mesmos do processo irreversível. Uma vez que a entropia S é uma variável de estado termodinâmico, ou seja, que tem um valor para cada configuração, a entropia do estado final é a mesma, independentemente do processo, reversível ou irreversível, que levou o gás a esse estado (p. 127).

Fonte: Mortimer, et al., (2020)

Em seguida, os autores aproximam o conceito de entropia às transformações da matéria na natureza, citando exemplos como: objetos mais quentes do que o ambiente, esfriam, mas objetos à temperatura ambiente não se tornam quentes espontaneamente, copos e cascas de ovos quebradas, queima de um pedaço de papel, sempre explicando as grandezas envolvidas nesses processos a partir da espontaneidade, evidências da zona empírica. Além disso, esses elementos de contextualização nos exemplos dados pelo LD5 normalmente são apresentados como um recurso didático que utiliza o discurso cotidiano e como possibilidade de aproximar o conteúdo estudado com o cotidiano do aluno (BRAGA; MORTIMER, 2008). Em seguida, vem a articulação do conceito de entropia como desordem, descrita no quadro 26.

Quadro 26: LD5 trecho 5

“A ideia de desordem pode ser utilizada para caracterizar variações de entropia quando comparamos os arranjos atômicos e moleculares de uma mesma substância nos estados sólido, líquido e gasoso. A ideia de desordem pode ser utilizada para caracterizar variações de entropia quando comparamos os arranjos atômicos e moleculares de uma mesma substância nos estados sólido, líquido e gasoso” (p. 33).

Fonte: Mortimer, et al., (2020)

Há de se notar que o termo desordem para entropia vem acompanhado da preocupação de explicar o que vem a ser essa desordem, exemplificada a partir de situações cotidianas e pelo uso de expressões matemáticas e gráficos, características da zona empírica. A partir dessa abordagem, os autores finalizam a abordagem destinada ao conceito de entropia.

Diante do exposto, entendemos que o nível de compreensão empírico e formalista prevalecem nas abordagens feitas no corpo dos LD4 e LD5 em detrimento das abordagens racionalistas e intuitivas, a última não evidenciada durante a análise. Os níveis de compreensão foram propostos para as principais concepções de entropia e espontaneidade dos processos físico-químicos, encontrados a partir do contexto histórico e na sala de aula, por Amaral (2004). A autora explica que esses níveis podem expressar uma discussão mais ampla acerca de concepções que podem ser identificadas com outros conceitos. Dessa forma, quando nos referimos a um determinado nível de compreensão ou abordagem, estamos considerando, por exemplo, quando professores e/ou discentes discutem definições termodinâmicas de universo está sendo considerado um contexto mais amplo de ideias, tal como o teórico e o empírico, nesse caso específico, o empírico.

Destacamos que nossa intenção com esta análise foi mostrar, balizados em Amaral, Mortimer e Scott (2014), que cada nível de compreensão do perfil conceitual de entropia e espontaneidade parecem estar mais relacionados a alguns aspectos discursivos que compõe o livro didático que outros. Assim sendo, consideramos que no LD4 há uma predominância do nível de compreensão empírica formalista, visto que traz aspectos da zona empírica e da antiga zona formalista, ambas integradas. No caso do LD5, consideramos que a predominância da compreensão empírica, articulada em alguns momentos do formalismo matemático. Desde modo, que ambos os livros não consideram a equação de Boltzmann e interpretação para a dispersão de energia do sistema, fato que exige maior esforço para a compressão da relação entropia-probabilidade. Assim, podemos situar os dois livros didáticos quanto a abordagem do conceito de entropia numa compreensão empírica formalista. Assim, como feito por Mortimer (1997) quando afirmam a partir de sua análise em livros didáticos de Bioquímica, que estes explicam de forma substancialista que energia é liberada quando uma ligação P-O é quebrada numa molécula de ATP.

Assim, como previamente elencado neste estudo realizamos uma análise intertextual e interdiscursiva dos discursos presentes nos livros didáticos, na próxima seção.

3.3.4 Análise intertextual e interdiscursiva dos LD

Nessa seção, apresentamos os resultados das análises intertextuais e interdiscursivas. Destarte, ressaltamos que inicialmente buscamos realizar uma apreciação a nível microsocial, cujo o objetivo está em descrever as escolhas discursiva dos autores, e o macrossocial com o

intuito de interpretar essas escolhas tendo como base a prática social na qual esses discursos estão presentes.

O termo intertextualidade é apontado no dicionário online como *“influência de um texto sobre outro que o toma como modelo ou ponto de partida, e que gera a atualização do texto citado.”* Portanto, na ideia da recontextualização um texto pode estar sujeito, nesse caso, o texto do livro didático, a influência de outros gêneros para sua constituição. Com isso, assim como considerado por Martins (2006) e Pinhão (2010), nossa análise se deu em virtude da categoria de representação discursiva, aos movimentos de reelaboração discursiva e a relação estabelecida entre eles o gênero discursivo do texto fonte. O texto fonte diz respeito ao texto que os autores usam como base para a constituição do novo gênero discursivo.

Pinhão (2010) explica que o texto fonte, ao ser usado para compor o texto do livro didático, pode ser representado de maneira direta ou indireta. A primeira está relacionada ao uso de citações, a segundo pela representação de paráfrases. Para a representação discursiva, é considerado o uso de reelaborações discursivas que podem envolver o apagamento ou a inclusão de informações, além da modificação no tempo verbal, uso de sinônimos, entre outros pontos. “Estas marcas textuais auxiliam na identificação e interpretação dos movimentos discursivos usados no processo de didatização” (p. 86). Macedo (1998) reconhece que não basta haver modificações ou centralidade nos conteúdos abordados a fim de atender as demandas sociais, mas há de considerar igualmente importante a estrutura do texto, o tipo de conhecimento que está sendo privilegiado.

A partir do exposto, focamos esta análise na abordagem da Segunda Lei da Termodinâmica e, de forma específica, no conceito de entropia. Assim sendo, o Quadro 17 orienta a discussão dos trechos do LD4.

Quadro 1: Representação discursiva LD4

Estratégia discursiva	Pesquisador	Trecho do livro
Representação discursiva indireta: paráfrase	Emanuel Clausius	Em 1850, o físico alemão Rudolf Julius Emanuel Clausius (1822 – 1888) publicou um artigo sobre a teoria mecânica do calor, no qual expôs pela primeira vez, as ideias básicas que deram origem à Segunda lei da Termodinâmica, que afirma: “É impossível para uma máquina auto atuante, sem auxílio de um agente externo, transferir calor de um determinado corpo a outro de maior temperatura” (p.107).

Representação discursiva indireta: paráfrase	Lord Kelvin e Max Planck	Os físicos Lord Kelvin (1824 – 1907) e Max Planck (1858 – 1947) propuseram outro enunciado para a Segunda lei da Termodinâmica: É impossível que uma máquina térmica, operando em ciclos, tenha como único efeito a transformação integral de calor em trabalho.
Representação discursiva indireta: paráfrase	Léonard Sadi Carnot	Em 1824, o engenheiro francês Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796 – 1832) demonstrou que uma máquina térmica idealizada que funcionasse entre duas fontes térmicas de temperaturas diferentes e que seguisse determinada sequência de transformações gasosas teria o máximo rendimento.

Fonte: Godoy, et al., (2020)

Com observado do Quadro 27, Emanuel Clausius, por exemplo, é trazido de forma explícita. O foco de estudo está na questão histórica como contribuição para o entendimento acerca do surgimento das Máquinas térmicas e do enunciado da Segunda Lei da Termodinâmica. Do mesmo modo, na paráfrase que cita Lord Kelvin e Max Planck é reforçado a ideia da construção histórica referente ao desenvolvimento e consolidação da Segunda Lei, dando continuidade de uma narrativa que esclarece os diferentes enunciados que essa lei teve. Tal fato pode se constituir como elemento importante para que o professor explore e enfatize as diferentes definições dadas a lei até chegar ao conceito de entropia, visto que alguns estudos demonstram que esse ponto contribui para a dificuldade de se compreender esse conceito. Na paráfrase de Léonard Sadi Carnot observamos a presença da mesma tendência história acrescida da apresentação do Ciclo de Carnot a partir da representação de imagens em gráficos e o formalismo matemática atrelado ao ciclo.

A mesma valorização histórica é observada no livro didático LD5, apresentado no Quadro 18. Nele, os autores também seguem uma ordem que dá ideia cronológica de como foi constituído o arcabouço teórico e prático para a Segunda Lei.

Quadro 2: Estratégias discursivas LD5

Estratégia discursiva	Pesquisador	Trecho do livro
		Sadi Carnot (1796-1832), filho de Lazare, deu continuidade aos estudos do pai e publicou em 1824 o livro <i>Reflexões sobre a potência motriz do fogo</i> . Nesse trabalho Sadi Carnot propôs um sistema que corresponderia ao mecanismo ideal de

Representação discursiva indireta: paráfrase	Sadi Carnot	conversão de calor em trabalho, ou seja, o de maior eficiência possível. Essa máquina térmica ideal, que não teria nenhuma imperfeição de uma máquina real, operaria apenas com dois reservatórios de calor, um a uma temperatura quente TQ (por exemplo, uma caldeira com vapor de água a 100 °C), e o outro a uma temperatura fria TF (por exemplo, o ar ambiente), como esquematizado na figura 7.19 (p. 124).
Representação discursiva indireta: paráfrase	Rudolf Clausius	Um grande avanço na compreensão da eficiência das máquinas térmicas se deu com os trabalhos do físico e matemático alemão Rudolf Clausius (1822-1888), que correspondem a um dos pilares da Termodinâmica (p. 129). Clausius constatou que a razão $\frac{Q}{T}$ entre o calor Q e a temperatura T era, de fato, um novo tipo de propriedade de um sistema, à qual associou uma variável que chamou de entropia . Clausius escolheu esse nome, que em grego significa “transformação em um ambiente fechado”, e a letra S para designar essa grandeza. Assim, se um corpo a uma temperatura T recebeu uma certa quantidade de calor Q, sua entropia varia de uma quantidade ΔS dada por: $\Delta S = \frac{Q}{T}$ (p. 129).

Fonte: Mortimer, et al., (2020)

Como observado no quadro 28, os textos parafraseados reforçam a ideia de construção do conhecimento. Esses trechos se diferem das citações por se constituírem a partir de um discurso reformulado e não a constituição ou representação exata da fala dos autores citados, por este motivo, se caracteriza como uma representação discursiva indireta (MOREIRA; MARTINS, 2015).

Assim, Sadi Carnot é citado de forma explícita no texto a partir de uma representação histórica para a formulação da Segunda Lei da Termodinâmica. Desde modo, no trecho, foi valorizado sua contribuição para processo de construção de uma máquina térmica ideal. Na paráfrase acerca das contribuições de Rudolf Clausius é reforçado o arcabouço teórico por trás na constituição de uma máquina térmica que obtivesse maior rendimento até a primeira formulação do conceito de entropia, reconhecendo, a contribuição desses dois autores para sua definição.

Destarte, há um reconhecimento histórico envolvendo dois nomes importantes para a definição de entropia, no entanto, o desenvolvimento até o conceito que conhecemos hoje ou como se chegou a associação do termo desordem não foi considerada. O conjunto de intertextos

apresentados nos quadros 27 e 28 evidencia pontos acerca da construção do conhecimento, compreendendo sentidos que destacam aspectos históricos.

Além das estratégias discursivas identificados no livro do professor, não observamos mesmo se tratando de livros de didáticos que representam o manual do professor características ou mescla de vozes entre os autores do livro e outros autores que possam trazer contribuições no sentido de orientador o professor a partir do uso de correntes teóricas, ou seja, reelaboraões discursivas entre eles o gênero discursivo de texto fonte. Vale ressaltar, que não observamos a presença de representações discursivas diretas nos livros aqui analisados.

3.3 Resultado da Terceira Etapa- Programas disciplinares

Para fins de organização desta etapa da pesquisa, a análise foi construída em três momentos diferentes. O primeiro dialogando apenas com a ementa da disciplina, apresentando os pontos centrais do componente curricular. O segundo momento diz respeito aos objetivos traçados pelos professores para os licenciandos. E por último discutiremos sobre os conteúdos programados no decorrer do programa. Os programas disciplinares podem ser compreendidos como uma espécie de organização pela qual se projeta os conteúdos, estratégias e tempo dedicado a cada conteúdo dentro de uma disciplina acadêmica. Assim sendo, se constituem como importante recurso para o planejamento do professor e dos alunos para o decorrer de todo o curso, assim como para a apreciação do que é e como é considerado na disciplina.

Desde modo, destacamos que neste estudo analisamos dois programas disciplinares de Físico-química I. Os programas são de professores atuantes em cursos de licenciatura em Química que ministram a disciplina de Físico-química com carga horário de 60h, em universidades federais distintas, PU1 (Professor Universitário 1) e PU2 (Professor universitário 2). Vale ressaltar, que aqui não nos propomos a fazer comparações entre os professores, mas analisar cada programa levando em conta aspectos relacionados a abordagem do conceito de entropia no Ensino Superior.

3.3.1 Programa disciplinar 1

Inicialmente analisamos o programa disciplinar 1. A ementa se constitui como uma espécie de resumo dos conteúdos que disciplina pretende discutir. Na Figura 2, segue a ementa do programa.

Figura 2: Programa disciplinar 1

EMENTA
Gases: Equação de Clayperon, Equação de van der Waals e Equação de Virial. 1ª lei da termodinâmica e termoquímica, 2ª e 3ª leis da termodinâmica. Energia Livre de Gibbs. Energia Livre de Hemholtz. Fugacidade e coeficiente de fugacidade dos gases. Experimentos relacionados ao conteúdo.

Fonte: Disponível em anexo 3 a representação do programa disciplinar

Observando a Figura 1, entendemos a ementa se propõem a discutirem as Três Leis da Termodinâmica. A ementa 1 (correspondente a PU1) trata de forma específica das Equação de Clayperon, Equação de Van der Waals, Equação de Virial, Energia Livre de Gibbs, Energia Livre de Hemholtz. Fugacidade e coeficiente de fugacidade dos gases, experimentos relacionados ao conteúdo.

Compreendemos que os conteúdos citados na ementa estão relacionados aspectos macro e submicroscópicos envolvidos nos processos físico-químicos e o estudo do conceito de entropia. Em seguida, no programa disciplinar 1 é apresentado os objetivos propostos para disciplina, na Figura 3 apresentamos a descrição desses objetivos:

Figura 3: Objetivos do programa disciplinar 1

OBJETIVOS
<p>OBJETIVO GERAL: Compreender os princípios básicos de Físico-Química I</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entender os conceitos básicos de cada assunto ministrado na Físico-Química I; • Realizar os procedimentos básicos de um laboratório de Físico-Química I.

Fonte: Disponível em anexo 3 a representação do programa disciplinar

Diante dos objetivos propostos, consideramos que a entropia possivelmente pode ser trabalhada levando em consideração parâmetros e atividades teóricos e práticos na disciplina. No entanto, quando aplicado a entrevista com o professor responsável pela disciplina, PU1, entendemos que a parte prática envolvendo o conceito acaba não sendo realizada. A

² Programa disciplinar disponível no site da universidade na qual a disciplina é ofertada. Não disponibilizado neste estudo por questões éticas.

metodologia proposta no programa disciplinar 1 sugere que há uma relação entre o que abordado teoricamente em sala de aula com a realização de atividades práticas. Contudo, a partir de uma perspectiva geral, limitada e tradicional de ensino, na descrição metodológica, conforme Figura 4.

Figura 4: Metodologia do programa disciplinar 1

METODOLOGIA
<p>A metodologia de ensino adotada para a parte teórica consiste em aulas expositivas e dialogadas presenciais, seguindo os protocolos de biossegurança, fazendo uso de recursos de vídeo, áudio e retroprojeto; durante as aulas haverá também a resolução de problemas e exercícios.</p> <p>As aulas práticas ocorrerão presencialmente no Laboratório de Química, seguindo os protocolos de biossegurança, com a realização de experimentos relacionados ao conteúdo ministrado na parte teórica, utilizando materiais de laboratório.</p>

Fonte: Disponível em anexo 3 a representação do programa disciplinar

Com relação às formas de avaliação propostos no programa disciplina 1, ocorrem mediante avaliação de desempenho de forma escrita, relatório das aulas práticas, resolução de problemas e exercícios em sala de aula e participação nas aulas, lembrando indícios de estratégias metodológicas arraigadas no ensino tradicional.

Figura 5: Formas de avaliação programa disciplinar 1

FORMAS DE AVALIAÇÃO
<ul style="list-style-type: none"> • Avaliação de desempenho de forma escrita; • Relatório das aulas práticas; • Resolução de problemas e exercício em sala de aula; • Participação nas aulas <p>A avaliação desempenho da parte teórica ocorrerá a partir de três avaliações descritas. A cada avaliação será atribuída nova de zero a sete, já que as avaliações correspondem a setenta por cento da nota final. Para o cálculo da nota final da parte teórica será feita a média aritmética das notas obtidas nas avaliações. A avaliação de desempenho da parte prática da disciplina será realizada a partir dos relatórios manuscritos de cada aula prática, que correspondem a trinta por cento da nota final da disciplina. A cada relatório será atribuída nora de zero a três. Para o cálculo da nota final da parte prática será feita aritmética das notas obtidas nos relatórios. A média final da disciplina será igual a soma das médias das partes teórica e prática.</p>

Fonte: Disponível em anexo 3 a representação do programa disciplinar

Com relação ao conteúdo programático, o programa disciplinar 1 não especifica ou detalha os conceitos trabalhados dentro de cada conteúdo descrito, por exemplo, para o estudo da Segunda Lei da Termodinâmica, não descreve quais elementos e conceitos são trabalhados

durante sua abordagem, uma vez que são destinada quatro aulas para esse tema adicionado de uma aula para o desenvolvimento de práticas, como exposto na Figura 6.

Figura 6: Conteúdo programática programa disciplinar 1

CONTEÚDO PROGRAMÁTICO
18- Segunda Lei da termodinâmica
19- Segunda Lei da termodinâmica
20- Segunda Lei da termodinâmica
21- Segunda Lei da termodinâmica
22- Aula Prática VII

Fonte: Disponível em anexo 3 a representação do programa disciplinar

A ordem crescente dos números 18 ao 22 correspondem a ordem a qual a Segunda da Termodinâmica é abordada no curso por PU1. Sendo assim, compreendemos que 5 aulas dedicadas para sua abordagem, cada aula de 50min contendo um aula prática. A partir dessa descrição, não se pode inferir o momento específico e quantidade de aulas que são dedicadas ao ensino do conceito de entropia, conceitos ou conteúdos a ele articulados, tampouco os modos de pensar e os níveis de compreensão do perfil conceitual de entropia e espontaneidade a qual este conceito pode ser relacionado nas aulas.

A seguir, na seção 3.3.2 apresentamos de forma mais detalhada a estrutura do programa disciplinar 2.

3.3.2 Programa disciplinar 2

Na Figura 7, apresentamos a ementa referente ao segundo programa disciplinar analisado.

Figura 7: Ementa programa disciplinar 2

EMENTA
Esta disciplina destina-se ao estudo da Termodinâmica. Tratando dos tópicos: as leis da Termodinâmica; As principais funções de estado termodinâmicas e suas relações com o Equilíbrio Químico.

Fonte:³ Disponível no anexo 4 a representação do programa disciplinar

³ Programa disciplinar disponível no site da universidade na qual a disciplina é ofertada. Não disponibilizado neste estudo por questões éticas.

Os conteúdos propostos na ementa do programa disciplinar 2 correspondem as leis da termodinâmica, suas principais funções e suas relações com o Equilíbrio Químico. Tal fato nos leva a compreender que o ensino do conceito de entropia, pois se propõe ao estudo da Segundo Lei e suas principais funções e a entropia se caracteriza como uma grandeza termodinâmica fundamental, pois está relacionado a transformação da matéria e pode explicar os fenômenos entre eles a diluição de sais em água, mudanças de estado físico, o enferrujamento de um portão, a (ir)reversibilidade de reações químicas, etc. (AMARAL, 2004), e sua importância para compreender fenômenos importantes a partir de seus aspectos energéticos (AMARAL; MORTIMER, 2004).

O programa disciplinar não trouxe ou descreveu na sua estrutura os objetivos e metodologias traçados. Esse fato pode estar relacionado ao modelo padrão adotado pelo colegiado ao qual esse programa e o professor responsável pela disciplina fazem parte. Sendo assim, a próxima seção descrita neste programa é o conteúdo programático da disciplina, apresentado na Figura 8.

Figura 8: Conteúdo programa disciplinar 2

CONTEÚDOS
UNIDADES E ASSUNTOS
2 – A Segunda e a Terceira Lei da termodinâmica 2.1 Processos espontâneo e a dispersão de energia 2.2 Entropia: Definição estatística; definição termodinâmica 2.3 Entropia como função de estado: a desigualdade de Clausius 2.5 As Equações Fundamentais da Termodinâmica 2.6 Propriedades da energia de Gibbs: Dependência com a Temperatura e Pressão; fugacidade, potencial químico.

Fonte: Disponível em anexo 4 a representação do programa disciplinar

A partir da observação e análise da Figura 8, conseguimos visualizar as possibilidades de ensino e aprendizagem propostas para o conceito de entropia neste programa, considerando além da sua definição estatística e termodinâmica a sua relação com outros conceitos importantes, como pressão, temperatura e a energia de Gibbs. Gibbs trabalhou por muitos anos em estudos sobre o conceito de entropia proposto por Clausius, e contribuiu de forma relevante para sua compreensão como uma propriedade termodinâmica tão importante quanto a temperatura, a energia, o volume e a pressão (LAIDLER, 1998, *apud* AMARAL, 2017).

Com base no exposto em unidades e assuntos do programa disciplinar 2, entendemos que possivelmente podem estar sendo mobilizados diferentes definições para entropia, visto que o programa disciplinar 2 se propõe a discutir as definições estatística e termodinâmica do conceito, além da entropia como função de estado. Nos dando a ideia, portanto, de haver mobilizações de diferentes modos de pensar esse conceito a partir dos diferentes níveis de compreensão propostos por Amaral (2004), a saber: intuitivo/perceptivo, empírico e racionalista.

A partir do exposto, é possível observar que a Segunda e Terceira Lei da Termodinâmica são abordadas na mesma unidade, bem como o conceito de entropia e sua definição estatística e termodinâmica, como função de estado a partir dos estudos de Clausius. Com isso, entendemos que é considerado para o ensino da entropia desde uma perspectiva macro até a microscópica, possibilitando até a uma compreensão mais aprofundada para entropia.

Diante dessa descrição, não se pode inferir o momento e quantidade de aulas dedicadas ao ensino e a aprendizagem do conceito de entropia nas aulas de PU1 e PU2. No entanto, há de se notar que em ambos os programas, a Segunda Lei é abordada mais ou menos no mesmo período, posterior a Primeira Lei.

3.4 Resultado da quarta Etapa- Entrevista semiestruturada

Partindo da premissa de que o professor, em sala de aula, pode apresentar um discurso heterogêneo, utilizando diferentes modos de falar em sala de aula, e que sua ação mediadora tem forte influência no processo de conceituação, apresentamos nesta etapa os resultados da aplicação de uma entrevista semiestruturada com dois professores de Físico-química, ambos de cursos de licenciatura em Química, de universidades distintas.

Buscamos, com esses resultados: (i) levantar o perfil dos sujeitos; (ii) compreender como o conceito de entropia é abordado e mobilizado no Ensino Superior; (iii) compreender a partir do papel mediador do professor possibilidades e limitações para a compreensão do conceito de entropia pelos licenciandos; e (iv) mapear as zonas do perfil conceitual de entropia e espontaneidade na fala dos professores entrevistados. Assim, a partir de uma visão geral, sinalizamos que os dois professores lecionam a disciplina de físico-química, PU1 (Professor universitário 1) possui cinco anos de experiência profissional, enquanto PU2 trinta e cinco anos. No caso do primeiro, os cinco anos de experiência são no Ensino Superior ministrando a

disciplina de Físico-química, hoje, ministra também a disciplina de inglês instrumental. Segundo professor PU2 dentro dos trinta e cinco anos, possui experiência no Ensino Médio, curso técnico e Ensino Superior, hoje, além da físico-química, ministra também aulas de Química Quântica. Na seção a seguir, apresentamos e discutimos os resultados alcançados a partir da entrevista com PU1 (Professor Universitário 1).

3.4.1 Análise das respostas do professor PU1 na entrevista

No Quadro 29, ilustramos o resultado da aplicação da entrevista semiestruturada com o PU1.

Quadro 29: Resultado da entrevista-PU1

Perguntas	Respostas
1- A quantos anos você leciona no Ensino Superior?	Comecei aqui em julho de 2017 e estou até hoje, um total de 5 anos contando com 3 meses que fui substituído em outra universidade.
2- Antes desse período (como professora do Ensino Superior), quais suas outras experiências com a docência?	Eu só fui substituído também no Ensino Superior na Universidade Federal do Ceará e só por 3 meses.
	<u>PESQUISADORA:</u> Lecionando quais disciplinas? Sempre físico-química
3- Qual sua formação acadêmica (graduação e pós-graduação)?	Bacharelado em Química pela UFC, mestrado em Química pela UFC e doutorado em Ciências, na verdade porque o da USP é de Ciências, doutorado em Ciências com habilitação em físico-química pela USP de São Carlos.
4- Há quanto tempo leciona a disciplina de Físico-química I? Leciona outras disciplinas?	Desde 2017. Leciono também inglês instrumental. Sou a professora responsável pelas 3 disciplinas de Físico-química.
5- Em que disciplina de FQ você aborda o conceito de entropia? E que importância é dada ao ensino desse conceito?	Bem, o conceito de entropia, ele vem na disciplina de FQ1, tá? Como eu falei a gente tá finalizando a Primeira Lei da Termodinâmica tá iniciando a Segunda Lei e...a importância que é dada a esse conceito é a mesma dos outros, não tem...ele não é especial, é a mesma coisa e ele é dado da mesma forma que todos outros.

<p>6- Com que outros conceitos, a entropia é articulada? E como esse conceito é abordado, teoricamente, com exemplos práticos, ou outros? Você poderia dar um exemplo?</p>	<p>Energia, a espontaneidade de reações, entre outros... Teorema de Clausius, Com a Segunda Lei, a terceira Lei que aí a gente vai, a partir da entropia a gente já vai ver a equação fundamental da termodinâmica que já vai ter entropia, entalpia e energia de livre de Gibbs junto e temperatura.</p> <p>Então, os exemplos que eu mais uso que você pode ter visto nas aulas lá, é associar entropia como se fosse a desordem, né? Aquele conceito de desordem, de bagunça mesmo. Então normalmente eu uso exemplos do dia a dia dos alunos, é ... quando a entropia... O que é mais espontâneo de aparecer? A sua casa arrumada ou desarrumada? O seu cabelo, o que é espontâneo de acontecer? Fica arrumado espontaneamente ou desarrumado? Então normalmente aí eles vão respondendo... fica desarrumado. Então por isso, como a entropia a gente pode associar a esse... a desordem, a bagunça, então realmente a gente ta vendo no nosso dia a dia pode ver associado. A entropia do meu cabelo normalmente aumentou, a entropia da mesa da minha casa normalmente a entropia tende a aumentar, nessa vibe.</p> <p>PESQUISADORA: quando se fala em exemplos práticos do dia a dia, além da desordem, a quais outros exemplos o conceito de entropia pode estar relacionado</p> <p>O mais comum é a desordem, a gente sempre se refere a entropia como desordem ou sinônimos, mas também pode estar relacionada a quebra de objeto que está na minha mesa que aumenta a entropia porque aumenta a desordem, a bagunça.</p> <p>PESQUISADORA: Como você descreveria a relação entre espontaneidade e entropia?</p> <p>É condição que leva a ocorrência de um fenômeno, não tem muita coisa.</p>
<p>7- Quais os principais recursos teóricos e práticos usados durante as aulas que tratam do conceito de entropia?</p>	<p>A atividade prática de entropia eu não realizo, tá? E... recurso teórico é mais o slide, eu uso muito o livro do Castellan e Atkins um pouco, mas é basicamente isso, é exemplos dados na aula, não vai para uma prática não.</p> <p>PESQUISADOR: Quais motivos ou dificuldades que levam a não realização de atividades práticas que envolva o conceito de entropia?</p> <p>Os alunos possuem dificuldade em entender a abordagem em sala de aula, fica difícil levar para uma atividade prática.</p>
<p>8- Ao dar início às aulas que tratam da Segunda lei da Termodinâmica, você procura conhecer as principais concepções expressadas pelos discentes? Se afirmativo, que concepções prévias os discentes apresentam? Isto é, quais concepções referentes ao conceito de entropia eles trazem das suas experiências advindas do Ensino Médio ou outras experiências?</p>	<p>Não, então...O Ensino médio de São Raimundo Nonato é muito ruim quando se trata de Química. Então... é... os alunos não têm base de termodinâmica, do que é energia, do que é entropia, do que é... Não, não tem, tá?</p>

<p>9- Quanto as aulas práticas da disciplina de Físico-química I, quais são os experimentos relacionados a mobilização/estudo do conceito de entropia? Quais as principais dificuldades sentidas pelos discentes?</p>	<p>Não tem aula prática de físico-química, a última aula que eu dou é da lei de Hess, acabou aí, não tem mais aula prática envolvendo entropia ou Energia Livre de Gibbs.</p>
<p>10- Para você, qual a importância de compreendermos as propriedades da entropia?</p>	<p>Cara, é importante porque tipo... quando você tá em um curso de Química e tá fazendo físico-química você vê entropia nas outras disciplinas também, então, tipo é uma sequência você tem que aprender bem o conceito na FQ1 para você continuar aplicando na 1, na 2 e na 3.</p>
<p>11- Como você utiliza o conceito de entropia no contexto acadêmico, em conversas, colaboração em projetos ou pesquisas com seus pares? (Por exemplo, em atividades da pós-graduação) As abordagens feitas em diferentes contextos são diferentes da forma com que você ensina para seus alunos na graduação?</p>	<p>Então... é difícil você conversar sobre entropia com seus pares, mas caso isso aconteça vai acontecer numa linguagem não tão diferente da que é abordada em sala. Claro que na sala a gente tenta fazer de uma linguagem mais fácil usando esses exemplos cotidianos para ajudar e com... você conversando com seus pares você não vai usar desse tipo de exemplo banal, digamos assim. Você vai tratar de entropia de forma é... mais formal digamos, mas não é tão diferente.</p> <p>PESQUISADORA: Como seria uma maneira formal de se falar de entropia?</p> <p>Como eu acabei de falar dificilmente isso vai acontecer, não lembro de uma ocasião que eu tenha tido esse tipo de conversa, mas se tivesse a principal restrição seria o uso dos exemplos cotidianos.</p>
<p>12- Como você vê a relação do ensino da Segunda Lei da Termodinâmica e do conceito de entropia na educação básica com a reforma do Novo Ensino Médio? Justifique sua resposta.</p>	<p>Eu nem sei se ela tá incluída, muito provavelmente ela nem está incluída porque se no Ensino Médio do jeito que tá não tinha, pelo menos os alunos que chegam pra mim em São Raimundo Nonato com a Química que eles veem no Ensino Médio eles não veem esse tipo de coisa, eles não veem termodinâmica. Então, com o novo Ensino médio que a Química foi reduzida ainda mais, provavelmente nem vai ter.</p>
<p>13- Existem algumas formas diferentes de se enunciar a Segunda Lei da Termodinâmica, qual ou quais seria(m) mais comumente(s) usada(s) nas suas aulas? Justifique sua resposta.</p>	<p>Primeiramente a gente começa falar de espontaneidade, depois a gente vai dizendo porque as reações químicas acontecem, é só uma diminuição da energia é um fator que contribui? Não. Tem outro fator que contribui para uma reação espontânea, uma delas é a entropia, mais ou menos assim que se introduz entropia nas aulas de Segunda lei da Termodinâmica e sempre associado a situações cotidianos de desordem, com a bagunça, vários sinônimos para que alunos coloquem na cabeça de alguma forma.</p>
<p>14. Para você, por que é importante os discentes aprenderem sobre a entropia? Como esse conceito pode contribuir para a formação deles?</p>	<p>Pode. Eles precisam saber entropia pra poder, enfim... pra poder compreender os demais assuntos que vão vir depois, precisam aprender entropia para poder fazer a prova e tirar nota, porque a forma de avaliação é essa, é prova e relatório. Como não tem prática de entropia, então tem que conseguir fazer a lista de exercícios e a prova e é isso. Mas sim, ele aprendeu que a entropia é importante porque na FQ2, na FQ3 e ainda na continuação da 1 que vai até espontaneidade e equilíbrio, a entropia sempre volta, né? Sempre é um assunto que volta e se a pessoa não aprender o conceito lá no começo isso vai, não vai</p>

	<p>contribuir para a formação dele, né? Para eles acompanharem o resto curso.</p> <p>PESQUISADA: Como ele não viu entropia no Ensino Médio, é seu primeiro contato no Ensino Superior, você acha que pode ser um ponta pé para ele enquanto professor de química do Ensino Médio ele trabalhe o conceito de entropia em suas aulas?</p> <p>Pode ser que ele trabalhe, mas eu creio que muito difícil porque como você já falou o futuro é a reforma do Ensino Médio, não sei se vai cair, não sei se vai continuar. Mas como a reforma do Ensino Médio ele vai ver tanta coisa que eu creio que aí é que vai ficar negligenciado mesmo esse conceito, porque ele não vai ter... acaba que a organização do curso não vai permitir.</p>
<p>15- Considerando os objetivos propostas no programa disciplinar da disciplina de FQ I, que são: GERAL- Compreender os princípios básicos de FQI; ESPECÍFICOS- Entender os conceitos básicos de cada assunto ministrado na Físico-química e realizar os procedimentos básicos de um laboratório de FQI. Você considera ou compreende a partir da interação em sala de aula e das avaliações que esses objetivos são atingidos levando para a compreensão do segundo princípio da termodinâmica, mas especificamente do conceito de entropia? Justifique sua resposta.</p>	<p>Eu creio que sim. Aqui de objetivo é compreender os princípios básicos, ne? Então sim da Segunda Lei sim, eu creio que eles saibam os princípios básicos da Segunda Lei da Termodinâmica mesma forma que eles entendem os conceitos básicos e daí no laboratório o assunto entropia em si não é visto, ele se restringe a sala de aula, a teoria. Mas eu acho que sim, eles são atingidos a partir da interação, a partir das avaliações eu creio que sim.</p>
<p>16- Quais são as principais dificuldades sentidas pelos discentes durante a abordagem do conceito de entropia?</p>	<p>Acho que a dificuldade, não é bem uma dificuldade. Em todos eles têm, em todos os conceitos eles vão ter dificuldade, Físico-química é difícil, mas, por exemplo, se a gente for pensar em entropia a gente tem que pensar, por exemplo: entropia... quando eu faço, pedir para entropia aumenta aí ele associar... as vezes a questão pede o aumento de entropia, aí ele escreve a palavra aumento. A questão pede positivo ou negativo, daí associar que a entropia positiva é porque ele tá aumentando, se for negativa é que ela tá diminuindo. E eles também relacionar o que tem mais entropia, por exemplo, no começo da reação eu tenho um sólido que gera um gás. Então, eles ficam quem é mais bagunçado? Quem tem mais entropia? Quem é mais desorganizado? O gás. Então, tipo... se passou sólido para gás entropia aumentou nessa reação. As vezes se eu tiver gás e gás aí fica difícil, mas, por exemplo, se eu tenho mais átomos numa estrutura, eu tinha uma estrutura com menos átomos gasosos antes, no final eu tenho uma estrutura com mais átomos envolvidos, mas de uma espécie envolvida, maior entropia. Então a dificuldade em entropia é mais ou menos nesse sentido, deles relacionarem o que eles aprenderam dos conceitos com os exemplos com as questões, por exemplo.</p> <p>PESQUISADORA: Mas relacionados aos outros conceitos não tem um diferencial. Assim, para dizer: esse é mais difícil?</p> <p>Não. Não é que é mais difícil. Tipo... o sinal seja pro Δh seja pro Δg, eles vão, enfim. Todos têm.</p>

17- O Ensino do Segundo Princípio da Termodinâmica envolvendo diferentes conceitos (energia, calor, temperatura, trabalho, entropia...). Entre esses conceitos, existe algum que os licenciandos demonstram sentir mais dificuldade?	Em todos têm.
--	---------------

Fonte: Própria

Conforme ilustrado no Quadro 29, as perguntas de número um, dois, três e quatro estão relacionadas ao perfil profissional do professor. Deste modo, PU1 relatou possuir cinco anos de experiência profissional, durante esse período sempre lecionou em cursos de licenciatura em Química, ou seja, toda sua experiência profissional é no Ensino Superior, inclusive, em outra universidade a qual teve sua primeira experiência como professor substituto, hoje esse profissional é servidor efetivo na instituição a qual está vinculado. Sobre sua formação inicial e continuada, PU1 declarou possuir bacharelado em Química, mestrado em Química pela Universidade Federal do Ceará e doutorado em Ensino das Ciências com habilitação em Físico-química pela Universidade de São Paulo, campus São Carlos.

Com relação a quarta pergunta, o professor declarou sempre ter ministrando aulas de físico-química, hoje, além desta disciplina, trabalha também com inglês instrumental, deixando claro que o principal componente que ela leciona é a físico-química, sendo o professor responsável pela físico-química I, II e III do curso de licenciatura em Química.

Na quinta pergunta, que está relacionada a abordagem do conceito de entropia no Ensino Superior, a resposta do professor foi que entre as três disciplinas de físico-química as quais ele é responsável, o conceito de entropia é abordado na FQ1 (físico-química 1). O professor explica como acontece a distribuição e ordem dos conteúdos dentro da disciplina. Inicialmente é discutido a Primeira Lei da Termodinâmica, em seguida a Segunda Lei, pela qual ocorre a abordagem e estudo da entropia. Para o professor, esse conceito não apresenta um espaço de discussão ou dificuldades de destaque na disciplina ou no ensino da Termodinâmica e que ele é ensinado ou abordado da mesma forma que os demais conceitos termodinâmicos. Deste modo, o professor não demonstra reconhecer a necessidade de abordagens ou estudos voltados a estratégias de ensino sobre o conceito de entropia.

Oliveira Júnior, et al., (2021) afirma que compreensões como está podem estar relacionadas a literatura disponível a respeito do conceito de entropia, que muitas vezes induz

alunos e professores a nem sempre ter uma compreensão real sobre esse conteúdo e as dificuldades inerentes a ele. Tal afirmação pode estar relacionado a compreensões pré-estabelecida sobre o conceito, a exemplo, quando se entente entropia como desordem ou como sendo a própria desordem de um sistema. Em situações como essa, não há reconhecimento acerca da profundidade epistemológica, contexto histórico do seu desenvolvimento e sua abordagem conceitual, entre outros.

Além disso, considerando o caráter mediador do papel exercido pelo professor em diferentes níveis de ensino, principalmente em um curso de licenciatura, as discussões provocadas durante formação inicial de um professor podem ajudar a construir sua ação epistemológica, provocando diferentes ações quando esses professores em formação estiverem exercendo sua prática em sala de aula. Outrossim, Diniz Júnior (2015) indica que problemas oriundos da formação inicial podem acarretar em problemas no processo de aprendizagem conceitual no Ensino Médio, por diferentes motivos, entre eles a falta de habilidade em ensinar conceitos complexos e analisar a aprendizagem dos estudantes.

Consideramos que a maioria dos trabalhos relacionados a Físico-química nesse nível de ensino envolvem diferentes conceitos termodinâmicos (TSAPARLIS, 2007), além da entropia, e para que o último seja compreendido, é importante que seja levado em consideração a relação entre esses diferentes conceitos (SANTOS; 2007). Assim, em resposta a sexta pergunta, PU1 declarou que nas suas aulas entropia é articulado a energia, espontaneidade de reações e outros conceitos e que aborda teoricamente a entropia a partir do Teorema de Clausius junto a Segunda e a Terceira Lei da Termodinâmica.

A partir da Terceira Lei, PU1 aborda a equação fundamental da Termodinâmica na qual estão a entropia, a entalpia, a Energia Livre de Gibbs e temperatura. Na mesma pergunta, o professor citou o exemplo que mais usa em aula, como ele mesmo disse: “*associar entropia como se fosse a desordem, ne? Aquele conceito de desordem de bagunça mesmo*”. Essa concepção, como já exposto nesse estudo, é comumente divulgado na literatura, não só no Ensino Médio, mas no Superior também. No entanto, Lowe (1988) *apud* (AMARAL, 2004) considera que esse tipo de argumento não é suficiente para explicar a ocorrência dos processos físico-químicos e pode causar confusão nos alunos.

Do mesmo modo, a concepção expressada pelo professor é apontado por alguns trabalhos como contribuição ou modo de exemplificar o entendimento da entropia, isto é, como

forma de trabalhar exemplos que possam fazer parte ou estar próximos do cotidiano do aluno. No entanto, “nenhuma fórmula estatística relacionando um conceito indefinido como entropia, com outro conceito indefinido como desordem irá ajudar em um melhor entendimento do conceito de entropia” (SANTOS, 2008, p. 7). A partir do exposto, compreendemos que a fala de PU1 caracteriza-se como modo de pensar característico da zona empírico.

Deste modo, quando PU1 fala “*Então normalmente eu uso exemplos do dia a dia dos alunos, é ... quando a entropia... O que é mais espontâneo de aparecer? A sua casa arrumada ou desarrumada? O seu cabelo, o que é espontâneo de acontecer? Fica arrumado espontaneamente ou desarrumado? Então normalmente aí eles vão respondendo... fica desarrumado*”. Consideramos que o professor usa o termo desordem como definição e como tentativa de contextualizar sua abordagem, cuja intenção é facilitar a compreensão e construir sentidos para os alunos (SILVA; NUÑEZ, 2007). No entanto, nesse caso, a aproximação feita entre o que está sendo ensinado e as situações reais, próximas dos alunos, já vem com uma definição preestabelecida, ou seja, entropia como desordem/bagunça, fornecendo indícios da zona empírica, uma vez que relaciona entropia a desordem a partir de aspectos macroscópicos e a ocorrência de fenômenos observáveis, como a casa desarrumada.

Reconhecendo que PU1 tem como principal definição em suas aulas o termo desordem para entropia e que essa definição é usada como possibilidade de incluir o cotidiano do aluno ao que está sendo ensinado, há um reconhecimento acerca da importância da abordagem conceitual para entropia e das possibilidades de incluir outras definições do conceito em sala de aula. Seguindo na sexta questão, foi perguntado a professora quais outros exemplos ou definições podem ser atribuídos a entropia associado ao dia a dia. Como resposta a professora reforçou que desordem e termos sinônimos a ela são os principais, como exemplo ela cita: “*mas também pode estar relacionada a quebra de objeto que está na minha mesa que aumenta a entropia porque aumenta a desordem, a bagunça...*”. A partir dessa fala, PU1 considera que os processos ocorrem de forma espontânea e natural, sem a influência de fatores externos, assim como citada a quebra de um objeto sobre a mesa. Essa concepção inclui compromissos da zona empírica.

Com relação a sétima questão, PU1 afirma não haver a execução de atividades práticas que envolvam ou explorem o conceito de entropia e como recurso teórico ela usa a apresentação de slides e livro como o de Atkins, além dos exemplos que ela traz para a sala de aula. Consideramos que o uso de atividades práticas envolvendo o conceito de entropia pode se

constituir como uma ferramenta importante para o entendimento do conceito e que a restrição ao uso de slides para o ensino de conceitos científicos pode não ser a estratégia mais efetiva para promover, por parte dos alunos, a compreensão acerca do que está sendo ensinado.

Com relação a oitava questão, relacionada a abordagem do conceito em estudo no Ensino Superior e do papel do professor para essa abordagem, PU1 afirma que não considera as concepções prévias dos discentes durante suas aulas envolvendo o conceito de entropia. O professor justifica sua fala ao relatar que o Ensino de Química na cidade em que seus alunos cursaram o Ensino Médio é muito ruim, assim, eles não possuem base de Termodinâmica. Ou seja, para PU1, os discentes chegam na universidade sem nenhuma concepção sobre aspectos da Termodinâmica de uma forma geral. Entendemos a partir das discussões de Maldaner (2000), que priorizar apenas uma ordem metodológica está próximo do modelo tradicional de ensino, no qual não se abre possibilidades de dinamizar, contextualizar ou reconhecer o conhecimento construído pelos alunos a partir de outras experiências. Tal fato pode ocasionar a dogmatização da Ciência.

Com relação a nona pergunta, como já destacado na questão sete, PU1 não costuma realizar experimentos que envolvam ou mobilizem o conceito de entropia. O professor acrescenta que sua última aula na disciplina de Físico-química I é sobre a Lei de Hess, sem espaços para o desenvolvimento de atividades práticas. Tal fato, nos leva a entender que nenhum tipo de atividade prática é desenvolvido para o estudo da Termodinâmica ou outros conceitos ligados a ela nas aulas desse professor, reforçando sua unilateralidade metodológica. Nesta ótica, crescem as possibilidades de termos futuros professores com a mesma visão e prática pedagógica.

Com relação a décima questão, considerando a abordagem do conceito de entropia em suas aulas, assim como a importância do papel mediador do professor para o processo de ensino e aprendizagem, PU1 considera que a compreensão sobre esse e suas propriedades se tornam importantes na licenciatura em Química apenas pelo fato de ser necessário para que se possa dar continuidade as disciplinas de Físico-química durante o curso. Assim, para o professor, compreender as propriedades da entropia: *“é importante porque tipo... quando você tá em um curso de Química e tá fazendo físico-química você vê entropia nas outras disciplinas também, então, tipo é uma sequência você tem que aprender bem o conceito na FQ1 para você continuar aplicando na 1, na 2 e na 3”*. A partir do exposto, na descrição de PU1, compreendemos que sua fala pode estar ligada a dois fatores, de forma simultânea ou não: (1) relacionado ao fato do

próprio professor não ter uma compreensão conceitual sobre entropia e acerca de suas implicações e presença em situações e contextos que contribuem para relevância do seu ensino, e que (2) sua prática pedagógica está orientada a partir de uma visão tradicionalista e centrado nos resultados quantitativos dos discentes. Ambos evidenciados na fala do docente do decorrer da entrevista. Maldaner (2002) discute essa problemática quando fala que em muitos casos o professor formador acaba se preocupando mais com a sequência de conteúdos durante o desenvolvimento das disciplinas e que muitas vezes não conseguem expor a real necessidade de formar um novo professor, que a partir da sua formação inicial tende a reproduzir o que aprendeu e como aprendeu no Ensino Superior.

Com relação a décima primeira pergunta, nosso intuito foi averiguar modos de pensar entropia além do processo de ensinar e aprender ou comum a sala de aula, mobilizados pelo professor. Com isso, foi perguntado para ele se a forma como ele falava entropia em situações acadêmicas com seus pares era a mesma com qual promovia o ensino desse conceito. PU1 respondeu não ser comum conversar sobre entropia ou aplicar o conceito em conversas que exijam uma linguagem rebuscada do ponto de vista químico. Mas, que quando acontece, a forma de falar não costuma ser diferente da que é abordada em sala de aula com seus alunos da licenciatura. O professor destaca que a principal diferença são as analogias que ele traz para aulas, relacionadas ao cotidiano dos alunos, que com os pares não usa exemplos banais como faz em aula, mas uma concepção formal para entropia. Quando perguntado como seria, segundo seu modo de pensar a maneira de falar de entropia formalmente, PU1 não exemplificou.

Relacionado a décima segunda questão que está concernente a possíveis abordagens sobre entropia com a atual reforma do Novo Ensino Médio, PU1 demonstrou ainda não possuir embasamento para falar sobre a reforma do Novo Ensino Médio. Mas acredita que não, visto *que já não era um conteúdo comum para esse nível de ensino e com as inúmeras reduções e recortes que a disciplina Química sofreu, muito provavelmente esse conceito não será ensinado.*

Com relação a décima terceira questão, que versa acerca da abordagem da entropia e função exercida pelo professor para o ensino desse conceito, PU1 explica a partir de uma ótica gradativa que, nas aulas que tratam do Segundo Princípio, inicialmente, é explicado o que é a espontaneidade, em seguida fala porque as reações químicas acontecem, problematizando com fatores que favorecem a ocorrência de uma reação de forma espontânea, a exemplo, a energia e a entropia. A partir dessa colocação, o estudo da entropia começa a ser inserido nas discussões

acerca da Segunda Lei, associando a situações cotidianas a partir da definição de desordem/bagunça para entropia. Na sua fala, o professor continua com a associação de entropia como desordem, indícios da zona empírica.

Respondendo a décima quarta questão, PU1 considera ser importante que os licenciados compreendam entropia pela necessidade de aprovação dentro da disciplina, pois, segundo o professor, é somente a partir desse entendimento que o licenciando terá possibilidades de lograr êxito do ponto de vista quantitativo. Sendo assim, essa é a forma mais plausível de passar da FQI para a FQII e posteriormente a FQIII. Segundo PU1, durante este percurso o licenciando percebe a importância de se compreender as propriedades da entropia, pois precisam desse conhecimento para a conclusão do curso. Na fala do professor, *“Mas sim, ele aprendeu que a entropia é importante porque na FQ1, na FQ2 e ainda na continuação da I que vai até espontaneidade e equilíbrio, a entropia sempre volta, né? Sempre é um assunto que volta e se a pessoa não aprender o conceito lá no começo isso vai, não vai contribuir para a formação dele, né? Para eles acompanharem o resto curso”*.

Com relação a décima quinta questão, que está relacionada ao papel e função do professor para abordagem desse conceito e a possibilidade do licenciando quando professor de Química trabalhar a entropia em suas aulas, PU1 declarou que há a possibilidade, mas muito remotamente, uma vez que o futuro é a reforma do Ensino Médio e com essa organização não se sabe se o conceito estará ou não entre os conteúdos programáticos de Química. Nas palavras do professor, *“Mas como a reforma do Ensino Médio ele vai ver tanta coisa que eu creio que aí é que vai ficar negligenciado mesmo esse conceito, porque ele não vai ter... acaba que a organização do curso não vai permitir*.

A partir desta questão, consideramos que PU1 não considera as propriedades e aplicações da entropia além do espaço físico da sala de aula, o que pode corroborar para a continuação de um ensino pautado no que Maldaner (2000) denomina de ensino estanque, caracterizado por um ensino demasiadamente restrito e ausente de problematizações. Essa ação, possivelmente refletirá na atuação do licenciando quando docente, dando continuidade a um ciclo que privilegia o ensino tradicional e obsoleto de reflexões, pois os estudantes não conseguem ver sentidos para se estudar ou ensinar muitos conceitos relacionados ao Ensino de Química, entre eles a entropia.

Tal perspectiva evidencia a necessidade de melhoramento em diversos aspectos da formação inicial de professores, entre elas, a inserção de discussões de cunho epistemológico e reflexivo, possibilitando e instigando entendimentos mais abrangentes a respeito do conhecimento científico e da prática pedagógica, trazendo uma compreensão mais equiparada do que é ensinado e aprendido em sala de aula (LOBÔ; MORADILLO, 2003). Com essa abrangência, se torna possível edificar e alinhar uma educação científica concernente aos desafios da contemporaneidade (DINIZ JÚNIOR, 2015). Outrossim, para Maldaner (2000), se os professores em formação forem orientados acerca da importância do conhecimento que é ensinado e forem inseridos em situações e atividades que provoquem reflexões epistemológicas, há possibilidades de se formar professores que adotem uma perspectiva diferente do ensino tradicional, cujo o principal objetivo ainda é somente passar nas disciplinas.

Com relação a décima quinta questão, que trata dos objetivos (geral e específicos) traçados pelo professor no seu programa disciplinar de FQ1, PU1 declara que a partir da interação e retorno dos estudantes nas avaliações, acreditar que os seus objetivos são atingidos e, que os licenciandos conseguem passar pela disciplina compreendendo os princípios básicos da Segunda Lei da Termodinâmica e os conceitos básicos relacionados a ela.

Para a décima sexta questão, PU1 declarou que não acredita que possa ser definida uma dificuldade para o estudo do conceito de entropia, uma vez que os discentes apresentam dificuldades em compreender todos os conceitos relacionado a termodinâmica e não somente entropia. Na fala do professor, *“Físico-química é difícil, mas, por exemplo, se a gente for pensar em entropia a gente tem que pensar, por exemplo: entropia... quando eu faço, pedir para entropia aumentar, ai ele associar... as vezes a questão pede o aumento de entropia, ai ele escreve a palavra aumento. A questão pede positivo ou negativo, daí associar que a entropia positiva é porque ele tá aumentando, se for negativa é que ela tá diminuindo. E eles também relacionam o que tem mais entropia, por exemplo, no começo da reação eu tenho um sólido que gera um gás. Então, eles ficam quem é mais bagunçado? Quem tem mais entropia? Quem é mais desorganizado? O gás. Então, tipo... se passou sólido para gás entropia aumentou nessa reação. As vezes se eu tiver gás e gás, aí fica difícil, mas, por exemplo, se eu tenho mais átomos numa estrutura, eu tinha uma estrutura com menos átomos gasosos antes, no final eu tenho uma estrutura com mais átomos envolvidos, mas de uma espécie envolvida, maior entropia. Então a dificuldade em entropia é mais ou menos nesse sentido, deles relacionarem o que eles aprenderam dos conceitos com os exemplos com as questões, por exemplo”*. Ou seja, segundo

PU1, não existe dificuldade em compreender o conceito de entropia em si, mas em relacionar ou aplicar o conceito durante as atividades propostas pelo professor, o que para nós remete a dificuldades no entendimento do conceito e a necessidade de outras estratégias ou abordagens que contribuam para que os discentes consigam aplicar o que de fato aprenderam.

Ainda de acordo com fala de PU1, é possível perceber a permanência no seu discurso da zona empirista ao tratar entropia como desordem envolvida a partir de uma ótica macroscópica, na qual é citado alguns elementos que participam da ocorrência de uma reação química que leva a tomada de decisão em processos como sendo espontâneos ou não, isto é, processos espontâneos que ocorrem quando existe evidência para o aumento ou diminuição da entropia (AMARAL; MORTIMER; SCOTT, 2014). Segundo os autores, a ideia de desordem poder ser considerada como uma abordagem grosseira para se definir entropia, por não trazer, como já destacado, características a nível macroscópico atômico-molecular. Para finalizar, o professor afirma que os estudantes possuem iguais dificuldades em compreender todos os conceitos físico-químicos, sem ênfase a nenhum.

Perante as respostas do PU1, descritas no Quadro 16, percebemos que os resultados apontam para (i) uma abordagem para entropia demasiadamente restrita, no qual não se considera o desenvolvimento de atividades práticas e aplicações que facilitem o entendimento desse conceito; (ii) que o professor limita o ensino desse conceito a recursos teóricos com apresentação de slides e consulta em livros, não vê a necessidade do uso de novos recursos que possibilitem a compreensão do conceito, uma vez que não reconhece essa dificuldade pelos discentes, sendo assim, pouco provável a ocorrência de mudanças no ensino e abordagem do conceito; (iii) as zonas do perfil conceitual de entropia e espontaneidade e as abordagens que prevalecem na fala do professor, têm-se predominantemente de uma abordagem empirista.

Durante a exemplificação para o conceito, ou seja, ao buscar exemplos que permitam a visualização com mais facilidade pelos discentes, verificamos que quase 100% dos exemplos são de entropia como desordem, bagunça. Mesmo em situações comuns a sala de aula e a abordagem científica e aquelas que envolviam o cotidiano do aluno, as ideias foram típicas da zona empírica, contrário ao que é apontado por Dewey (2003), quando considera que o conhecimento estudado e produção em ambiente escolar devem capacitar os indivíduos para perceberem sentidos aos diversos contextos, especialmente quando esses sujeitos são professores em processo de formação.

3.4.2 Análise das respostas do professor PU2 na entrevista

A seguir, no Quadro 30, apresentamos o resultado da aplicação da entrevista semiestrutura com o PU2.

Quadro 3: Resultado da entrevista-PU2

Perguntas	Respostas
1- A quantos anos você leciona no Ensino Superior?	Vou chutar aí 35, porque para o ano vem eu faço 34 anos na universidade que trabalho hoje. Já lecionei em outra universidade federal, passei lá quase 2 anos. Então, vamos arredondar para 35 anos no Ensino Superior.
2- Antes desse período (como professora do Ensino Superior), quais suas outras experiências com a docência?	Trabalhei com o Ensino Médio, com o Ensino Técnico de Química, hoje escola Técnica Estadual, fui professor de lá durante uns 5anos mais ou menos.
	PESQUISADORA: Lecionando quais disciplinas? Lecionando físico-química e matemática.
3- Qual sua formação acadêmica (graduação e pós-graduação)?	Eu sou bacharel em Química na UFPE e, depois fiz um complemento das disciplinas da Licenciatura em Química. Então, eu tenho bacharelado e as disciplinas da licenciatura, eu completei os créditos da licenciatura. Depois fiz o mestrado no Instituto de Química de São Carlos, na área de Química Teórica que era uma subárea da físico-química e doutorado também no mesmo instituto na mesma área.
4- Há quanto tempo leciona a disciplina de Físico-química I? Leciona outras disciplinas?	Sempre dei aula de Físico-química, então a uns 30 anos. Hoje além de físico-química, leciono também Química Quântica.
5- Em que disciplina de FQ, você aborda o conceito de entropia? E que importância é dada ao ensino desse conceito?	A entropia é parte da disciplina físico-química e da grade de físico-química II, da grade nova do curso Termodinâmica. Então, a entropia ela é parte, né, do assunto, como assunto integrante e relacionado a Segunda Lei da Termodinâmica. E é um assunto fundamental, que eu considerado que é estruturante porque a entropia é a base para se entender vários aspectos relacionados a irreversibilidade, né? Num (sic) diria generalizar, é complicado. Mas se você for olhar mudanças de estado ocorrem por conta né? Transição de fases, entropia é fator determinante, propriedades coligativas entropia é fator determinante, né? Então a espontaneidade do processo entropia é um fator determinante. Então, a entropia basicamente tá relacionada, né, com os princípios básicos de um processo químico e de um processo físico também, né? Os físicos, por exemplo, eles explicam o aumento da temperatura de ebulição, de vaporização quando você adiciona um soluto num líquido, num líquido puro, é quando você adiciona um soluto num solvente puro para formar uma solução, uma solução binária o líquido que é solvente tem a sua temperatura de vaporização aumentada, é? Os físicos explicam com base na entropia, porque quando você adiciona soluto você aumenta a desordem do líquido, e aí as partículas que estão lá na fase líquida, elas preferem sempre o caminho mais provável da desordem. Então,

	<p>a desordem aumenta, aí aumenta a barreira para vaporizar, por isso, a temperatura de vaporização aumenta, ou seja, é a base, né da propriedade coligativa. E assim é com as outras propriedades coligativas, entendeu? Então para mim a entropia é uma propriedade determinante, é um assunto determinante da disciplina de graduação que eu abordo.</p>
<p>6- Com que outros conceitos, a entropia é articulada? E como esse conceito é abordado, teoricamente, com exemplos práticos, ou outros? Você poderia dar um exemplo?</p>	<p>Tá relacionada com vários assuntos do conteúdo abordado, vamos dizer assim, da disciplina na qual ela consta do curso de licenciatura em química aqui da universidade. A entropia eu relaciono a irreversibilidade e da irreversibilidade a seta do tempo, né? Então, a questão das propriedades coligativas e tantos outros processos. Eu procuro, inclusive fazer experimentos, entendeu? O efeito da temperatura do aumento da entropia e na aceleração dos processos. Então eu procuro fazer experimentos, inclusive bastante simples para que o aluno tenha condição de fazer isso, né? E colegas não muito estruturados em termos de instalação de laboratório. Então, eu procuro fazer experimentos bastante simples, inclusive, até, né, com aspectos da entropia que se quer são discutidos em muitos cursos e que já estão constando em alguns livros que já são comercializados, como por exemplo, a reação oscilante que até pouco tempo não se conseguia explicar o mecanismo, o fundamento de uma reação oscilante e que já. É uma coisa mais avançada aí dá entropia.</p>
<p>7- Quais os principais recursos teóricos e práticos usados durante as aulas que tratam do conceito de entropia?</p>	<p>Tem dois experimentos que eu gosto de destacar, aliás não são experimentos, eu chamaria de duas atividades. Uma é uma atividade que eu coloquei na prática, mas cuja a ideia eu vi no textinho que eu já lhe passei do livro paradidático que é uma descrição, até uma brincadeira bolada pelo físico Richard Feynman, onde ele descreve a questão do efeito do choque das partículas na mistura de dois líquidos diferentes e que ele associaria isso aí, com a questão do tempo e aí ele brinca no texto dizendo que se ele tivesse filmando esse processo e passasse o filme de traz para frente. Então, dessa ideia, eu transferi essa ideia para um experimento, né, um experimento simples que eu gosto de fazer para mostrar exatamente para os alunos, não é? A questão, né, da irreversibilidade do caminho para a desordem dos processos. Então, esse é um experimento extremamente simples, onde eu faço com um aquário que eu mandei fazer adaptado com uma parede no meio, então, eu coloco água na mesma temperatura e mostro, que o aquário tem uma separação e aí, coloca-se de lado um corante de uma cor bem intensa, do outro lado outro corante, de um lado uma cor escuro do outro lado uma cor clara, azul escuro, por exemplo, e um amarelo. E aí, você tira depois a parede bem lentamente, e aí, você percebe, né, o início da mistura. Ora, isso aí né, o princípio, vamos dizer assim, de funcionamento da misturação (sic) é exatamente uma das coisas mais básicas que a meu ver é uma das principais falhas da entropia não ser bem discutida, que é a distribuição de energia das partículas. Uma delas é explorar a mistura de líquidos, eu faço esse experimento com dois compartimentos com a mesma temperatura e os dois compartimentos em temperaturas diferentes, o efeito é maravilhoso porque é... aquele lado que está com a temperatura levemente maior avança e aí, você mostra o efeito, o efeito de que? Dá energia média das partículas! Esse é um dos fundamentos da Termodinâmica Estatística. Aí veja, eu acho que a partir do momento que alunos começassem</p>

	<p>a ver, a verificar isso visualmente, eu acho que a coisa ficaria melhor, eu faço isso nas minhas turmas, destaco isso.</p> <p>Uma outra coisa, eu não costumo de chamar de experimento, é uma atividade. Veja, é muito importante esse experimento, ele é extremamente simples, o aluno vai até dizer: ah eu já sei o que vai dar isso! Você sabe visualmente o que dar, mas o que está por trás disso você nunca trabalhou. Você separa dois jogadores, você marca no quadro: jogador A jogador B e, faz uma tabela. Para jogador você coloca dez caixinhas de um a dez, é uma tabela com duas colunas, entendeu como é que é? Dez linhas, jogador A e jogador B você coloca X. Esse, o fundamento desse joguinho é o método de Morte Carlo, entendeu? É um método... esqueci o nome agora que a gente dá, um método matemático, tá certo? Você faz o seguinte, você coloca X e manda sortear, tá certo? Você pega dez papezinhos, de um a dez e manda o jogador A sortear, aí veja, o A está com X em tudinho, aí ele sorteou casinha cinco, aí você casinha cinco, cinco o A tem X, então se você tem X passa o X pra o outro, o B. Aí apaga o X na coluna do A e passa pro B. O mesmo com o B, manda o B sortear de um a dez, aí o B sorteia, então, da casa três, e na três tá branca, quem tem o X é o A, então ele não faz nada. Entendeu como é que é? Então esse é um princípio dos choques das partículas, quando uma partícula se choca com outra, ela tem a energia maior do que a outra, ela transfere pra outra, aí você vai marcando em cada sorteio.</p>
<p>8- Ao dar início às aulas que tratam da Segunda lei da Termodinâmica, você procura conhecer as principais concepções expressadas pelos discentes? Se afirmativo, que concepções prévias os discentes apresentam? Isto é, quais concepções referentes ao conceito de entropia eles trazem das suas experiências advindas do Ensino Médio ou outras experiências?</p>	<p>Sim, principalmente eu gosto de avaliar e todo semestre eu constato a mesma coisa e, aluno decora que a entropia é a desordem, eles não aprendem que a entropia é uma medida da desordem, é outra coisa diferente. Então coisa é dizer que é a medida, outra coisa é dizer que é a desordem.</p> <p><u>PESQUISADORA:</u> Então, podemos considerar aí que majoritariamente as concepções prévias dos alunos são de entropia como desordem?</p> <p>É uma das poucas coisas que aluno de Química tem de cór na cabeça, uma delas é: o experimento de Rutherford e outra delas é que a entropia majoritariamente é a desordem, eles não relacionam que é uma medida. Ai esses alunos eu gosto até de chocar eles, eu digo assim para eles, se a entropia é a desordem, se a entropia está aumentando (sim, porque eles decoram essa máxima de que a entropia está sempre aumentando), me digam uma coisa, se a entropia está sempre aumentando como é que você explica a existência nossa, de organismo tão complexo quanto o nosso? De uma célula de um vegetal e assim por diante... e ai eles não sabem, eles não sabem. E essa é uma parte recente da Termodinâmica, mas não é porque é recente que não deve ser trabalhada, recente virgula, né. O primeiro Nobel de Física em 1977 foi dado ao um físico-químico russo, naturalizado belga que ganhou o prêmio Nobel justamente por explicar isso. Então eles vêm do Ensino médio que a entropia é a própria desordem.</p>

<p>9- Quanto as aulas práticas da disciplina de Físico-química I, quais são os experimentos relacionados a mobilização/estudo do conceito de entropia? Quais as principais dificuldades sentidas pelos discentes?</p>	<p>Olha, por incrível que pareça é a base matemática, porque para entender um pouquinho da Segunda Lei precisa de matemática. Então, cálculos extremamente simples, por exemplo, para o aluno calcular a temperatura de equilíbrio entre dois corpos com temperaturas, a turma se enrola. Então, parece uma coisa simples, mas não é uma coisa simples porque a partir do momento que você aprende a calcular a temperatura de equilíbrio entre dois corpos, você vai relacionar isso aí, com a transferência de calor espontânea sempre do corpo quente para o corpo frio. Então, isso é outra coisa extremamente importante porque daí você associa com a Segunda Lei, então, o normal é o quente transferir calor para o frio, mas o frio não pode transferir calor para o quente? Pode, mas não é espontâneo.</p> <p><u>PESQUISADORA:</u> Então podemos dizer que a principal dificuldade para a compreensão do conceito durante essas atividades está relacionada a base matemática?</p> <p>Uma das eu não diria a principal. Então, eu diria duas dificuldades, a matemática e a conceitual, porque se a gente pega um aluno que já tenha ideia que a entropia é a própria desordem, aí não fica trivial para ele entender essas coisas, aí é preciso desconstruir um pouco o que ele tem na cabeça.</p>
<p>10- Para você, qual a importância de compreendermos as propriedades da entropia?</p>	<p>A questão que ela é relacionada coisas básicas do nosso dia a dia, com a espontaneidade dos processos, a mudança de estado das substâncias, entendeu? Ou seja, se você for olhar isso aí tá relacionado com praticamente toda base do entendimento dos fenômenos físicos e químicos.</p>
<p>11- Como você utiliza o conceito de entropia no contexto acadêmico, em conversas, colaboração em projetos ou pesquisas com seus pares? (Por exemplo, em atividades da pós-graduação) As abordagens feitas em diferentes contextos são diferentes da forma com que você ensina para seus alunos na graduação?</p>	<p>Não, a mesma coisa não é. Conversando com os pares quando se permite na conversa eu destaca não somente a questão da entropia, mas com quem é de uma área diferente que estou conversando, eu procuro destacar coisas que chamem a atenção do colega, de assuntos que aparentemente para ele não tem muito haver, mas que para mim tem tudo. Um desses assuntos é a entropia, outros assuntos por conta da minha formação são as questões de efeito hoje demonstrados pela Química teórica, um exemplo, a ressonância, se eu perguntar, por exemplo, quem cunhou a palavra ressonância pela primeira vez? Poucos sabem, se você for olhar porque é dos tópicos pouco abordados, porque são assuntos que dependem muito da área de formação do professor, então dependem das áreas de conversar. Claro a entropia é um dos pontos que eu sempre bato porque é dos pontos que ainda carente de, como muitos físicos que eu conheço ainda é um assunto aberto.</p> <p>Essa diferença, ela é muito séria, sabe? Hoje uma das leituras que mais me ocupa é a entropia, por quê? Porque a entropia hoje ela é relacionada com a Teoria da Informação, a entropia hoje num é a desordem hoje, ela é relacionada com a informação. Ainda não me aprofundi nessa leitura, é uma coisa ainda aberta, em livros recentíssimos e, o alerta que eu faço é esse, se isso hoje é um assunto quente, já tem livro de Química somente sobre isso. São livros técnicos, voltados para pessoas da área, mas que já estão inundando a literatura e uma hora chega para nós e quando isso acontecer, precisamos estar prontos.</p>

<p>12- Como você ver a relação do ensino da Segunda Lei da Termodinâmica e do conceito de entropia na educação básica com a reforma do Novo Ensino Médio? Justifique sua resposta.</p>	<p>Olhe, eu não conheço, eu simplesmente não tive tempo de me debruçar sobre como a entropia tá na reforma para o Ensino Médio. Eu andei vendo por conta de uns alunos, andei vendo por parte da estrutura eletrônica, foi muito prejudicada, né? Até em relação a números quânticos que foi suprimida muita coisa, é impressionante. Então, com relação a entropia eu não vi ainda, não sei como está. Mas se foi reduzida eu só tenho a lamentar, porque reduziu o que seja era fraco, porque do jeito que estava já era falho, se foi reduzido mais ainda, ai...</p> <p>PESQUISADORA: Seguindo nesse mesmo pensamento, para você, por que no Ensino Médio ou porque os professores do Ensino Médio, quais as principais dificuldades nesse nível de ensino de abordar o conceito de Entropia?</p> <p>Porque eu acho que deveria ser colocado, dado ênfase em vários assuntos, a entropia é um deles, o professor da licenciatura, ele deveria ser treinado para capacitar o aluno, o licenciando para poder fazer experimentos usando materiais simples, porque ele aprender como fazer um experimento, como fazer um equipamento a realidade do Ensino Médio ai fora, principalmente da rede pública é bem diferente. Então, mesmo quando tem um laboratório é preciso o professor ter conhecimento pra pegar aquele laboratório e saber montar. E não precisa muita coisa para fazer isso, por exemplo, mais experimento que eu vou dizer agora que é uma coisa extremamente simples, mas veja, uma coisa é você fazer um experimento para abordar uma coisa, outra coisa é você fazer o mesmo experimento para abordar outra coisa. Por exemplo, eu faço com meus alunos todo semestre e via de regra quase nenhum responde como deveria ser respondido a pergunta, a pergunta é o seguinte, você coloca água pura pra vaporizar, ou seja, eu pego um Becker com a água e coloca lá para vaporizar, o que é que acontece? Vai subindo a temperatura, começa a passar de 50, veja, quando começa a passar de 50 ai vê o efeito passar puramente da Termodinâmica Estatística. O que é que você vê? Você ver partículas, gotículas se formarem e vaporizarem. E ai, qual é a pergunta? Aonde você pergunta pro aluno: qual a temperatura de vaporização da água? Todo mundo de 100°C, é uma das coisas que o aluno sabe de cór também. Ai, você pergunta: Tá, e se a água vaporiza nesses 100°C porque é que depois de 50°C já tem água vaporizando? Veja, Termodinâmica Estatística.</p>
<p>13- Existem algumas formas diferentes de se enunciar a Segunda Lei da Termodinâmica, qual ou quais seria(m) mais comumente(s) usada(s) nas suas aulas? Justifique sua resposta.</p>	<p>Tem sim, a definição de Clausius porque é, eu considero a que é mais fácil de você trabalhar, inclusive de exemplificar numericamente porque é importante para o aluno saber como calcular a entropia.</p>
<p>14. Para você, por que é importante os discentes aprenderem sobre a entropia? Como esse conceito pode contribuir para a formação deles?</p>	<p>Ai é um consequência lógica, né? Quando ele ver as várias nuances da entropia, ele vai se convencer realmente que ela é um assunto básico e estruturante, porque dela ele vai entender reações químicas, dela ele vai entender espontaneidade, dela ele vai entender porque uma substância muda de fase, ele vai entender porque um soluto quando é adicionado aumenta a temperatura de vapor, ou seja, ele vai relacionar entropia como basicamente tudo.</p>

<p>15- Considerando os objetivos propostos no programa disciplinar da disciplina de FQ I. Você considera ou compreende a partir da interação em sala de aula e das avaliações que esses objetivos são atingidos levando para a compreensão do segundo princípio da termodinâmica, mas especificamente do conceito de entropia? Justifique sua resposta.</p>	<p>Sim, na média sim, porque em Ciência a gente não tem nada absoluto. Então, é claro, você como professora sabe que a gente nunca conseguir atingir 100%, mas eu tenho certeza que a mensagem no final fica dada, eu tenho certeza de que o aluno quando passa por mim, ele sai com aquela ideia porque se tem uma coisa que eu bato direto, eu vou até muito mais além, o livrinho que eu falei ele leva o leitor até a seta do tempo, ai tem lá a seta do tempo termodinâmica, a psicológica e a cosmológica. Então, o aluno sempre ouviu falar que a entropia é a desordem, a desordem sempre aumenta, mas porque isso? Qual a relação disso aí, como o tempo? Então, é interessante porque você força o aluno a ler, sempre puxando para a entropia termodinâmica, eu tento contextualizar ao máximo minhas aulas.</p>
<p>16- Quais são as principais dificuldades sentidas pelos discentes durante a abordagem do conceito de entropia?</p>	<p>A base matemática e a parte conceitual.</p>
<p>17- O Ensino do Segundo Princípio da Termodinâmica envolvendo diferentes conceitos (energia, calor, temperatura, trabalho, entropia...). Entre esses conceitos, existe algum que os licenciandos demonstram sentir mais dificuldade?</p>	<p>Trabalho. Ele associa com uma coisa de física lá, calculado... Mas ele não associa isso ai como sendo uma energia que o sistema pode produzir. Eu uso, até antes de chegar na entropia.</p> <p>PESQUISADORA: a dificuldade sentida para se compreender trabalho é a mesma sentida para se compreender entropia, ou eles já vão com a ideia de que entropia é alguma coisa mais complicado?</p> <p>Não, entropia eles já vão com a ideia de que é a desordem.</p> <p>PESQUISADORA: então, já é definido? não tem dificuldade porque já vem definido, ele acredita que é desordem?</p> <p>Exatamente, é!</p>

Fonte: Própria

Conforme verificado no Quadro 30, as questões 1, 2, 3 e 4 buscaram levantar o perfil profissional de PU2 (Professor Universitário 2). Desde modo, verificamos que ele possui aproximadamente 35 anos de experiência profissional como docente do Ensino Superior. Além disso, foi professor por 5 anos de uma Escola Técnica de Química, nela ministrava as disciplinas físico-química e matemática, possuindo como docente, de modo geral, por volta de 40 anos de experiência. Sendo assim, um profissional com vasta experiência na educação e com o ensino da Termodinâmica, visto que sempre trabalhou com a físico-química.

De acordo com o observado na terceira pergunta, PU2 é bacharel em Química, mas pagou todas as disciplinas equivalentes ao curso de Licenciatura em Química, depois fez mestrado e doutorado pelo Instituto de Química de São Carlos, na área da Química Teórica, uma subárea da físico-química. Quando questionado ao tempo que leciona físico-química e

quais outras disciplinas ele trabalha, o professor respondeu que sempre lecionou aulas desta disciplina, além dela, hoje, ministra também química quântica. Há de se notar que o professor percebeu a necessidade de cursar disciplinas de cunho pedagógico e didático para a sua ação como professor.

Com relação a quinta questão, que está relacionada a abordagem do conceito de entropia no Ensino Superior, PU2 respondeu que entropia faz parte da disciplina de FQII (Físico-química II) da grade do curso de Termodinâmica da licenciatura em Química, pois é parte integral da Segunda Lei da Termodinâmica, ou seja, indispensável dentro dessa abordagem. Quando se refere a importância atribuída ao conceito em suas aulas, o professor explica que, segundo seu entendimento, o ensino da entropia é fundamental e estruturante, pois está diretamente ligada a compreensão de vários aspectos relacionados a irreversibilidade. Mesmo considerando que a entropia pode ajudar a entender muitos fenômenos irreversíveis, o professor alerta que é importante não generalizar. Com isso, podemos compreender que o conceito de entropia foi fundamental para que se fosse possível distinguir processos reversíveis dos irreversíveis, estando a entropia diretamente relacionada a esses fenômenos, assim como considerado por PU2. O professor continua sua fala citando uma série de exemplos nos quais entropia se constitui como fator determinante, evidenciando assim a importância da abordagem do conceito para o entendimento dos processos físicos e químicos.

É importante ressaltar, na fala do professor, a presença das zonas empírica e racionalista do perfil conceitual de entropia e espontaneidade, pois ao usar conceitos e processos termodinâmicos para justificar a importância do estudo do conceito de entropia ele traz a desordem como uma consequência ocasionada nesses processos, mas utilizando-se de explicações a partir de uma linguagem característica da Ciência e de uma compreensão racionalista do conceito, por exemplo, quando fala: *Os físicos explicam com base na entropia porque quando você adiciona soluto você aumenta a desordem do líquido, e aí as partículas que estão lá na fase líquida, elas preferem sempre o caminho mais provável da desordem. Então, a desordem aumenta, aí aumenta a barreira para vaporizar, por isso, a temperatura de vaporização aumenta, ou seja, é a base, né da propriedade coligativa.* O encontro das duas zonas numa fala apresenta indícios de zona híbrida (ARAÚJO, 2014; DNIZ JÚNIOR, 2015; DINIZ JÚNIOR; SILVA; AMARAL, 2015).

Com relação a sexta pergunta, PU2 afirma relacionar entropia a irreversibilidade e da irreversibilidade a flechas do tempo, às propriedades coligativas, a temperatura e a aceleração

dos processos físico-químicos. Desde modo, assim como já elencado deste trabalho, compreendemos, pautados em Amaral (2004) e Santos (2007) que para a compreensão do conceito de entropia é importante que seja em consideração sua relação com os demais conceitos termodinâmicos.

Em resposta a sétima questão, PU2 declara fazer uso da experimentação em suas aulas, demonstra que a ferramenta se constituiu em suas aulas como elemento importante para se discutir e evidenciar a importância do conceito de entropia. Desde modo, ele cita dois exemplos principais que sempre traz para suas aulas, o primeiro trata-se de atividade descrita pelo físico Richard Feynman que ele transpôs de um paradidático para uma prática em sala de aula. A partir desse exemplo, o professor explica que sua execução possibilita discutir o que segundo ele é um dos principais problemas na abordagem e entendimento do conceito de entropia, na sua fala: *a meu ver é uma das principais falhas da entropia não ser bem discutida, que é a distribuição de energia das partículas, entendeu? Ou seja, o que muitos chamam do princípio básico ou dos fundamentos da Termodinâmica Estatística. Para os químicos isso parece até um palavrão, mas é uma das coisas básicas e é a meu ver, na minha, nos meus trinta e poucos anos de experiência em sala de aula, para meu ver, do ponto de vista de um químico e de professor de Química, é o principal ponto falho que não é discutido para as turmas de Química.* Tal fato nos faz refletir quanto ao uso e adoção de diferentes estratégias metodológicas com o intuito de promover a aprendizagem pelos alunos e essa iniciativa depende diretamente do professor e da necessidade que ele percebe em inserir novas possibilidades

A partir do extrato da fala do de PU2 quando discorre sobre o que ele considera ser uma das principais falhas do ensino da entropia ser a distribuição de energia que corresponde aos estados possíveis que um sistema pode ter, tal pensamento corresponde ao nível microscópico para a compreensão desse conceito, representando, portanto, uma compreensão mais aprofundada da entropia. Esse nível de compreensão de fato, é pouco comentada e abordada dentro do ensino da Termodinâmica. A partir do exposto, podemos compreender que a articulação para um nível mais complexo do conhecimento possui dependência quanto a ação docente, corroborando com Mortimer (2000) que considera que a ação mediadora do professor pode ajudar no desenvolvimento de distintas formas de aprendizagem e possibilitar uma evolução dos diferentes conceitos discutidos em sala de aula.

Apesar da discussão conceitual relacionado ao Ensino de Princípios da Termodinâmica e do estudo do conceito de entropia, além de uma possibilidade de inserir este estudo em aulas de como de Química, de uma forma geral, de forma eficiente, ao descrever o segundo experimento na questão sete, a fala de PU2 exprime indícios da zona racionalista, pois descreve a dimensão estatística do conceito citando os fundamentos propostos por Boltzmann e a dispersão de energia de um sistema. Diante do exposto, podemos considerar que a fala de PU2 é expressa de forma racional, pois exige um maior grau de compreensão, além disso, reconhece a complexidade envolvida no ensino da entropia. PU2 cita ainda que uma das principais dificuldades envolvendo o desenvolvimento de atividades práticas sobre entropia é a ausência de opções e sugestões de experimentos disponíveis na literatura

Se tratando dos recursos teóricos usados pelo professor em suas aulas, ele explica que relacionados de forma específica a entropia são difíceis. Para o Ensino Superior, todos os livros de físico-química trazem a abordagem do conceito fundamentos em bases apenas teóricas, sem dar margem para o envolvimento de atividades práticas. Considerando a fala de PU2, podemos compreendemos que os materiais didáticos comumente usados em Nível Superior não favorecem ou discutem abordagens práticas para o ensino de entropia, ficando a ser uma ação muito mais dependente da busca do professor.

O professor conclui falando que os livros indica para seus alunos, considerando que possuem uma boa abordagem sobre entropia, um deles é um livro paradidático sob o título “A Termodinâmica e as invenções das Máquinas Térmicas”. Relacionado aos livros de Nível Superior, PU2 afirma não indicar um de forma específica, mas várias partes de diferentes livros, destacando o de Atkins como uma excelente opção para o estudo da entropia. Esse livro traz uma interpretação de entropia enquanto medida de dispersão de energia, nele, há uma comparação no tratamento da entropia como aumento do número de microestados acessíveis reconhecendo sua tendência ao aumento da desordem em um sistema.

Com relação a oitava questão, que versa sobre a abordagem do conceito de entropia e sobre a importância do papel mediador do professor para o ensino desse conceito, PU2 reconhece a importância das concepções prévias dos discentes, e que usa de uma estratégia com intuito de confrontar essas ideias. Nas palavras de PU2: *“principalmente eu gosto de avaliar e todo semestre eu constato a mesma coisa, aluno decora que a entropia é a desordem, eles não aprendem que a entropia é uma medida da desordem, é outra coisa diferente. Então uma coisa é dizer que é a medida, outra coisa é dizer que é a desordem.”*

Outro ponto a se destacar é quando ele fala que os alunos decoram e guardam ideias e modelos que são comumente repassados durante a educação básica, como exemplo o professor cita, “*É uma das poucas coisas que aluno de Química tem de cór na cabeça, uma delas é: o experimento de Rutherford e outras delas é que a entropia majoritariamente é a desordem, eles não relacionam que é uma medida (...).*” Consideramos essa ocorrência pode ser justificado pelo fato dessas ideias circularem nos livros didáticos e conseqüentemente no discurso do professor, suscitando características de reproduções fixas que são perpassadas a partir desses veículos.

Nesse sentido, Mortimer (1995) e Resende (2007) consideram ser comum que alunos egressos do Ensino Médio apresentem dificuldades em formular conceitos relacionados a problemas microscópicos. Melzer (2009) argumentam que quando não trabalhados de modo a deixar claro para o aluno que são apenas representações para facilitar sua compreensão e não como uma representação fiel do conceito ou modelo científico, modelos, metáforas e analogias presentes nos livros didáticos podem levar os alunos a visão distorcida sobre a Ciência. Nesse mesmo sentido, Lopes (1993) alerta que o uso inadequado de metáforas e analogias, ao invés de facilitar a compreensão dos alunos sobre a Ciência, pode manter o aluno preso ao conhecimento cotidiano.

Finalizando a oitava questão o professor relata como costuma trabalhar, ou nas suas palavras “confrontar”, os alunos a partir dessa concepção de que a entropia é a própria desordem, no trecho “*me digam uma coisa, se a entropia está sempre aumentando como é que você explica a existência nossa, de um organismo tão complexo quanto o nosso? De uma célula e assim por diante... e aí eles não sabem, eles não sabem. E essa é uma parte recente da Termodinâmica, mas não é porque é recente que não deve ser trabalhada, recente virgula, né. O primeiro Nobel de Física em 1977 foi dado ao um físico-químico russo, naturalizado belga que ganhou o prêmio Nobel justamente por explicar isso. Então eles vêm do Ensino médio que a entropia é a própria desordem*”. A partir dessa atividade ele buscar ampliar o repertório de possibilidades para compreensão do conceito, orquestrando concepções mais próximas da Ciência. O que parece incidir como uma tentativa de desconstrução, em partes, do conceito de entropia como sendo a desordem, ao passo que verifica com essa abordagem que alunos não conseguem formular ou repensar questões além da desordem aprendida no Ensino Médio. Silva e Amaral (2006) explicam que o motivo pelas quais as concepções alternativas serem resistentes, mesmo diante de uma forte formação acadêmica, está relacionado ao fato de que a

medida que o sujeito se desenvolve, seus conhecimentos se internalizam e tornam-se resistentes a mudanças.

Com relação a nona pergunta, PU2 considera que as principais dificuldades para o entendimento do conceito de entropia durante sua aplicação e abordagem está na base matemática. Sobre isso ele explica: *“Olha, por incrível que pareça é a base matemática, porque para entender um pouquinho da Segunda Lei precisa de matemática. Então, cálculos extremamente simples, por exemplo, para o aluno calcular a temperatura de equilíbrio entre dois corpos com temperaturas, a turma se enrola.”* Sua fala expressa a relevância do formalismo matemático necessários para a compreensão das propriedades da entropia, características da antiga zona formalista, hoje constitutiva na zona empírica do perfil conceitual de entropia e espontaneidade. Outra dificuldade apontada por PU2, é a parte conceitual da entropia, ambos, ela e a base matemática, são consideradas por ele como as principais dificuldades sentidas pelos discentes para a compreensão da entropia. Para Amaral (2004) o aprofundamento na compreensão da entropia em termos de aspectos conceituais se constitui como uma ferramenta relevante, pois pode ampliar as perspectivas de aplicação e contextualização da entropia em todos os níveis de ensino, resultando em importantes recursos para o entendimento desse conceito.

Com relação a décima questão, é possível perceber que PU2 reconhece a importância da abordagem do conceito de entropia em sala de aula. Para o professor: *“A questão que ela é relacionada coisas básicas do nosso dia a dia, com a espontaneidade dos processos, a mudança de estado das substâncias, entendeu? Ou seja, se você for olhar isso aí tá relacionado com praticamente toda base do entendimento dos fenômenos físicos e químicos”*.

Diante da resposta do professor, verificamos o quanto a entropia está presente no dia a dia dos estudantes e as diferentes possibilidades de contextualização para seu ensino. Amaral (2004) explica que a produção do conhecimento não está implicada somente nas características do conceito a ser ensinado do ponto de vista científico, mas também as mediações necessárias que contribuem para tornar o conceito significativo para aula, ou seja, a ação e reconhecimento do professor. Sendo assim, uma das possibilidades é tornar os conceitos importantes para a experiência cotidiana do aluno.

Na décima primeira questão PU2 reconhece a existência de possibilidades e níveis de complexidade para se falar da entropia. Ele explica que a forma como fala de entropia com seus

pares, isto é, com professores experientes, com maior tempo de experiência profissional e já possa ter o conceito de entropia mais estruturado ou tenha contato mais frequente com esse conceito do que estudantes de licenciatura, que em muitos casos, está tendo o primeiro contato com o conceito, não é mesma com a qual trata entropia em sala de aula.

Com relação da décima segunda questão, PU2 afirmou não ter ainda se aprofundado em leituras que discorrem sobre a reforma do Novo Ensino Médio sobre a abordagem do conceito de entropia, mas em virtude da demanda de alguns alunos, notou que alguns conteúdos foram suprimidos, entre eles os números quânticos. Na fala do professor: *“Eu andei vendo por conta de uns alunos, andei vendo por parte da estrutura eletrônica, foi muito prejudicada, né? Até em relação a números quânticos que foi suprimida muita coisa, é impressionante”*. Mas o professor ressaltar que o fato a abordagem da entropia tiver sofrido reduções, é lamentável: *“Mas se foi reduzida eu só tenho a lamentar, porque reduziu o que seja era fraco, porque do jeito que estava já era falho, se foi reduzido mais ainda, ai...”*

O ensino do conceito em estudo no Ensino Médio, dessa vez, relacionado as possíveis dificuldades encontradas nesse nível de ensino e dos professores na abordagem desse conceito, visto que a literatura aponta que na maioria dos casos, a entropia não chega a ser trabalhada (AMARAL, 2004). P2 respondeu: *“Porque eu acho que deveria ser colocado, dado ênfase em vários assuntos, a entropia é um deles, o professor da licenciatura, ele deveria ser treinado para capacitar o aluno, o licenciando para poder fazer experimentos usando materiais simples, porque ele aprender como fazer um experimento, como fazer um equipamento... a realidade do Ensino Médio aí fora, principalmente da rede pública é bem diferente. Então, mesmo quando tem um laboratório é preciso o professor ter conhecimento pra pegar aquele laboratório e saber montar.”*

A partir da fala do professor, inferimos que essa problemática pode estar relacionada a ação docente e a sua formação inicial, que muitas vezes não conseguem preparar o licenciando para lidar com as diversas situações e conteúdo que fazem parte da sua demanda. Segundo PU2, os cursos de licenciatura não preparam o professor para o desenvolvimento de atividades, a exemplos, experimentais, de modo que facilite ou contribua com possibilidade para seu ensino e aprendizagem, um deles o ensino da entropia.

Com relação a décima terceira questão, PU2 afirma haver uma definição mais comum e frequente para se trabalhar a Segunda Lei em suas aulas, como ele mesmo disse: *“Tem sim, a*

definição de Clausius porque é, eu considero a que é mais fácil de você trabalhar, inclusive de exemplificar numericamente porque é importante para o aluno saber como calcular a entropia". A partir da fala exibida deste extrato observamos que PU2 tenta explicar entropia não apenas em termos conceituais, mas também a relação matemática que envolve o entendimento do conceito. Segundo Laidler (1993, *apud* AMARAL, 2004), a palavra entropia foi cunhada por Clausius, em 1865, para designar uma nova propriedade da matéria. Nesse trabalho o autor propõe também uma nova versão para a Segunda Lei da Termodinâmica. Desde modo, a partir da perspectiva de Clausius para expressar quantitativamente o conceito de entropia utiliza-se da definição de Clausius $\Delta S = \Delta Q / T$, exemplificando com valores numéricos e mostrando como a entropia de um sistema comporta-se quando recebe calor, cede calor e não troca calor com outro sistema.

Para análise desta questão vale destacar, ainda, que Clausius, nesse período, distinguiu processos reversíveis de processos irreversíveis a entropia. Sendo assim, uma grandeza que aumenta com a dissipação e atinge o seu valor máximo, quando todo o potencial de transformação da energia está esgotado. Além disso, Lynskey (2019) observa que o conceito de entropia possui interpretações ambíguas por razões históricas atreladas a Segunda Lei da Termodinâmica que, por si só, é permeada por diferentes interpretações desde a sua formulação no século XIX.

Com relação a décima quarta questão PU2 esclarece que a partir do momento que o aluno perceber as diferentes combinações as quais a entropia está envolvida, o discente poderá se convencer que seu estudo é relevante, básico e estruturante. Segundo PU2: *"Aí é uma consequência lógica, né? Quando ele ver as várias nuances da entropia, ele vai se convencer realmente que ela é um assunto básico e estruturante, porque dela ele vai entender reações químicas, dela ele vai entender espontaneidade, dela ele vai entender porque uma substância muda de fase, ele vai entender porque um soluto quando é adicionado aumenta a temperatura de vapor, ou seja, ele vai relacionar entropia como basicamente tudo"*.

Para a décima quinta pergunta o professor explica que não 100% dos alunos, mas que considera que boa parte dos alunos conseguem compreender sua mensagem quanto aos objetivos propostos por eles no programa disciplinar de FQ1, como ele mesmo disse: *"Sim, na média sim, porque em Ciência a gente não tem nada absoluto. Então, é claro, você como professora sabe que a gente nunca conseguiu atingir 100%, mas eu tenho certeza que a mensagem no final fica dada, eu tenho certeza de que o aluno quando passa por mim, ele sai*

com aquela ideia porque se tem uma coisa que eu bato direto (...) Então, o aluno sempre ouviu falar que a entropia é a desordem, a desordem sempre aumenta, mas porque isso? Qual a relação disso aí com o tempo? Então, é interessante porque você força o aluno a ler, sempre puxando para a entropia termodinâmica, eu tento contextualizar ao máximo minhas aulas”.

A partir do extrato, podemos perceber, mais uma vez a relevância do papel mediador do professor para aprendizagem e para que os alunos consigam ver sentido do que está sendo ensinado por meio das articulações feitas por ele, a indicação de materiais didáticos que estimulem esse interesse. Outro ponto importante no extrato é quando o professor fala que sempre tenta contextualizar ao máximo suas aulas. Para Silva e Nuñez (2007), no processo de aprendizagem, a contextualização pode ser uma ferramenta importante para a compreensão de conceitos e procedimentos da Química, além de ajudar no desenvolvimento de percepções e ações diante de questões sociais e é uma possibilidade para a compreensão e visualização do caráter polissêmicos que os conceitos exibem a partir dos seus significados que circulam em diversos meios. Inclusive, podemos compreender a partir de um contexto epistemológico que a predominância em associar entropia como desordem possa estar relacionada a sua aproximação com a experiência cotidiana (MARQUES; SANTANA, 2020). Assim, a partir da Teoria dos Perfis Conceituais, Mortimer e El-Hani (2014) consideram também a articulação entre os contextos uma importante relação das diversas formas que os sujeitos pensam em diferentes contextos e suas interrelações com os conhecimentos científicos.

Com relação a décima sexta questão, PU2 reforça que as principais dificuldades sentidas pelas discentes acerca do ensino do conceito de entropia está relacionada a base matemática e a parte conceitual. Para Amaral (2004), o resgate da discussão conceitual para entropia e espontaneidade e da Termodinâmica pode se denotar como uma inovação curricular e envolver questões mais amplas nesse campo de estudo, constituindo uma possibilidade e ferramenta importante para o ensino e aprendizagem desses conceitos.

Para a décima sétima questão o professor respondeu que entre os conceitos termodinâmicos, o de trabalho é o que os discentes sentem mais dificuldade em compreender. Nas palavras do professor: *“Trabalho. Ele associa com uma coisa de física lá, calculado... Mas ele não associa isso aí como sendo uma energia que o sistema pode produzir. Eu uso, até antes de chegar na entropia”.*

Quando perguntado ao professor se a dificuldade em compreender trabalho era a mesma referente a compreensão da entropia, PU2 afirma que não. Como ele mesmo disse: “*Não, entropia eles já vão coma ideia de que é a desordem*”. Ou seja, não há percepção de dificuldades sentidas por estes alunos sobre a entropia em virtude da ideia de desordem consolidada no entendimento deles. De uma forma geral, Viard (2005) argumenta que os alunos associam entropia a desordem espacial e esquecem ou não são apresentados a parte cinética da entropia. Segundo Marques e Santana (2020), o que se tem visto comumente nos diferentes níveis de ensino é uma associação irrestrita do conceito de entropia como desordem de um sistema, ao passo que não há evidências de reavaliações desse conceito tanto nesses níveis de ensino quanto em materiais didáticos que visem incorporar todas as possibilidades teóricas ou interpretações desse conceito.

Diante das respostas de PU2 para a entrevista semiestrutura, descritas no Quadro 17, consideramos que os resultados apontam para: (i) uma abordagem para entropia que possibilita o desenvolvimento de atividades que visam dinamizar seu ensino, entre as possibilidades o uso de atividades experimentais cuja prática favorece discussões sobre entropia a partir de uma ótica racionalista; (ii) que o professor adota medidas que reconhecem a complexidade envolvendo o conceito de entropia e a importância de se entender tal conceito; (iii) as zonas do perfil conceitual de entropia e espontaneidade e as abordagens que prevalecem na fala do professor, têm-se a presença de uma abordagem empirista, mas também ligada a zona racionalista, em que há, por parte do professor, o interesse em proporcionar aos discente uma visão ampla do conceito.

3.5 Síntese dos resultados encontrados nas quatro etapas metodológicas

A seguir, no Quadro 31, apresentamos uma síntese geral dos resultados encontrados em cada uma das etapas neste estudo.

Quadro 4: Síntese dos resultados encontrados nas quatro etapas metodológicas.

Etapas metodológicas	Resultados
Aplicação de questionário com professores de Química do Ensino Médio	Os professores não abordam o conceito de entropia em suas aulas. Associam entropia majoritariamente como desordem. Em sua maioria, não reconhece a dificuldade envolvendo a compreensão do conceito.

Análise dos livros didáticos de Química do Ensino Médio	Poucos livros didáticos trazem o estudo do conceito de entropia em seu escopo. Há a predominância da zona empírica.
Análise de dois programas disciplinares de Química	Cada programa corresponde a ação pedagógica do responsável pela sua execução. No programa disciplinar 1 não foi possível visualizar quais zonas do perfil conceitual em estudo podem ser mobilizadas devido à ausência mais clara de exemplos ou conteúdos que serão ensinados durante a disciplina. Já o programa disciplinar 2 apresenta em sua estrutura através da descrição dos conteúdos e unidades a serem abordadas que há propiciado a mobilização das zonas empírica e racionalista, não havendo indícios da zona perceptiva/intuitiva.
Aplicação de entrevista semiestruturada com professores do curso de licenciatura em Química	De acordo com as entrevistas realizadas, muitas respostas tiveram divergência. Entre os professores entrevistados, um realiza uma abordagem para entropia somente a partir de uma visão macroscópica, enquanto o outro utilização de uma ótica microscópica. A abordagem do conceito de entropia depende do reconhecimento pelo professor acerca da importância em se compreender o conceito e suas propriedades, visto que a entrevista foi aplicada com dois professores que ministram desde início da profissão a disciplina de físico-química e apenas um deles reconhece a dificuldade de entender o conceito, sua importância para o ensino e aprendizagem e sua participação e presença numa variação de fenômenos em diferentes âmbitos. Desde modo, PU1 tende a manifestar uma compreensão para entropia apenas como desordem, enquanto PU2 mobiliza e motiva por meio das suas aulas diferentes interpretações disponíveis na literatura, possibilitando, inclusive seu entendimento a nível microscópico. Entendemos que esses fatores podem estar ligados ao tempo de experiência profissional dos sujeitos, pois um professor (menor tempo de experiência mantém a abordagem da entropia de forma bem limitada, enquanto o outro amplia o repertório de possibilidades para o estudo do conceito.

Fonte: Própria

Diante do exposto, apresentamos, no capítulo a seguir, as considerações finais deste trabalho, considerando o conjunto de dados coletados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, nos propomos a analisar como conceito de entropia é abordado nos livros didáticos, em programas disciplinares e por professores de Química do Ensino Médio e Ensino Superior, identificando diferentes modos de pensar sobre esse conceito a partir de zonas do perfil conceitual. Deste modo, o propósito desta pesquisa foi apresentar um panorama geral acerca da abordagem desse conceito, analisando os modos de pensar (intuitivo, empírico/formalista ou racionalista) que prevalecem nas abordagens feitas a entropia no conjunto de dados, apontando dificuldades e possibilidades para ampliar os estudos sobre esse conceito nos níveis médio e superior.

Assim sendo, os resultados alcançados a partir do nosso primeiro objetivo específico, que consistiu em analisar como o conceito de entropia é abordado em fonte documentais, especificamente livros didáticos de Química do Ensino Médio e programas disciplinares do curso de licenciatura em Química, apontam que a maioria dos livros didáticos do Ensino Médio não costumam abordar esse conceito, e aqueles que o faz, aborda de forma reduzida, principalmente como a reforma do Novo Ensino Médio. Com isso, poucos professores do Ensino Médio tendem a trabalhar esse conceito em suas aulas. Com relação a esses profissionais, foi demonstrado que não existe um entendimento real envolvendo as propriedades do conceito de entropia, uma vez que os professores de nível médio investigados neste estudo apresentam contradições nas respostas, como por exemplo, ao considerar que não possuem dificuldades para a compreender o conceito, consideram sua abordagem importante em sala de aula, mas mesmo assim não a realizam. Além disso, existe uma predominância quanto a associação da entropia com o termo desordem sem maiores respaldos, como se desordem fosse a única definição conhecida para entropia, indícios de modos de pensar a zona empírica do perfil conceitual de entropia e espontaneidade.

Com relação aos programas disciplinares analisados, consideramos que o primeiro não abre grandes espaços para a discussão relacionada aos aspectos conceituais da entropia, tampouco para o reconhecimento e compreensão envolvendo as diferentes definições e modos de pensar atribuídos ao conceito, enquanto o segundo programa demonstra, a partir da sua descrição discutir aspectos conceituais importantes para a compreensão do conceito e suas definições. Tal fato nos leva a refletir que um grupo de licenciandos poderá aprender o conceito de entropia apenas como desordem e outro grupo além da desordem, uma compreensão a nível

microscópico atômico molecular, contribuindo sobremaneira para a abordagem, ou não, desse conceito no Ensino Médio. Quanto as zonas do perfil conceitual nesta etapa, consideramos que o programa disciplinar 1 não dá margem a interpretações precisas sobre os modos de pensar entropia, pois considera de forma explícita apenas aspectos ligados ao formalismo matemático. Já o programa disciplinar 2 apresenta indícios que possam ser explorados compromissos ligados a zona empírica e racionalista.

A partir da entrevista semiestrutura, reforçamos o resultados indicado pelos programas disciplinares, visto que o professor responsável pelo programa disciplinar 1 reconhece entropia mesmo em diferentes contextos, apenas como desordem/bagunça, compromissos da zona empírica, além de não indicar grandes dificuldades para compreender o conceito de entropia, tampouco a importância em estudá-lo. Quanto ao segundo professor entrevistado, responsável pelo programa disciplinar 2 aqui analisado, reconhece a complexidade envolvendo o ensino e aprendizagem desse conceito e expõe a partir de sua fala compromissos da zona empírica e racionalista do perfil conceitual de entropia e espontaneidade.

A partir deste estudo, consideramos como limitação os aspectos que reduzem as possibilidades quanto a abordagem do conceito e quanto ao seu entendimento por parte dos alunos e professores, por exemplo, o reconhecimento de entropia apenas como desordem e conseqüentemente ao seu não entendimento, visto que os resultados apontam que, devido a essa associação, não se percebem todas as nuances necessárias para sua compreensão, ou seja, não se sabe ao certo o que é entropia. Além da clara ausência de atividades e estratégias práticas envolvendo o conceito e o pouco espaço que ela ocupa em materiais didáticos.

Do mesmo modo, entendemos como possibilidades o uso de ferramentas e adoção de ações desenvolvidas a fim de abranger e dinamizar a abordagem do conceito de entropia em sala de aula, como o uso de diferentes materiais didáticos e paradidáticos que tragam uma boa abordagem do ponto de vista conceitual sobre entropia e conteúdos a ela relacionada, uso de atividades práticas cuja execução permita esse tipo de discussão e uso de aporte teóricos que possibilitam o planejamento e uso dessas ferramentas, explorando modos de pensar sobre entropia, não priorizando um modo de pensar em detrimento do outro, a exemplo a Teoria dos Perfis Conceituais (MORTIMER; EL-HANI, 2014), visto que há necessidade de abordagens que reconheçam e explorem a pluralidade de modos de pensar o conceito e, assim, o seu entendimento. Além disso, consideramos, a partir dos dados coletados, que o modo de pensar empírico prevaleceu durante toda a coleta, em virtude da tímida aparição da zona racionalista

(que foi evidenciada apenas no LD5 e de forma mais concisa da fala de PU2). Já a zona perceptiva/intuitiva, não houve indícios da aparição. Além disso, consideramos, a partir dos resultados que a abordagem ou não abordagem do conceito de entropia, assim como a forma como ele é abordado, depende diretamente do professor e do seu papel enquanto mediador do conhecimento. Com isso, reconhecemos a importância de se investir na formação inicial e continuada de professores, uma vez que o que é aprendido por ele durante esse processo implica diretamente na sua ação do docente e conseqüentemente no que seus alunos irão aprender e como irão aprender.

A partir do exposto, consideramos que a Teoria dos Perfis Conceituais se consolida como uma importante estratégia metodológica proposta aos estudantes e professores para que possam agir de forma ampla e efetiva sobre o mundo, conhecendo os modos de pensar associados ao conceito, contextos nos quais possui valor pragmático e, mais ainda, que os professores tomem consciência acerca do perfil conceitual de entropia e espontaneidade, a fim de utilizá-lo como ferramenta para planejamento e construção de significados em sala de aula e como possibilidade para que professores e alunos possam compreender que o conceito de entropia vai muito além da sua associação como desordem e a importância do seu entendimento dentro da ocorrência de processos físicos e químicas.

Pretendemos, também, como perspectivas futuras, levar discussões concernentes a Teoria dos Perfis Conceituais para a sala de aula, contribuindo com novas possibilidades dentro da formação inicial e continuada de professores de Química para que se tornem conscientes sobre a diversidade de significados que o conceito de entropia dispõe e possam, a partir desse conhecimento, melhor balizar a construção de significados e o processo de conceituação e assim, formar professores e estudantes mais conscientes. Pretendemos ainda, aprofundar a pesquisa com pelo menos duas das etapas do estudo, além disso, aprofundar as leituras e investigações acerca da Teorias dos Perfis Conceituais, como forma de contribuir mais com o Ensino de Ciências e como Programas de Pesquisa voltado para o estudo e pesquisa dessa teoria.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, U. F. **Sobre o conceito de entropia nos livros didáticos brasileiros para o ensino médio**. Monografia (Graduação em Licenciatura em Física). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Caruaru, 2011.

ALMEIDA, U. F. **Uma proposta para o ensino de entropia no Ensino Médio**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em ensino de Física-Mestrado Profissional em Ensino de Física). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Natal, 2011.

AMARAL, E. M. R. Visões e concepções sobre a transformação da matéria: uma trajetória histórica para a proposição dos conceitos de entropia e espontaneidade de processos. In: SIMÕES NETO, J. E. **Histórias da Química**, Curitiba, Appris, 2017.

AMARAL, E. M. R. **Perfil conceitual para a segunda lei da termodinâmica aplicada as transformações químicas: a dinâmica discursiva em uma sala de aula de Química do Ensino Médio**. Tese (Doutorado em Educação). Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2004.

AMARAL, E. M. R.; MORTIMER, E. F. Uma proposta de perfil conceitual para o conceito de calor. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**. v.1, n.3, p.1-16. 2001.

AMARAL, E. M. R.; MORTIMER, E. F. Un perfil conceptual para entropía y espontaneidad: una caracterización de las formas de pensar y hablar en el aula de química. **Educación Química**, n. 3, p. 60-75, 2004.

AMARAL, E. M. R.; MORTIMER, E. F. Proposta metodológica para análise da dinâmica discursiva em sala de aula. **Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**. Atas do V ENPEC, n. 5. 2005.

AMARAL, E. M. R.; MORTIMER, E. F.; SCOTT, P. A.; Analisando relações entre aspectos epistemológicos e discursivos na sala de aula de química. In: **IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, Bauru, ABRAPEC, 2003.

AMARAL, E. M. R.; MORTIMER, E. F.; SCOTT, P. A. Conceptual Profile of Entropy and Spontaneity: Characterising Modes of Thinking and Ways of Speaking in the Classroom. In: MORTIMER, E. F., EL-HANI, C. N. (orgs.) **Conceptual Profiles: A Theory of Teaching and Learning Scientific Concepts**. Springer, 2014.

ALVES, J. Q.; MARTINS, T. J.; ANDRADE, J. J. Documentos normativos e orientadores da educação básica: a nova BNCC e o ensino de química. **Currículo sem Fronteiras**. v. 21, n. 1, p. 241-268, 2021.

ARAÚJO, A. O. **O perfil conceitual de calor e sua utilização por comunidades situadas**. Belo Horizonte. Tese (Doutorado em Educação) - Programa de Pós-Graduação em Educação - Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2014.

ARAÚJO, A. O.; MORTIMER, E. F. Estudo preliminar sobre a utilização do perfil conceitual de calor em curso para manutenção e instalação de aparelhos de refrigeração. In: **XVI Encontro Nacional de Ensino de Química/ X Encontro de Educação Química da Bahia/BA**, 2014.

AURANI, K. M. As ideias iniciais de Clausius sobre entropia e suas possíveis contribuições à formação de professores. **História das Ciências e Educação**. v. 11, n. 1, p. 155-163, 2018.

ATKINS, P.; PAULA, J. **Físico-Química**, Vol. 1. 8. ed. São Paulo: LTC, 2010.

BACHELARD, G. **A Filosofia do não**, In: Os pensadores. São Paulo: Abril Cultural, p 01-87, 1984.

BAKHTIN, M. **Os gêneros do discurso**. São Paulo: Editora 34, 2016.

BALTIERI, R. S. **As Naturezas da Ligação Covalente: uma proposta de Perfil Conceitual**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Química- Mestrado em Química) - Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2020.

BRAGA, S. M. A.; MORTIMER, E. F. Os gêneros de discurso do texto de Biologia dos livros didáticos de ciências. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v.3, n. 3, p. 56-73, 2003.

BRANCO, E. P.; ZANATTA, S. C. BNCC e Reforma do Ensino Médio: implicações no Ensino de Ciências e na formação do professor. **Revista Insignare Scientia**, v. 4, n. 3, p. 58-77, 2021.

BRASIL. Ministério da Educação. **PNLD 2018: apresentação** – guia de livros didáticos – ensino médio/ Ministério da Educação – Secretária de Educação Básica – SEB – Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. Brasília, DF: Ministério da Educação, Secretária de Educação Básica, 2017.

BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**. Ministério da Educação – Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Brasília: MEC/ SEMTEC, 2000.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: Ministério da Educação, 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/a-base>. Acesso em: 9 dez. 2022.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular**: ensino médio. 2018. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=85121-bncc-ensino-medio&category_slug=abril-2018-pdf&Itemid=30192. Acesso em: 11 nov. 2022.

BRASIL. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional**, Lei nº 9.394, de 20/12/1996.

CAIADO, R. G.G. et al. Metodologia de Revisão Sistemática da Literatura com Aplicação do Método de Apoio Multicritério à Decisão Smarter. In: **XII Congresso Nacional de Excelência em Gestão & III INOVARSE, 2016, Rio de Janeiro. XII CNEG & III INOVARSE**, 2016. Disponível em: https://www.inovarse.org/sites/default/files/T16_002.pdf.

CARNOT, S. Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance. **Gauthier-Villars**, 1824.

CARNEIRO, M. L. **Reações Oscilantes e a Entropia**. Monografia (Licenciatura em Química) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2019.

- CAVALCANTE, H. B. L. et al. As muitas interpretações da Entropia e a criação de um material didático para o ensino da interpretação probabilística da Entropia. **Química nova na escola**, v 40, n 3, p. 169- 177, 2018.
- CAVALGANTE, T.; WATANABE, G. Apontamento para propor aulas de ciências mais complexas a partir do tema entropia. **Investigación en la Escuela**. n. 98, p. 45-61, 2019.
- CARVALHO, A. M. P.; GIL-PEREZ, D. **Formação de professores de ciências: tendências e inovações**. 10 ed. São Paulo, Cortez, 2011.
- COLOVAN, S. C. T.; SILVA, D. A entropia no ensino médio: utilizando concepções prévias dos estudantes e aspectos da evolução do conceito. **Ciência & Educação**, v. 11, n. 1, p. 90-117, 2005.
- COUTINHO, F. A. **A construção de um perfil conceitual de vida**. Tese (Doutorado em Educação). Universidade Federal de Minas Gerais – Faculdade de Educação, Minas Gerais, 2005.
- CUNHA, J. A. R.; GENOVESE, L. G. R.; QUEIROS, W. P. Das Limitações Histórico-Conceituais das Apresentações do Conteúdo de Entropia nos Livros de Física do Ensino Superior a uma Proposta de Ensino Fundamentada em Fatos Históricos. **Acta Scientiae**. v. 20, n. 2, p. 117-134, 2018.
- DINIZ JÚNIOR, A. I. **Análise de zonas do perfil conceitual de calor e substância em professores de Química da rede pública de Serra Talhada**. 69 f. Monografia (Graduação em Licenciatura Plena em Química) – Universidade Federal Rural de Pernambuco/ Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada, 2014.
- DINIZ JÚNIOR, A. I. **Análise de Zonas do Perfil Conceitual de Substância que Emergem na Fala de uma Professora de Química da Rede Privada do Recife**. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Ensino -Mestrado em Ensino das Ciências). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2016.
- DINIZ JÚNIOR. A. I.; SILVA, J. R. R. T; AMARAL, E. M. R. Zonas do Perfil Conceitual de Calor que Emergem na Fala de Professores de Química. **Química nova na escola**, v. 37, n Especial 1, p. 55-67, 2015.
- DINIZ JÚNIOR, A. I.; AMARAL, E. M. R. A Heterogeneidade do Discurso Docente: falando sobre substâncias a partir de diferentes situações. **Revista Debates em Ensino de Química**, v.5, p. 42-54, 2019.
- FONTANA, R. D. B.; SANTOS, I. A. Os enunciados da Segunda Lei da Termodinâmica: uma possível abordagem. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 28, n. 1, p. 1-8, 2016.
- GAGLIADR, R. Como utilizar la historia de las ciências em la enseñanza de las ciências. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 6, p. 3, p. 291-296, 1988.
- GALVÃO, M. C. B.; RICARTE, I. L. M. Revisão Sistemática da Literatura: conceituação, produção e publicação. **Logeion- Filosofia da Informação**, v. 6, n. 1, p. 57-73, 2019.

GEHLEN, S. T.; DELIZOICOV, D. A função do Problema: aproximações entre Vygotsky e Freire para a educação em Ciências. **Investigação em Ensino de Ciências**, v 25 (A), p. 347-368, 2020.

GONÇALVES, I. M. **Por que a desordem? Uma reflexão sobre o conceito de entropia em um curso Superior de Química**. Monografia (Licenciatura em Química). Universidade Federal de Pernambuco, 2020.

GUERRA, E. L. A. **Manual Pesquisa Qualitativa**. Belo Horizonte: Anima Educação, 2014.

GUIMARÃES, C. R. A. **Abordando os Conceitos de Entropia e Espontaneidade a partir da Teoria dos Perfis Conceituais**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática-Mestrado em Educação em Ciências e Matemática). Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2019.

GUIMARÃES, C. R. A.; SILVA, F. C. V.; SIMÕES NETO, J. E. Modos de pensar sobre entropia e espontaneidade de licenciandos em química a partir da Teoria dos perfis conceituais. **Actio: Docência em Ciências**, v. 4, n. 2, p. 15-29, 2019.

LAJOLO, M. **Livro didático: um (quase) manual de usuário**. Em Aberto. Ano 16, n.69, p. 3-9. 1996.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. de A. **Fundamentos de metodologia científica**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

LAMBERT, Frank, L. **A Modern View of Entropy**. Occidental College. Chemistry. V.15. Iss.1. USA. 2006.

LIMA, G. S. **Análise de modos de pensar o conceito de substâncias mobilizadas por professores de ciências**, Monografia (Graduação em Licenciatura em Ciências da Natureza). Universidade Federal do Vale do São Francisco, 2018.

LIMA, M. A. C. C.; AGUIAR JÚNIOR, O.; CARO, C. M. A formação de conceitos científicos: reflexões a partir da produção de livros didáticos. **Ciência e Educação**, v. 17, n. 4, p. 855-871, 2011.

Lynskey, M. J. An Overview of the Physical Concept of Entropy, 2019. Disponível em: http://gmsweb.komazawau.ac.jp/wpcontent/uploads/2019/10/02_Michael_J_Lynskey.pdf. Acesso em: 20 de dez de 2022.

LOPES, A. R. C. Livros Didáticos: Obstáculos Verbais e Substancialistas ao Aprendizado da Ciência Química. **Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos**, v.74, n.177, p.309-334, 1993.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: Epu, 1986.

MARQUES, M. S.; SANTANA, W. S. O que é Entropia? Reflexões para o Ensino de Ciências. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. 1-20, 2020.

MARTINS, I. Analisando livros didáticos na perspectiva do Estudo dos discursos: compartilhando e sugerindo uma agenda para a pesquisa. **Pro-Posições**, v. 17, n. 1, 2006.

MELZER, E. E. M.; CASTRO, L.; AIRES, A.; GUIMARÃES, O. M. Modelos atômicos nos livros didáticos de Química: obstáculos à aprendizagem? In: **Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – VII ENPEC**, 2009.

MENEZES, G.F.F. **Entropia**: Uma proposta para o ensino não universitário. Monografia (Licenciatura em Física). 2005. 17 p. Instituto de Física, Universidade Federal da Bahia. 2005.

MINAYO, M. C. S. **O desafio do conhecimento**: pesquisa qualitativa em saúde. 8 ed. São Paulo: Hucitec, 2004.

BRASIL; Ministério da Educação/ Secretaria de Educação Fundamental. **Guia Nacional do Livro Didático (6º ao 9º ano) – PNLD 2021**. Brasília 2020.

MOREIRA, M. C. A.; MARTINS, I. A recontextualização de discursos da pesquisa em educação em ciências em livros didáticos de ciências: um estudo de caso. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**. v. 15, p. 237-257, 2015.

MORTIMER, E. F. Conceptual change or conceptual profile change? **Science e Education**: Netherlands: Kluwer Academic Publishers, p. 268- 283, 1995.

MORTIMER, E. F. Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos? **Investigação em Ensino de Ciências**, v. 10, n. 29, p. 20-39, 1996.

MORTIMER, E. F. Para além das fronteiras da química: relações entre Filosofia, Psicologia e Ensino de química. **Química Nova na Escola**, v. 20, n. 2, p. 200-207, 1997.

MORTIMER, E. F. **Linguagem e formação de conceitos no ensino de ciências**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2000.

MORTIMER, E.F.; MACHADO, A. H. **Química no Ensino Médio**. São Paulo: Editora Scipione, 2016.

MORTIMER, E. F.; SCOTT, P. H. Analysing discourse in the science classroom. In LEACH, J.; MILLAR, R.; OSBORNE, J. (Eds) **Improving Science Education**: the contribution of research. Milton Keynes: Open University Press, 2000.

MORTIMER, E. F; SCOTT, P. H. **Meaning making in secondary science classrooms**. Maidenhead: Open University Press, 2003.

MORTIMER, E. F.; SCOTT, P.; AMARAL, E. M. R.; EL-HANI, C. N. Modeling Modes of Thinking and Speaking With Conceptual Profiles. In: PENA, S. D. J. **Themes in Transdisciplinary Research**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.

MORTIMER, E. F.; SCOTT, P.; EL-HANI, C. N. Bases teóricas e epistemológicas da abordagem dos perfis conceituais. In: **Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, 2009.

MORTIMER, E. F.; EL-HANI, C. N. **Conceptual Profiles**: A theory of teaching and learning scientific concepts. Berlin: Springer, 2014.

NOGUEIRA, M. R. A. **Sequência Didática para Abordagem da Segunda Lei da Termodinâmica no Ensino Médio**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação de Mestrado

Profissional em Física -Mestrado Profissional em Ensino de Física). Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2021.

OLIVEIRA, B. P. *et al.* Concepções Alternativas de Conceitos Termodinâmicos: uma Investigação sobre a Espontaneidade dos Fenômenos Naturais com Alunos dos Cursos Licenciatura em Química. **Revista Interface**, n. 18, p. 35-46, 2019.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. B. *et al.* Segunda Lei da Termodinâmica: uma revisão bibliográfica. **Cadernos de Graduação**, v. 7, n. 1, p. 97-106, 2021.

PINHÃO, F. L. **O tema saúde e ambiente no livro didático de ciências: uma abordagem discursiva**. Rio de Janeiro. 133 p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Saúde Mestrado em Educação e Saúde). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

PHILLIPS, B. S. **Pesquisa social: estratégias e táticas**. Rio de Janeiro, Livraria Agir Editora, 1974.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Trabalho Científico: Métodos e técnica da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

QUADROS, A. L. *et al.* A construção de significados em Química: A interpretação de experimentos por meio do uso de discurso dialógico. **Química nova na escola**, v. 37, n 3, p. 204-213, 2015.

REZENDE, F. S. Modelos mentais de átomos e moléculas em graduandos de nutrição: implicações para o ensino superior. In: **30ª reunião anual da SBQ**, ED – 121, 2007.

RIBEIRO, A. J. Elaborando um Perfil Conceitual de Equação: desdobramentos para o ensino e a aprendizagem de Matemática. **Ciência e Educação**, v. 1, n. 19, p. 55-71, 2013.

SABINO, J. D. **A utilização do Perfil Conceitual de Substância em sala de aula: do planejamento do Ensino à análise do processo de aprendizagem dos estudantes**. Recife. 154 p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ensino das Ciências Mestrado em Educação em Ciências). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2015.

SANTOS, R. C. P.; COSTA, C. V. P.; SILVA, J. L. Uma Análise sobre a Construção do Conteúdo de Entropia a partir de abordagens Lúdicas. In: **VI Congresso Internacional das Licenciaturas**, 2019.

SANTOS, M. C. G.; BALDAQUIM, M. J.; FANTINELLI, M.; MARANI, P.F.; KIOURANIS, N. M. M. Análise dos conceitos de entropia presentes nos livros didáticos PNLD 2015. In: **EDEQ- 17 anos: Rodas de formação de professores de Química-ENEQ**, 2017.

SANTOS, Z. T. S. **Ensino de Entropia: um enfoque histórico e epistemológico**. Tese (Programa de Pós-Graduação em Educação -Doutorado em Educação). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

SILVA, J. R. Livro Didático como documento histórico: possibilidades, questões e limites de abordagem. **Revista de Teoria da História**, v. 2, n. 5, 2011.

SILVA, T. S. **Entropia e Termodinâmica Estatística: uma proposta para o Ensino de Química no Ensino Médio**. Dissertação (Programa de Mestrado Profissional em Química em rede Mestrado Profissional em Química). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Caruaru, 2020.

SILVA, T. S.; SOARES NETO, L. A. Entropia e Desordem: Uma proposta de sequência didática para o ensino de Química no Ensino Médio. In: **VII Congresso Nacional de Educação**, 2020.

SILVA, K. R. D. **Análise de modos de pensar o conceito de calor na fala de dois professores de ciências da rede pública de São Raimundo Nonato-PI**. Monografia (Graduação em Licenciatura em Ciências da Natureza). Universidade Federal do Vale do São Francisco, São Raimundo Nonato, 2017.

SILVA, K. R. D. da; LIMA, G. de S.; DINIZ JÚNIOR, A. I. A heterogeneidade da fala de Professores de Ciências: Analisando modos pensar o conceito de calor. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 10, 2021.

SILVA, M. G. L.; NUÑEZ, I. B. **O contexto escolar, o cotidiano e outros contextos**. Disponível em www.agracadaquimica.com.br/quimica/arealegal/outros/187.pdf. Acesso em 08 de jan, 2023.

SIMÕES NETO, J. E.; AMARAL, E. M. R. Uma proposta para o perfil Conceitual de Energia nos Contextos do Ensino da Física e da Química. In: **XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências - XI ENPEC**, 2017.

SOUZA, J. V. R.; BAIRRO, G. P. Os livros didáticos de Geografia no Novo Ensino Médio. In: **VII Encontro Regional de Ensino de Geografia**, 2021.

VIARD, Jêrôme. Using the history of Science to Teach Thermodynamics at the University level: The Case of the Concept of Entropy. **Eighth International history and Philosophy, sociology & Teaching Conference**. University of Leeds, 2005. Disponível: www.ihpst2005.leeds.ac.uk. Acesso em: 09 de out de 2022.

VIGOSTSKI, L. S. The genesis of higher mental functions. In: J. V. Wertsch (Ed.). **The concept of activity in Soviet psychology**. Armonk, N.Y.: Sharpe, (p. 144-188), 1981.

VYGOTSKY, L. S. A construção do pensamento e linguagem. In: **Pensamento e linguagem**, v 2. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1989.

ZANELLI, J. C. Pesquisa qualitativa em estudos da gestão de pessoas. **Estudos de Psicologia**, v. 7, p. 79 – 88.

APÊNDICE 1



Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE
 Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação- PRPPG
 Programa de Pós-Graduação em Ensino das Ciências-PPGEC

Prezado (a) Professor (a),

Este questionário será usado como dados para a pesquisa de Mestrado Acadêmico, do Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências- PPGEC, da Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE, a pesquisa tem como título: Análise sobre diferentes modos de pensar entropia: como esse conceito é abordado pelos professores e pelos livros didáticos. Objetivamos através deste estudo analisar como conceito de entropia é abordado nos livros didáticos, em componentes curriculares, por licenciandos e por professores de Química, identificando diferentes modos de pensar sobre esse conceito a partir de zonas do Perfil Conceitual, na cidade de São Raimundo Nonato - PI.

Sendo assim, a apreciação deste questionário se constituiu como uma das etapas metodológicas do nosso estudo. Asseguramos, que os dados aqui coletados seguirão todo rigor e cuidados éticos, preservando em todas as etapas a identidade dos participantes. Ao responder este questionário você concorda em participar desta pesquisa.

Agrademos as contribuições e participação neste estudo!

1- Você teve contato com estudos sobre o conceito de entropia no Ensino Médio? Se afirmativo, descreva sumariamente sua experiência.

() Sim () Não

Comentários:

2- Você tem ou teve dificuldade em entender o conceito de Entropia? Justifique.

3- Em poucas palavras, descreva como você compreende o que é Entropia.

4- Em sua opinião, existe relação entre entropia e espontaneidade? Justifique.

5- Você costuma abordar o conteúdo Entropia em aulas de química?

() Sim. Como costuma realizar essa abordagem? Você sente dificuldades? Justifique.

() Não. Por que não aborda esse conceito nas aulas?

6- A quais conteúdos químicos, o conceito de Entropia pode ser relacionado?

7- Você considera Entropia um conteúdo importante a ser trabalhado em aulas de Química? Justifique.

8- Considerando que, em geral, o conteúdo sobre entropia é pouco articulado em aulas de Química, a quais fatores você atribui essa ocorrência?

9- Ao abordar o conteúdo termodinâmica, quais pontos/conceitos são considerados e explorados durante a sua aula?

10- Na sua percepção, como os livros didáticos de Química do Ensino Médio abordam ou articulam a segunda lei da termodinâmica? Essa abordagem facilita a compreensão do conceito de entropia?

11. Você poderia citar um bom texto, livro didático ou paradidático, no qual você leu uma boa abordagem sobre entropia?

12- É possível perceber a aparição ou articulação dos conceitos de entropia e espontaneidade em eventos ou acontecimentos cotidianos? Dê exemplos.

APÊNDICE 2



Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação- PRPPG
Programa de Pós-Graduação em Ensino das Ciências-PPGEC

- 1- A quantos anos você leciona no Ensino Superior?
- 2- Antes desse período (como professora do Ensino Superior), quais suas outras experiências com a docência?
- 3- Qual sua formação acadêmica (graduação e pós-graduação)?
- 4- Há quanto tempo leciona a disciplina de Físico-química? Leciona outras disciplinas?
- 5- Em que disciplina de FQ, você aborda o conceito de entropia? E que importância é dada ao ensino desse conceito?
- 6- Com que outros conceitos, a entropia é articulada? E como esse conceito é abordado, teoricamente, com exemplos práticos, ou outros? Você poderia dar um exemplo?
- 7- Quais os principais recursos teóricos e práticos usados durante as aulas que tratam do conceito de entropia?
- 8- Ao dar início às aulas que tratam da Segunda lei da Termodinâmica, você procura conhecer as principais concepções expressadas pelos discentes? Se afirmativo, que concepções prévias os discentes apresentam? Isto é, quais concepções referentes ao conceito de entropia eles trazem das suas experiências advindas do Ensino Médio ou outras experiências?
- 9- Quanto as aulas práticas da disciplina de Físico-química I, quais são os experimentos relacionados a mobilização/estudo do conceito de entropia? Quais as principais dificuldades sentidas pelos discentes?
- 10- Para você, qual a importância de compreendermos as propriedades da entropia?
- 11- Como você utiliza o conceito de entropia no contexto acadêmico, em conversas, colaboração em projetos ou pesquisas com seus pares? (Por exemplo, em atividades da pós-graduação) As abordagens feitas em diferentes contextos é diferente da forma com que você ensina para seus alunos na graduação?
- 12- Como você vê a relação do ensino da Segunda Lei da Termodinâmica e do conceito de entropia na educação básica com a reforma do Novo Ensino Médio? Justifique sua resposta.
- 13- Existem algumas formas diferentes de se enunciar a Segunda Lei da Termodinâmica, qual ou quais seria(m) mais comumente(s) usada(s) nas suas aulas? Justifique sua resposta.
14. Para você, por que é importante os discentes aprenderem sobre a entropia? Como esse conceito pode contribuir para a formação deles?
- 15- Considerando os objetivos propostos no programa disciplinar da disciplina de FQI, você considera ou compreende a partir da interação em sala de aula e das avaliações que esses objetivos são atingidos levando para a compreensão do segundo princípio da termodinâmica, mas especificamente do conceito de entropia? Justifique sua resposta.
- 16- Quais são as principais dificuldades sentidas pelos discentes durante a abordagem do conceito de entropia?

17- O Ensino do Segundo Princípio da Termodinâmica envolvendo diferentes conceitos (energia, calor, temperatura, trabalho, entropia...). Entre esses conceitos, existe algum que os licenciandos demonstram sentir mais dificuldade?

ANEXO 1



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNABUCO – UFRPE
DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS- GRADUAÇÃO EM ENSINO DAS CIÊNCIAS – PPGE

**TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)
PARA PESQUISAS ON-LINE COM MAIORES DE 18 ANOS**

Convidamos você para participar como voluntário (a) da pesquisa **Análise sobre Diferentes Modos de Pensar Entropia: como esse conceito é abordado por professores, licenciandos e em programas disciplinares e livros didáticos**, que está sob a responsabilidade da pesquisadora **Kassielly Raimunda Dias da Silva**, endereço **Rua Manoel Roberto, centro, Coronel José Dias-PI com CEP 64793-000, telefone: (XX) XXXX-XXX e-mail kassiellydias8@gmail.com e orientação de Edenia Maria Ribeiro do Amaral**, (e-mail edeniamaral@ufrpe.br).

Todas as suas dúvidas podem ser esclarecidas com o responsável por esta pesquisa. Apenas quando todos os esclarecimentos forem dados e você concorde em participar do estudo, guarde uma cópia deste termo eletrônico em seus arquivos para consultar quando necessário. Você também pode solicitar aos pesquisadores uma versão deste documento a qualquer momento por um dos e-mails registrados acima.

Você está livre para decidir participar ou recusar-se. Caso não aceite participar, não haverá nenhum problema, desistir é um direito seu, bem como será possível retirar o consentimento em qualquer fase da pesquisa, também sem nenhuma penalidade. Caso deseje participar do estudo, a sua aceitação será registrada por **assinatura em documento impresso e formulário eletrônico antes de iniciar a coleta de dados através de questionário e gravação audiovisual**.

Descrição da pesquisa: A pesquisa busca responder como Como o conceito de entropia é abordado em livros didáticos, programas disciplinares e por professores ou futuro professores de Química. Deste modo, objetiva-se analisar como conceito de entropia é abordado nos livros didáticos, em programas disciplinares, por licenciandos e por professores de Química, identificando diferentes modos de pensar sobre esse conceito a partir de zonas do perfil conceitual, através da aplicação de um questionários, análise de livros didáticos de Químico do Ensino Médio e programas disciplinares do curso de licenciatura em Química e pela observação e gravação audiovisual de aulas do referido curso para professores em formação inicial.

- **Procedimentos para coleta de dados através de questionário:** a pesquisa será realizada por meio de um questionário on-line, constituído por 12 (doze) perguntas. Estima-se que você precisará de aproximadamente de 50 (cinquenta) minutos para

responder o questionário que será enviado a você por e-mail e/ou aplicativo de mensagem WhatsApp. A precisão de suas respostas é determinante para a qualidade da pesquisa. Deste modo, esse termo será destinado aos professores de Química do Ensino Médio, pois estes sujeitos participarão somente dessa etapa.

- **Procedimentos para coleta de dados através de entrevista:** Não se aplica.

- **Possíveis desconfortos causados pela pesquisa, medidas adotadas para minimização e providências em caso de dano.** Ao participar da pesquisa, você poderá sentir vergonha por não conseguir responder algumas questões ou em relação ao assunto abordado. Com isso, será propiciado uma conversa acolhedora e clara quanto ao uso e tratamento dos dados coletados. Além disso, você poderá responder ao questionário no momento e local que lhe causar maior conforto e segurança.

Você poderá combinar com as pesquisadoras, o momento mais conveniente para responder o questionário ou para observação e gravação audiovisual. Você tem o direito de não responder a uma ou mais perguntas sem precisar explicar a sua decisão.

Durante a pesquisa, as informações coletadas serão armazenadas em computador protegido com senha, firewall e antivírus. Periodicamente, serão realizadas cópias de segurança dos dados em Dispositivo USB e disco rígido externo. Esses cuidados serão tomados para contornar os riscos inerentes ao mundo virtual e as limitações dos equipamentos eletrônicos utilizados.

Todas as informações desta pesquisa serão confidenciais e divulgadas apenas em eventos ou publicações científicas, não havendo identificação dos voluntários, a não ser entre as responsáveis pelo estudo. Concluído o estudo, a pesquisadora armazenará as informações coletadas em dispositivo eletrônico local, (computador pessoal e dispositivo USB), apagando todo e qualquer registro de qualquer plataforma virtual, ambiente compartilhado ou “nuvem”. Os dados coletados ficarão guardados sob a responsabilidade da pesquisadora **Kassilly Raimunda Dias da Silva**, no endereço (acima informado), pelo período mínimo 5 anos.

Nada lhe será pago e nem será cobrado para participar desta pesquisa, pois a aceitação é voluntária, mas fica também garantida a indenização em casos de danos, comprovadamente decorrentes da participação na pesquisa, conforme decisão judicial ou extrajudicial. Se houver necessidade, as despesas para a sua participação serão assumidas pelos pesquisadores, assim como será oferecida assistência integral, imediata e gratuita, pelo tempo que for necessário em caso de danos decorrentes desta pesquisa.

Os voluntários serão beneficiados diretamente e indiretamente o estudo trará benefícios aos participantes, visto que contribui para o enriquecimento de conhecimentos sobre “Análise Sobre Diferentes Modos de Pensar Entropia: Como esse Conceito é abordado por Professores, Licenciandos e em Programas Disciplinares E Livros Didáticos”, estarão contribuindo para que seja possível apontar as principais dificuldades que limitam o ensino do conceito de entropia, conceito apontado na literatura como de difícil compreensão, por isso, muitas vezes acaba não sendo abordado. Além de contribuir para que seja possível apontar possíveis possibilidades que venham a contribuir com esse ensino, ajudando professores e alunos na sua compreensão e possível inserção do ensino.

Em caso de dúvidas relacionadas aos aspectos éticos deste estudo, você poderá consultar o Comitê de Ética em Pesquisa – CEP/UFRPE no endereço: Rua Manoel de Medeiros, S/N Dois Irmãos – CEP: 52171-900 Telefone: (81) 3320.6638 / e-mail: cep@ufrpe.br (1º andar do Prédio Central da Reitoria da UFRPE, ao lado da Secretaria Geral dos Conselhos Superiores). Site: www.cep.ufrpe.br .

O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFRPE, com Parecer Consubstanciado nº _____ e CAAE _____ **(somente preencher este campo após a aprovação)**

Tendo em vista os itens acima apresentados, eu, de forma livre e esclarecida, manifesto meu consentimento para participar da pesquisa.

() Aceito participar da pesquisa

() Não aceito participar da pesquisa

ANEXO 2

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNABUCO – UFRPE
DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS- GRADUAÇÃO EM ENSINO DAS CIÊNCIAS – PPGEC

**TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO
(PARA MAIORES DE 18 ANOS OU EMANCIPADOS)**

Convidamos o (a) Sr. (a) para participar como voluntário (a) da pesquisa **Análise sobre Diferentes Modos de Pensar Entropia: como esse conceito é abordado por professores, licenciandos e em programas disciplinares e livros didáticos**, que está sob a responsabilidade do (a) pesquisador (a) **pesquisadora Kassielly Raimunda Dias da Silva, endereço Rua Manoel Roberto, centro, Coronel José Dias-PI com CEP 64793-000, e-mail kassiellydias8@gmail.com e está sob a orientação de Edenia Maria Ribeiro do Amaral (inclusive ligações a cobrar).**

Todas as suas dúvidas podem ser esclarecidas com o responsável por esta pesquisa. Apenas quando todos os esclarecimentos forem dados e você concorde com a realização do estudo, pedimos que rubriche as folhas e assine ao final deste documento, que está em duas vias. Uma via lhe será entregue e a outra ficará com o pesquisador responsável.

Você estará livre para decidir participar ou recusar-se. Caso não aceite participar, não haverá nenhum problema, desistir é um direito seu, bem como será possível retirar o consentimento em qualquer fase da pesquisa, também sem nenhuma penalidade.

INFORMAÇÕES SOBRE A PESQUISA:

- **Descrição da pesquisa:** A pesquisa busca responder como Como o conceito de entropia é abordado em livros didáticos, programas disciplinares e por professores ou futuro professores de Química. Deste modo, objetiva-se analisar como conceito de entropia é abordado nos livros didáticos, em programas disciplinares, por licenciandos e por professores de Química, identificando diferentes modos de pensar sobre esse conceito a partir de zonas do perfil conceitual, através da aplicação de um questionários, análise de livros didáticos de Químico do Ensino Médio e programas disciplinares do curso de licenciatura em Química e pela observação e gravação audiovisual de aulas do referido curso para professores em formação inicial.
- **Esclarecimento do período de participação do voluntário na pesquisa, início, término e número de visitas para a pesquisa.** Para esta etapa da pesquisa que consiste na aplicação de uma entrevista com a professora de Físico-química do curso de

Licenciatura em Química. Estima-se que para esse processo será necessário de 3h e uma visita. A precisão de suas respostas é determinante para a qualidade da pesquisa.

- **RISCOS diretos para o voluntário** Ao participar da pesquisa, você poderá sentir desconforto, cansaço físico e receio por estar sendo vídeogravado (a). Com isso, será propiciado uma conversa acolhedora e clara quanto ao uso e tratamento dos dados coletados. Além disso, o local e espaço aonde ocorrerão as vídeogravações em ambiente que comumente frequenta e possui familiaridade.

- **BENEFÍCIOS diretos e indiretos para os voluntários** diretamente e indiretamente o estudo trará benefícios aos participantes, visto que contribui para o enriquecimento de conhecimentos sobre “Análise Sobre Diferentes Modos de Pensar Entropia: Como esse Conceito é abordado por Professores, Licenciandos e em Programas Disciplinares e Livros Didáticos”, estarão contribuindo para que seja possível apontar as principais dificuldades que limitam o ensino do conceito de entropia, apontado na literatura como de difícil compreensão, por isso, muitas vezes acaba não sendo abordado. Além de contribuir para que seja possível apontar possíveis possibilidades que venham a contribuir com esse ensino, ajudando professores e alunos na sua compreensão e possível inserção do ensino.

Todas as informações desta pesquisa serão confidenciais e divulgadas apenas em eventos ou publicações científicas, não havendo identificação dos voluntários, a não ser entre os responsáveis pelo estudo. Concluído o estudo, o pesquisador armazenará as informações coletadas em dispositivo eletrônico local, computador pessoal e dispositivo USB, apagando todo e qualquer registro de qualquer plataforma virtual, ambiente compartilhado ou “nuvem”. Os dados coletados ficarão guardados sob a responsabilidade da pesquisadora Kassielly Raimunda Dias da Silva, no endereço (acima informado), pelo período mínimo 5 anos.

Em caso de dúvidas relacionadas aos aspectos éticos deste estudo, você poderá consultar o Comitê de Ética em Pesquisa – CEP/UFRPE no endereço: Rua Manoel de Medeiros, S/N Dois Irmãos – CEP: 52171-900 Telefone: (81) 3320.6638 / e-mail: cep@ufrpe.br (1º andar do Prédio Central da Reitoria da UFRPE, ao lado da Secretaria Geral dos Conselhos Superiores). Site: www.cep.ufrpe.br .

(assinatura do pesquisador)

CONSENTIMENTO DA PARTICIPAÇÃO DA PESSOA COMO VOLUNTÁRIO (A)

Eu, _____, CPF _____, abaixo assinado pela pessoa por mim designada, após a leitura (ou a escuta da leitura) deste documento e de ter tido a oportunidade de conversar e ter esclarecido as minhas dúvidas com o pesquisador responsável, concordo em participar do estudo **ANÁLISE SOBRE DIFERENTES MODOS DE PENSAR ENTROPIA: COMO ESSE CONCEITO É ABORDADO POR PROFESSORES, LICENCIANDOS E EM PROGRAMAS DISCIPLINARES E LIVROS DIDÁTICOS**, como voluntário (a). Fui devidamente informado (a) e esclarecido (a) pelo (a) pesquisador (a) sobre a pesquisa, os procedimentos nela envolvidos, assim como os possíveis riscos e benefícios decorrentes de minha participação. Foi-me garantido que posso retirar o meu consentimento a qualquer momento, sem que isto leve a qualquer penalidade.

Por solicitação de _____, que é (deficiente visual ou está impossibilitado de assinar), eu _____ assino o presente documento que autoriza a sua participação neste estudo.

Local e data _____

Impressã

Assinatura do participante/responsável legal

Presenciamos a solicitação de consentimento, esclarecimentos sobre a pesquisa e o aceite do voluntário em participar. (02 testemunhas não ligadas à equipe de pesquisadores):

Nome:	Nome:
Assinatura:	Assinatura:

ANEXO 3

NOME DO COMPONENTE		COLEGIADO	CÓDIGO	SEMESTRE	
Físico-Química I		Licenciatura em Química		2022.1	
CARGA HORÁRIA TOTAL	TEÓRICA	PRÁTICA			
	45 h	15 h			
CURSOS ATENDIDOS			SUB-TURMAS		
Licenciatura em Química					
PROFESSOR (ES) RESPONSÁVEL (EIS)			TITULAÇÃO		
EMENTA					
Gases: Equação de Clapeyron, Equação de van der Waals e Equação de Virial. 1.ª lei da termodinâmica e termoquímica, 2.ª e 3.ª leis da termodinâmica. Energia Livre de Gibbs. Energia Livre de Helmholtz. Fugacidade e coeficiente de fugacidade dos gases. Experimentos relacionados ao conteúdo.					
OBJETIVOS					
OBJETIVO GERAL: Compreender os princípios básicos de Físico-Química I.					
OBJETIVOS ESPECÍFICOS:					
<ul style="list-style-type: none"> Entender os conceitos básicos de cada assunto ministrado na Físico-Química I; Realizar os procedimentos básicos de um laboratório de Físico-Química I. 					
METODOLOGIA					
A metodologia de ensino adotada para a parte teórica consiste em aulas expositivas e dialogadas presenciais, seguindo os protocolos de biosegurança, fazendo uso de recursos de vídeo, áudio e retroprojeto; durante as aulas haverá também a resolução de problemas e exercícios.					
As aulas práticas ocorrerão presencialmente no Laboratório de Química, seguindo os protocolos de biosegurança, com a realização de experimentos relacionados ao conteúdo ministrado na parte teórica, utilizando materiais de laboratório.					
FORMAS DE AVALIAÇÃO					
<ul style="list-style-type: none"> Avaliação de desempenho de forma escrita; Relatório das aulas práticas; Resolução de problemas e exercícios em sala de aula; Participação nas aulas; 					
A avaliação de desempenho da parte teórica ocorrerá a partir de três avaliações escritas. A cada avaliação será atribuída nota de zero a sete, já que as avaliações correspondem a setenta por cento da nota final. Para o cálculo da nota final da parte teórica será feita a média aritmética das notas obtidas nas avaliações. A avaliação de desempenho da parte prática da disciplina será realizada a partir dos relatórios manuscritos de cada aula prática, que correspondem a trinta por cento da nota final da disciplina. A cada relatório será atribuída nota de zero a três. Para o cálculo da nota final da parte prática será feita a média aritmética das notas obtidas nos relatórios. A média final da disciplina será igual a soma das médias das partes teórica e prática.					
CONTEÚDOS DIDÁTICOS					
Número	Cronograma de atividades			CH	CH acumulada
CONTEÚDO PROGRAMÁTICO					
1	Apresentação da disciplina; Gases Ideais			2	2
2	Gases Ideais			2	4
3	Aula Prática I			2	6
4	Aula Prática II			2	8
5	Gases Reais			2	10
6	Gases Reais			2	12
7	A Estrutura dos Gases			2	14
8	Aula Prática III			2	16
9	Aula Prática IV			2	18
10	1ª Avaliação			2	20
11	Princípio Zero da Termodinâmica			2	22
12	Aula Prática V			2	24
13	Primeiro Princípio da Termodinâmica			2	26
14	Primeiro Princípio da Termodinâmica			2	28
15				2	30
16				2	32
17	Primeiro Princípio da Termodinâmica			2	34

ANEXO 2



PROGRAMA DE DISCIPLINA

IDENTIFICAÇÃO

DISCIPLINA: Físico-Química L2	CÓDIGO:
DEPARTAMENTO: Química	ÁREA: FÍSICO-QUÍMICA
CARGA HORÁRIA TOTAL : 60 horas	NÚMERO DE CREDITOS: 3
CARGA HORÁRIA SEMANAL: TEÓRICAS: 3	PRÁTICA: 1 TOTAL: 4
PRE-REQUISITOS: Físico-Química L1	
CO-REQUISITOS: nenhum	

EMENTA

Esta disciplina destina-se ao estudo da Termodinâmica. Tratando dos tópicos: as leis da Termodinâmica; As principais funções de estado termodinâmicas e suas relações com o Equilíbrio Químico.

CONTEÚDOS

UNIDADES E ASSUNTOS

- 1 – A primeira Lei da termodinâmica.
 - 1.1 Trabalho, calor e energia
 - 1.2 Processos reversíveis e irreversíveis
 - 1.3 Calorimetria e capacidade calorífica
 - 1.4 Entalpia
 - 1.5 Coeficientes de expansão; compressão; tensão e coeficiente Joule-Thomson
 - 1.6 Propriedades da energia interna e da entalpia: Funções de estado, dependência com T, V e P.
 - 1.7 Termoquímica: Entalpia padrão; Entalpia nas transformações físicas; Entalpia de transformações químicas.
- 2 – A Segunda e a Terceira Lei da termodinâmica
 - 2.1 Processos espontâneo e a dispersão de energia
 - 2.2 Entropia: Definição estatística; definição termodinâmica
 - 2.3 Entropia como função de estado: a desigualdade de Clausius
 - 2.5 As Equações Fundamentais da Termodinâmica
 - 2.6 Propriedades da energia de Gibbs: Dependência com a Temperatura e Pressão; fugacidade, potencial químico.
- 3 – Equilíbrio e espontaneidade:
 - 3.1 Condições do equilíbrio e da espontaneidade
 - 3.2 Diagramas de fase: regra das fases
 - 3.3 A equação de Clapeyron e Clausius-Clapeyron