

SAMIRA CASSOTE GRANDI FRANÇA

**ESTRATÉGIAS DE ENSINO METACOGNITIVAS COMO
INSTRUMENTO PARA TRABALHAR OS INVARIANTES
OPERATÓRIOS SOBRE O CONCEITO DE CALOR NO ENSINO
MÉDIO**

MARINGÁ – PR

2023

SAMIRA CASSOTE GRANDI FRANÇA

**ESTRATÉGIAS DE ENSINO METACOGNITIVAS COMO
INSTRUMENTO PARA TRABALHAR OS INVARIANTES OPERATÓRIOS SOBRE
O CONCEITO DE CALOR NO ENSINO MÉDIO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e a Matemática do Centro de Ciências Exatas da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Educação para a Ciência e a Matemática.

Área de concentração: Ensino e Aprendizagem
na Educação Científica

Orientador: Prof. Dr. Luciano Carvalhais
Gomes

MARINGÁ

2023

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá - PR, Brasil)

F815e

França, Samira Cassote Grandi

Estratégias de ensino metacognitivas como instrumento para trabalhar os invariantes operatórios sobre o conceito de calor no ensino médio / Samira Cassote Grandi França. -- Maringá, PR, 2023.

242 f.color., figs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Carvalhais Gomes.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Exatas, Departamento de Física, Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e a Matemática, 2023.

1. Metacognição . 2. Calor. 3. Teoria dos campos conceituais. 4. Ensino de física. I. Gomes, Luciano Carvalhais, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Exatas. Departamento de Física. Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e a Matemática. III. Título.

CDD 23.ed. 530.07

SAMIRA CASSOTE GRANDI FRANÇA

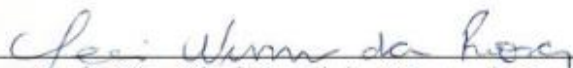
Estratégias de Ensino Metacognitivas como instrumento para trabalhar os invariantes operatórios sobre o conceito de calor no ensino médio

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e a Matemática do Centro de Ciências Exatas da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em *Ensino de Ciências e Matemática*.

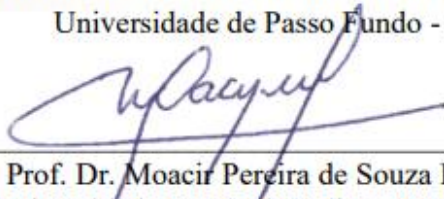
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Luciano Carvalhais Gomes
Universidade Estadual de Maringá - UEM



Profa. Dra. Cleci Teresinha Werner da Rosa
Universidade de Passo Fundo - UPF



Prof. Dr. Moacir Pereira de Souza Filho
Universidade Estadual Paulista - UNESP



Prof. Dr. Marcos Cesar Danhoni Neves
Universidade Estadual de Maringá - UEM



Prof. Dr. Michel Corci Batista
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

Maringá, 09 de fevereiro de 2023

Dedico esse estudo àqueles que me influenciam: meu esposo e meus pais. Gratidão pelo esforço, amor, compreensão, companheirismo e força dedicada nesta longa e difícil jornada, em especial ao nosso anjinho (*in memoriam*) que esteve presente em meu ventre e ao nosso querido filho Marcelo Neto, que tem compartilhado aqui de dentro a etapa final deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço antes de tudo a Deus pelo dom da vida, por ter me dado saúde, força e discernimento para superar todas as adversidades surgidas durante este longo processo de aprendizagem.

Ao meu esposo Marcelo, por todo incentivo à minha formação, pela preocupação, carinho, companheirismo, compreensão nos momentos de ausência, paciência, e por ser sempre a luz que me ajuda a encontrar outras soluções para os problemas, presença essencial nesta caminhada.

Aos meus familiares, tios, tias, primos, sogra e sogro, por todo carinho, cuidado e incentivo ao longo dessa jornada, que iniciou ainda na graduação. Em especial aos meus pais Vera e Sebastião, pelo exemplo conceitual de família e dedicação, ao qual aprendi a nunca desistir dos meus sonhos. Por não medirem esforços para me ajudar a concretizar o sonho da pós-graduação. Por todo carinho, amor, dedicação e responsabilidade na formação dos meus primeiros conceitos. Ao meu irmão Severaldo pelo auxílio, amor e incentivo durante toda minha formação.

As amigas que estiveram ao meu lado, que me apoiaram e não me deixaram desistir: Olivia, Poliana, Priscila, Cíntia, Nadima, Carol, Solange, Janice e Mayck Willian. Obrigada pelas conversas amigas, pelas trocas de conhecimento, pelos conselhos, por me trazer foco e acima de tudo por acreditarem que eu era capaz, mesmo quando minhas fraquezas e cansaço me impediam de ver.

Também não poderia deixar de agradecer aos motoristas: Lausio, Edson (*in memoriam*), Marcelo, Júnior, Luiz Carlos, Orlando, Carlão e Flávio, pelos auxílios nos deslocamentos à Maringá, sem os quais nada disso poderia ter se tornado realidade.

Ao professor Luciano Carvalhais Gomes, expressei meu respeito, carinho e admiração. Caminhamos juntos nesse processo de aprendizado desde o início do projeto PIBID, ao qual me fez conhecer Piaget, e me apaixonar pelo ensino, por isso, sou imensamente grata pelos seus ensinamentos e por ter o privilégio de ser conduzida por você tanto no mestrado quanto ao longo dessa caminhada de doutoramento. Obrigada por toda atenção, dedicação, paciência, compreensão, sem sombra de dúvidas, nada teria sido igual sem os seus conhecimentos. Você foi fundamental para o meu desenvolvimento e para a concretização desse sonho. Muito obrigada!

Sou grata aos membros da banca, Prof^a. Dr^a. Cleci Teresinha Werner da Rosa, Prof. Dr. Michel Corci Batista, Prof. Dr. Marcos Cesar Danhoni Neves e Prof. Dr. Moacir Pereira de Souza Filho, por terem aceito o convite em contribuir com o desenvolvimento desse trabalho. Obrigada pela atenção, pelas leituras e sugestões.

Agradeço profundamente a todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e a Matemática da UEM, pela atenção, pelos ensinamentos, os momentos de diálogo e todas as reflexões proporcionadas durante às aulas.

Agradeço também a todos os alunos a quem eu tive o privilégio de conhecer e ensinar desde 2014, espero ter contribuído para que pudessem enxergar a Física de uma forma diferente, assim como vocês foram responsáveis pela profissional que sou. Agradeço em especial as

turmas do segundo ano de 2019 e 2021, sem vocês esse sonho não teria se concretizado. Obrigada!

Por fim, mas não menos importante, agradeço a secretária do Programa de Pós-graduação em Educação para a Ciência e a Matemática, Sandra Grzegorczyk, pela atenção, auxílio e paciência.

A todos minha eterna gratidão.

Quem ensina aprende ao ensinar. E quem aprende ensina ao aprender.

Paulo Freire

FRANÇA, Samira Cassote Grandi. **Estratégias de Ensino Metacognitivas como instrumento para trabalhar os invariantes operatórios sobre o conceito de calor no ensino médio**. 2023. 242f. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência e a Matemática) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2023.

RESUMO

Nas últimas décadas o ensino de física tem se desenvolvido através das velhas práticas de ensino, o que reforça a memorização e reprodução de equações algébricas e conceitos físicos. Nesse aspecto, o conceito de calor tem se tornado um dos assuntos mais difíceis de se aprender, haja visto que os alunos trazem de seus cotidianos significados distintos sobre ele para a sala de aula, que conflituam com o sentido tomado pela ciência. Como alternativa, as diretrizes e a própria Base Nacional Comum Curricular (BNCC) salientam a necessidade de tornar o aluno sujeito ativo no processo de construção do seu próprio aprendizado, através do desenvolvimento da autonomia, da criticidade, argumentação e, da reflexão consciente de suas ações. Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo investigar qual a contribuição que estratégias de ensino metacognitivas têm para trabalhar com os invariantes operatórios sobre o conceito de calor, apresentados pelos alunos da segunda série do Ensino Médio. Com esse propósito realizamos uma revisão bibliográfica sobre a construção histórica do conceito de calor, na qual propiciou a compreensão do calor a partir de três concepções: a) um fluido contido nos corpos e intercambiável; b) uma forma de energia e c) o nome convencional de um processo. Guiados por essa compreensão e tendo como base a Metacognição, elaboramos algumas estratégias de ensino metacognitivas visando o desenvolvimento de habilidades e a tomada de consciência, para uma melhor compreensão desse conceito. A aplicação desse estudo se deu em uma escola pública da cidade de Jardim, no segundo semestre de 2021, ao qual participaram 38 alunos da segunda série do ensino médio. Para a coleta de dados, orientados pela abordagem qualitativa, realizamos uma observação participante que teve como instrumento um questionário aplicado em três momentos ao longo das estratégias de ensino e os áudios dos estudantes produzidos durante a 1) leitura e discussão de um texto histórico; 2) abordagem de situações abertas sobre o conceito de calor; e 3) aplicação do *Peer Instruction* (Instrução pelos Colegas). Para a identificação e análise dos dados utilizou-se dos pressupostos da Teoria dos Campos Conceituais (TCC) de Gérard Vergnaud, no qual buscou-se evidenciar os invariantes operatórios (conceitos-em-ação e teoremas-em-ação) manifestados pelos alunos ao responderem as diferentes situações presentes no questionário, além dos indicadores de elementos metacognitivos adaptados do estudo de Rosa (2017). Os resultados identificados permitiram inferir que as estratégias de ensino metacognitivas utilizadas potencializaram a construção de novos invariantes operatórios necessários para a compreensão dos processos microscópicos envolvidos nos fenômenos físicos associados com o calor, assim como os elementos metacognitivos oriundos de suas falas, mostraram-se pertinentes para o processo de tomada de consciência de seus conhecimentos, de seus colegas e da ciência, onde pode-se evidenciar os elementos: pessoa, tarefa, estratégias, monitoração e avaliação, além de, desenvolverem novas habilidades metacognitivas, entre elas a autonomia e a motivação para aprender.

Palavras-chave: Metacognição; Teoria dos Campos Conceituais; Ensino de Física; Calor.

FRANÇA, Samira Cassote Grandi. **Metacognitive Teaching Strategies as a tool to work with operational invariants on the concept of heat in high school**. 2023. 242f. Thesis (Doctorate in Education for Science and Mathematics) - State University of Maringá, Maringá, 2023.

ABSTRACT

In recent decades, physics teaching has been developed through old teaching practices, which reinforce the memorization and reproduction of algebraic equations and physical concepts. In this regard, the concept of heat has become one of the most difficult subjects to learn, given that students bring different meanings about it to the classroom from their daily lives, which conflict with the meaning taken by science. As an alternative, the guidelines and the National Common Curricular Base (BNCC) emphasize the need to make the student an active subject in the construction process of his own learning, through the development of autonomy, criticality, argumentation and, conscious reflection of his actions. Given this, the present work aims to investigate the contribution that metacognitive teaching strategies have to work with the operative invariants on the concept of heat, presented by students in the second year of high school. With this purpose, we carried out a bibliographic review on the historical construction of the concept of heat, in which it provided the understanding of heat from three concepts: a) a fluid contained in bodies and interchangeable; b) a form of energy and c) the conventional name of a process. Guided by this understanding and based on Metacognition, we developed some metacognitive teaching strategies aimed at developing skills and awareness, for a better understanding of this concept. The application of this study took place in a public school in the city of Jardim, in the second half of 2021, in which 38 students from the second year of high school participated. For the data collection, guided by the qualitative approach, we carried out a participant observation that had as instrument a questionnaire applied in three moments along the teaching strategies and the students' audios produced during the 1) reading and discussion of a historical text; 2) approach to open situations about the concept of heat; and 3) application of Peer Instruction. For the identification and analysis of the data, the assumptions of the Theory of Conceptual Fields (TCC) by Gérard Vergnaud were used, in which it was sought to highlight the operative invariants (concepts-in-action and theorems-in-action) manifested by the students when answer the different situations present in the questionnaire, in addition to the indicators of metacognitive elements adapted from the study by Rosa (2017). The identified results allowed inferring that the metacognitive teaching strategies used potentiated the construction of new operative invariants necessary for the understanding of the microscopic processes involved in the physical phenomena associated with heat, as well as the metacognitive elements arising from their speeches, proved to be relevant to the process of becoming aware of their knowledge, of their colleagues and of science, where the elements can be highlighted: person, task, strategies, monitoring and evaluation, in addition to developing new metacognitive skills, including autonomy and motivation to learn.

Keywords: Metacognition; Theory of Conceptual Fields; Physics Teaching; Heat.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Teoria do Calórico x Teoria Dinâmica do Calor.....	37
Quadro 2 – Principais concepções alternativas sobre calor e temperatura.....	58
Quadro 3 – Componentes Metacognitivos.....	69
Quadro 4 – Modelo dos aspectos de Regulação Metacognitiva de Flavell (1979).....	70
Quadro 5 – Sinais adotados para as falas transcritas.....	89
Quadro 6 – Descrição resumida das atividades e dos objetivos vinculados a cada aula.....	90
Quadro 7 – Questão 1 do Questionário inicial.....	94
Quadro 8 – Questão 2 do questionário inicial.....	95
Quadro 9 – Questão 3 do Questionário inicial.....	95
Quadro 10 – Questão 4 do Questionário inicial.....	96
Quadro 11 – Trabalho em grupo 1 questão 2: interpretação calor.....	99
Quadro 12 – Trabalho em grupo questão 1: interpretação calor.....	101
Quadro 13 – Trabalho em grupo questão 3: interpretação calor.....	103
Quadro 14 – Trabalho em grupo questão 4: interpretação calor.....	104
Quadro 15 – Trabalho 5 – Q1: Peer Instruction.....	106
Quadro 16 – Trabalho 5 – Q2: Peer Instruction.....	108
Quadro 17 – Trabalho 5 – Q3: Peer Instruction.....	109
Quadro 18 – Trabalho 5 – Q4: Peer Instruction.....	110
Quadro 19 – Orientações para análise dos Elementos Metacognitivos manifestados pelo diálogo entre estudantes.....	113
Quadro 20 – Questionário inicial: Questão 1 (QI – Q1).....	117
Quadro 21 – Invariantes Operatórios mobilizados pelos alunos, referente a Questão 1 (QI – Q1).....	118
Quadro 22 – Questionário inicial: Questão 2 (QI – Q2).....	119
Quadro 23 – Invariantes Operatórios mobilizados pelos alunos, referente a questão 2 (QI – Q2).....	119
Quadro 24 – Questionário inicial: Questão 3 (QI – Q3).....	120
Quadro 25 – Invariantes Operatórios mobilizados pelos alunos, referente a questão 3 (QI – Q3).....	121
Quadro 26 – Questionário inicial: questão 4 (QI – Q4).....	121
Quadro 27 – Invariantes Operatórios mobilizados pelos alunos, referente a questão 4 (QI – Q4).....	122
Quadro 28 – Segunda aplicação da questão 2 do questionário inicial com base nas estratégias de Ensino Metacognitivas.....	137

Quadro 29 – Invariantes Operatórios mobilizados pelos alunos na segunda aplicação da Questão 2	138
Quadro 30 – Segunda aplicação da questão 1 do questionário inicial com base nas Estratégias de Ensino Metacognitivas	139
Quadro 31 – Invariantes Operatórios mobilizados pelos alunos na segunda aplicação da questão 1	140
Quadro 32 – Segunda aplicação da questão 3 do questionário inicial com base nas Estratégias de Ensino Metacognitivas	141
Quadro 33 – Invariantes Operatórios mobilizados pelos alunos, referente a segunda aplicação da questão 3.....	142
Quadro 34 – Segunda aplicação da questão 4 do questionário inicial com base nas Estratégias de Ensino Metacognitivas	142
Quadro 35 – Invariantes Operatórios mobilizados pelos alunos, referente a segunda aplicação da questão 4.....	143
Quadro 36 – Invariantes Operatórios mobilizados pelos alunos, referente a terceira aplicação da questão 1.....	153
Quadro 37 – Invariantes Operatórios mobilizados pelos alunos na terceira aplicação da questão 2	153
Quadro 38 – Invariantes Operatórios mobilizados pelos alunos na terceira aplicação da questão 3	154
Quadro 39 – Invariantes Operatórios mobilizados pelos alunos na terceira aplicação da questão 4	155

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Componentes e Elementos da Metacognição.....	75
Figura 2 – Mapa Mental desenvolvido através do diálogo com os alunos.....	105
Figura 3 – Placas coloridas usadas na votação Peer Instruction.....	107
Figura 4 – Sistematização do processo de análise para a identificação dos Invariantes Operatórios e Elementos Metacognitivos.....	114

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	A CONSTRUÇÃO DO CONCEITO DE CALOR.....	21
2.1	CONTEXTO E IDEIAS INICIAIS: O FOGO E O CALOR	21
2.1.1	Desenvolvimento e fortalecimento da teoria do Calórico	25
2.1.2	Críticas e queda do Calórico.....	38
2.1.3	Novas interpretações para o calor.....	49
2.2	CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS SOBRE O CALOR.....	53
3	ARCABOUÇO TEÓRICO	60
3.1	A TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS: ALGUMAS CONSIDERAÇÕES	60
3.2	CAMPOS CONCEITUAIS	65
3.3	METACOGNIÇÃO	68
4	PERCURSO METODOLÓGICO	80
4.1	PROBLEMA DE PESQUISA E OBJETIVOS	80
4.2	A PESQUISA QUALITATIVA	80
4.3	SUJEITOS E CONTEXTO DE IMPLEMENTAÇÃO DA PESQUISA	82
4.4	CONSTITUIÇÃO DOS DADOS	84
4.4.1	Observação Participante	85
4.4.2	Questionário	86
4.4.3	Gravação.....	88
4.5	CONTEXTUALIZANDO AS SITUAÇÕES E A INVESTIGAÇÃO	89
4.5.1	Descrição das atividades realizadas pelos estudantes.....	93
4.6	PROCEDIMENTO TEÓRICO-METODOLÓGICO DE ANÁLISE DOS DADOS	111
5	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS.....	116
5.1	INVARIANTES OPERATÓRIOS MOBILIZADOS NO QUESTIONÁRIO INICIAL – AULA 01 E 02	116
5.1.1	Resultados	117
5.1.2	Análise e discussão dos resultados	123

5.2 ELEMENTOS METACOGNITIVOS EVIDENCIADOS PELA ESTRATÉGIA DE ENSINO METACOGNITIVAS	128
5.2.1 Resultados	128
5.3 INVARIANTES OPERATÓRIOS MOBILIZADOS NA SEGUNDA APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO INICIAL	136
5.3.1 Resultados	137
5.3.2 Análise e discussão dos resultados	144
5.4 INVARIANTES OPERATÓRIOS MOBILIZADOS NA TERCEIRA APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO INICIAL	152
5.4.1 Resultados	152
5.4.2 Análise e discussão dos resultados	156
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	162
REFERÊNCIAS:.....	166
APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE) PARA MENORES	182
APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)....	184
APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO INICIAL DE VERIFICAÇÃO DE CONHECIMENTO	186
APÊNDICE D – QUESTIONÁRIO FINAL DE VERIFICAÇÃO DE CONHECIMENTO	189
APÊNDICE E – SEQUÊNCIA DE ATIVIDADES PARA O ESTUDO DO CALOR ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE ENSINO METACOGNITIVAS.....	192

1 INTRODUÇÃO¹

O presente trabalho destina-se ao estudo e a investigação a respeito da aprendizagem sobre o conceito do calor, uma vez que tem se manifestado como um conceito de difícil compreensão pelos alunos ao longo do processo de escolarização (LABURÚ, SILVA; CARVALHO, 2000; KÖHNLEIN; PEDUZZI, 2002; SILVA; LABURU; NARDI, 2008). Sobre os conceitos, Grings (2014), Caballero, (2003, p. 147), Vergnaud (2004, p. 27), Vygotsky (2001, p. 334; 2003, p. 118), Toulmin (1977, p. 27), Moreira (2004, p. 11) e Covaleta (2008, p. 31) salientam em seus trabalhos e pesquisas a importância de sua aprendizagem para o desenvolvimento cognitivo dos estudantes.

De certa forma, sempre tive familiaridade com este conceito. Me recordo que como estudante do ensino médio, reproduzíamos listas de exercícios utilizando principalmente a equação conhecida como “qmacetê” ($Q=m.c.\Delta T$), acrescida pela equação de mudança de fase, “qmole” ($Q=m.L$). No entanto, o estudo sobre o calor era pautado na apresentação conceitual e na operacionalização de equações. A constância da utilização dessas equações pouco nos fazia entender o que era o calor, apenas que calor poderia ser medido, quantificado, ainda que, dependendo do sinal, a substância poderia estar perdendo ou recebendo calor. O conceito era apenas apresentado pelo professor como verdade imposta para que não fosse confundido com a noção de temperatura, o que era então memorizado sem míseros questionamentos.

Apesar da pouca compreensão desse e de tantos outros conceitos presentes na física, a formulação e operacionalização matemática me levou a universidade, sendo eu, portanto, fruto desse processo. A universidade também intensificou a habilidade matemática em detrimento do entendimento conceitual, porém algumas disciplinas, bem como o Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID), me propiciaram reflexões, conhecimentos, e experiências que possibilitaram tanto a aprendizagem, como o amadurecimento como profissional, que tanto tem me inquietado como docente nos últimos anos, o que me levou a desenvolver este trabalho.

É bem-sabido entre a comunidade científica, que se preocupa com o processo do ensino e aprendizagem, que não podemos continuar ingênuos sobre como se ensina, achando que basta

¹ Em virtude da natureza híbrida do conteúdo da Introdução, reservo-me a possibilidade de recorrer a diferentes pessoas do discurso (parte na primeira pessoa, parte na terceira ou no impessoal), de acordo com o que está sendo apresentado (relatos pessoais, reflexões, estudos presentes na literatura, etc.).

mantermos os alunos nos olhando para que de fato compreendam, nem muito menos podemos acreditar que aquele aluno que repete o conteúdo apresentado no texto, que acerta os problemas em provas, parecidos aos que foram dados em listas de exercícios, são bons alunos, ou ainda que aprenderam o conteúdo. “Esse padrão de ensino, no qual o professor é o agente que pensa e o aluno é o agente passivo, que segue o raciocínio do professor, mudou” (CARVALHO; SASSERON, 2018, p. 43).

Precisamos tornar o aluno sujeito ativo do processo de ensino-aprendizagem, partindo do pressuposto de que o conhecimento é uma construção, constituída pela interação e ação do indivíduo com o meio físico e social (BECKER, 1993; DARSIE, 1999; FERNANDES; MEGID NETO, 2012; ROSA; ROSA, 2012; CARVALHO, 2016).

Nessa perspectiva, há mais de cinco décadas as pesquisas na área de ensino de ciências têm se preocupado com a melhoria do ensino-aprendizagem, buscando na psicologia cognitivista, referenciais teóricos que possam auxiliar neste processo. Com isso, várias linhas de pesquisa surgiram, como a chamada “*Alternative Concepts Movement*” (ACM) (GILBERT; SWIFT, 1985 *apud* MORTIMER 1996). Dentre os mais diversos trabalhos realizados nesta área, podemos citar: Harres (1993), Gravina e Buchweitz (1994), Peduzzi (2001; 2005), Amaral e Mortimer (2001), Köhnlein e Peduzzi (2002), Silva e Núñez (2007), Grings, Caballero e Moreira (2006; 2008), Carvalho Junior e Aguiar Junior (2008), Clement, Duarte e Fissmer (2010), Krause, Santos e Sandri (2012), Silveira (2013), Louzada, Elia e Sampaio (2015), Krause e Scheid (2018), entre tantos outros.

Essas pesquisas possibilitaram o mapeamento de uma gama enorme de concepções alternativas (CAs) referentes à Mecânica, Termodinâmica, Ondulatória, Eletricidade e Óptica. Os resultados revelaram que muitas dessas concepções apresentam um caráter universal, ou seja, estão presentes nos mais diversos grupos sociais, de diferentes idades, culturas e gêneros, devido principalmente a influência de suas experiências cotidianas. Além disso, são bastantes estáveis e difíceis de serem modificadas, podendo sobreviver a anos de ensino escolar (GOMES, 2012).

De modo geral, as concepções levantadas permitiram compreender que o “conhecimento prévio é um fator muito relevante para a aprendizagem das teorias científicas” (MOREIRA; GRECA, 2003, p. 2) e se não cuidarmos da “física espontânea” dos alunos, permanecerão duas estruturas superpostas, das quais o aluno escolherá uma dependendo do

contexto, uma para quando o problema envolver elementos mais formais e outra para quando o problema envolver elementos do dia a dia e que estimule sua percepção (VILLANI *et al*, 1982; RAFAEL, 2007).

Após a constatação dessas concepções, começaram a surgir trabalhos com propostas que visassem promover a aprendizagem por meio de uma “mudança conceitual”. Nesta perspectiva, uma das ideias para o novo modelo de ensino tinha como objetivo a partir do reconhecimento das concepções apresentadas pelos estudantes promover estratégias de conflito cognitivo, pois se acreditava que os conceitos poderiam ser modificados sob o impacto de novas ideias, sendo assim, a intenção era de corrigir ou substituir as concepções consideradas errôneas pelos conceitos cientificamente corretos (MORTIMER, 1996; VILANCULO; MUTIMUCUIO; SILVA, 2020).

Após muitas críticas, a mudança conceitual revelou ser uma coisa difícil e muito complicada, logo, não deve ser pensada como mera substituição de uma concepção por outra, mas sim como um processo de evolução conceitual (MOREIRA, 1994; MOREIRA 1996) isso, pois, “[...] evolução, desenvolvimento, enriquecimento conceitual e discriminação de significados são ideias mais promissoras porque não implicam mudança de conceitos ou significados. Por outro lado, implicam uma aprendizagem significativa” (MOREIRA; GRECA, 2003, p.13, tradução nossa)².

Neste sentido, é preciso levarmos os estudantes a serem capazes de pensar e operar mediante os dois universos do conhecimento (SOLOMON, 1983), agindo e refletindo sobre suas concepções alternativas e o conhecimento científico. Para isso, ao invés de tentar suprimir as concepções alternativas por novos conceitos, “[...] seria melhor oferecer aos alunos condições para tomar consciência de sua existência e saber diferenciá-las dos conceitos científicos [...]” (MORTIMER; AMARAL, 1998, p. 31; RAFAEL, 2007; CLEMENTE, 1982; SILVA, 1995).

Na Física, por exemplo, dentre os mais diversos conceitos estudados, o conceito do calor considerado fundamental para a descrição dos fenômenos térmicos (EINSTEIN; INFELD, 1980, p. 39-40), tem se mostrado, através das pesquisas voltadas ao processo de ensino-aprendizagem como um dos conceitos físicos mais difíceis de se ensinar e também aprender

²Versão original: “Es tiempo de darse cuenta que evolución, desarrollo, enriquecimiento conceptual y discriminación de significados son ideas más promisorias porque no implican cambio de conceptos o de significados. Por otro lado, ellas implican aprendizaje significativo” (GRECA; MOREIRA, 2003, p.13).

(LABURÚ, SILVA; CARVALHO, 2000; KÖHNLEIN; PEDUZZI, 2002; SILVA, LABURU; NARDI, 2008), uma vez que, este encontra-se fortemente enraizado nas concepções dos estudantes devido as próprias experiências cotidianas e principalmente devido a dificuldade em relacionar variáveis microscópicas para a explicação de alguns comportamentos macroscópicos dos objetos (variação de temperatura, por exemplo).

Além disso, a própria ação didática do professor nas aulas de termodinâmica tem contribuído para esse empasse, através da exposição de conteúdos, da mera apresentação de definições prontas e na ênfase demasiada de equações em detrimento da análise conceitual (SUMMERS, 1983; VÁZQUEZ DIAZ, 1987; LABURÚ; SILVA; CARVALHO, 2000; KÖHNLEIN; PEDUZZI, 2002; SILVA, LABURU; NARDI, 2008), favorecendo apenas a memorização de fatos e dados.

Com base nos estudos já realizados sobre o conceito do calor e os resultados presente na literatura, é possível verificar que, mesmo reconhecendo as concepções alternativas presente nos estudantes e utilizando diferentes estratégias e modelos de ensino, os alunos continuam utilizando suas preconcepções para analisar os fenômenos térmicos, ou seja, apesar de promissoras a maioria não contribui para o processo de tomada de consciência e construção de verdadeiros conceitos científicos pelos estudantes, mas sim, reafirmam o pensamento de senso-comum.

Segundo Mortimer (1996, p. 24) algumas estratégias até “contribui para o aumento da consciência do estudante sobre suas concepções, mas não consegue dar o salto esperado em direção aos conceitos científicos”, isso, pois, os estudantes manifestam uma intensa resistência e dificuldade na construção dos conhecimentos científicos que não são deixados de lado apenas com uma situação de conflito cognitivo. Muitas vezes essa visão ultrapassada e simplória sobre o conceito se fortalece devido como são apresentados nos livros didáticos e reforçados pelos professores. Cindra e Teixeira (2004a, p. 179), comentam que:

[...] em muitos livros, principalmente os de Química e de Física introdutória, são utilizadas expressões infelizes, referindo-se, por exemplo, ao calor de um corpo como se o calor fosse uma propriedade do corpo; ou ainda empregam termos como energia térmica, por meio de um conceito indefinido, muitas vezes obscuro e ambíguo.

Em complemento a estas reflexões, vale salientar que a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), para a área de Ciências da Natureza (Biologia, Química e Física), considera a importância do ensino e **aprendizagem de conceitos**, como um instrumento não só para a

compreensão de leis, teorias e modelos, mas, também, para a compreensão de questões sociais no processo de investigação, além de auxiliar na análise, elaboração de proposições e discussões sobre os problemas das situações cotidianas (BRASIL, 2018, grifo nosso).

Neste aspecto, os conhecimentos conceituais sobre o calor nesta última etapa da escolarização devem superar a simples exemplificação, acúmulo de equações e memorização de conceitos como fatos ou situações cotidianas, e sim ser:

desencadeada a partir de desafios e problemas abertos e **contextualizados**, para estimular a curiosidade e a criatividade na elaboração de procedimentos e na busca de soluções de natureza teórica e/ou experimental. Dessa maneira, intensificam-se o diálogo com o mundo real e as possibilidades de análises e de intervenções em contextos mais amplos e complexos (BRASIL, 2018, p. 551, grifo nosso).

Neste caminho, fica evidente que para uma eficaz aprendizagem conceitual é preciso levarmos os estudantes a tomarem consciência de suas concepções frente a um conceito, além da pluralidade de formas de pensá-lo, interpretá-lo e reconhecê-lo em diferentes contextos (MORTIMER; EL-HANI, 2014; CHICÓRA, 2018). Este processo de tomada de consciência em relação ao próprio modo de pensar, de sua cognição e controle é conhecido por metacognição.

A metacognição surgiu por volta de 1970, tendo como um de seus precursores John Hurley Flavell. Essa metodologia de cunho cognitivista leva em consideração o conhecimento que se tem dos próprios processos cognitivos, o conhecimento do conhecimento. De acordo com Campanario e Otero (2000), existe uma dimensão adicional da metacognição presente no ensino de ciências, ao qual direciona-se para o conhecimento sobre a natureza da ciência e o conhecimento científico, e evidentemente interagem com o conhecimento sobre o próprio conhecimento, cujas capacidades e cognições influenciam decisivamente o desempenho em ciência, manifestando-se desde a escolha e orientação das abordagens, aos métodos de aprendizagem e estudo.

Neste sentido, a metacognição inserida em contextos de ensino pode colaborar para processos de inquirição em situações de aprendizagem” (BRANSFORD, *et al*, 2007 *apud* MARAGLIA; PEIXOTO; SANTOS, 2022, p.2) através de estratégias, que por sua vez podem ser de ensino ou aprendizagem. As estratégias de aprendizagem metacognitivas remetem-se as ferramentas ou ações conscientes utilizadas pelos estudantes, a fim de, alcançar um objetivo, almejando a aprendizagem (SILVA; SÁ, 1997). As estratégias de ensino, por sua vez, carecem

de uma definição na literatura, porém, podemos compreender como estratégias, ações ou situações planejadas pelo professor visando levar o aluno a agir e pensar sobre sua ação e conhecimento, favorecendo a aprendizagem.

Estas estratégias potencializam o processo de construção do conhecimento, melhoram “[...] o processo de ensino do professor, como também estimulam o aluno a refletir e a raciocinar sobre os modos pelos quais executa uma atividade ou quando resolve uma dada situação-problema” (CLEOPHAS; FRANCISCO, 2018, p. 11).

Assim, na busca por caminhos que possibilitem melhorar o entendimento do conceito de calor e considerando que a aprendizagem é um processo de construção, através da “ação e tomada de consciência da coordenação das ações” (NEVES; DAMIANI, 2006, p. 6), elaboramos algumas estratégias de ensino metacognitivas visando analisar, à luz da Teoria dos Campos Conceituais (TCC), aspectos da dinâmica desse conceito em alunos da segunda série do Ensino Médio. Aproveitamos para realizar uma pesquisa que teve por objetivo geral: *investigar quais contribuições que estratégias de ensino metacognitivas têm para problematizar e modificar os invariantes operatórios sobre o conceito do calor, de alunos da segunda série Ensino Médio*. Para nortear a nossa investigação, delimitamos como problema de pesquisa o seguinte questionamento: Qual a contribuição que estratégias de ensino metacognitivas têm para trabalhar com os invariantes operatórios sobre o conceito de calor, de alunos da segunda série do Ensino Médio?

Para ser possível alcançar a resposta a esse problema de pesquisa, estabelecemos como objetivos específicos:

- Identificar por meio da história da ciência, o percurso pelo qual o conceito do calor se desenvolveu, para analisar este conceito nas diversas situações existentes;
- Elucidar os aportes teóricos necessários para a aproximação e entendimento do conceito do calor como um campo conceitual (TCC);
- Realizar um levantamento para compreender a origem das pesquisas sobre metacognição e os seus principais desmembramentos.
- Identificar quais invariantes operatórios fazem parte das concepções alternativas dos estudantes da segunda série do Ensino Médio quando respondem situações sobre o conceito de calor;

- Analisar os dados encontrados, por meio das estratégias de ensino metacognitivas, à luz da Teoria dos Campos Conceituais (TCC);

- Verificar a pertinência da metodologia utilizada para a problematização dos invariantes operatórios.

Para isso, o segundo capítulo apresenta uma revisão de literatura buscando destacar o processo histórico de construção do conceito do calor, as formas de interpretação do conceito e os argumentos utilizados na época que fortaleciam cada teoria. Na sequência, abordamos algumas considerações sobre as concepções alternativas amplamente investigadas nos últimos anos, e que proporcionaram a compreensão de inúmeras concepções acerca da física térmica, em seguida, revisitando importantes trabalhos sobre concepções alternativas reunimos as concepções apresentadas sobre o conceito do calor mais presente entre alunos do Ensino Médio.

No terceiro capítulo, de um modo mais geral, discorremos sobre as duas teorias que dão suporte ao nosso trabalho, a metacognição e a Teoria dos Campos Conceituais (TCC). Neste espaço aproveitamos, ainda, para trazer importantes reflexões entre a TCC e a compreensão do calor como um campo conceitual, além de apresentar um panorama sobre a metacognição, diferentes vertentes e possibilidades para se trabalhar estratégias de ensino metacognitivas no Ensino de Física.

No quarto capítulo, apresentamos o desenho metodológico da pesquisa, no qual descrevemos o contexto da realização, o tipo da pesquisa, as duas dimensões de coletas de dados desenvolvidas, os instrumentos utilizados, bem como se procedeu à identificação e os delineamentos metodológicos que permearam a análise dos dados levantados pelas estratégias de ensino metacognitivas aplicadas. Na sequência apresentamos uma descrição das estratégias de ensino aplicadas com os estudantes da segunda série do Ensino Médio evidenciando a compreensão dos alunos sobre as três formas abordadas para o conceito do calor, a fim de, averiguar esse processo de construção conceitual utilizamos as regras de ação adotadas pelo aluno para que pudéssemos inferir os teoremas-em-ação e, por conseguinte os conceitos-em-ação.

No quinto capítulo descrevemos os resultados encontrados e as considerações levantadas pelas análises realizadas, apresentando os invariantes operatórios mobilizados pelos alunos e os elementos Metacognitivos evidenciados. No sexto e último capítulo apresentamos as considerações finais do trabalho desenvolvido e sugestões para trabalhos futuros.

2 A CONSTRUÇÃO DO CONCEITO DE CALOR

Neste capítulo, buscamos apresentar brevemente, por meio de uma revisão de literatura, os acontecimentos históricos que possibilitaram a construção do conceito de calor, destacando detalhes sobre o desenvolvimento científico e os argumentos que permearam a compreensão de cada teoria, conferindo a ela poder explicativo e permanência apesar das divergências surgidas, a fim de, subsidiar o desenvolvimento desse trabalho. Para isso, apresentamos inicialmente o momento histórico e os fatores que levaram o homem a se interessar pela natureza do calor, a necessidade em diferenciar os conceitos de temperatura e calor, e as teorias então desenvolvidas, momento que vai desde 500 a.C. a 1900. Desse modo, conseguiremos abordar todos os acontecimentos e argumentos que subsidiaram e influenciaram o surgimento e a queda de cada teoria, ao final, buscaremos apresentar a ideia de calor mais aceita atualmente pela comunidade científica, apesar de pouco utilizada. Na sequência, apresentamos as principais concepções alternativas sobre o conceito do calor, mencionada pelas pesquisas já desenvolvidas nessa área sobre o assunto.

2.1 CONTEXTO E IDEIAS INICIAIS: O FOGO E O CALOR

As maiores contribuições da ciência, é sem dúvida resultado de anos de investigações, métodos e pesquisas que reúnem cientistas dentre as várias áreas do conhecimento, buscando inovações e aprimorando ideias, seja na saúde, tecnologia, educação, esportes entre outros. Os resultados e recursos até então alcançados têm possibilitado, além da explicação de inúmeros fenômenos presentes no universo, o desenvolvimento de instrumentos que facilitam a vida cotidiana. Diante disso, considera-se que as primeiras ideias sobre o calor tenham surgido devido à descoberta do fogo como fonte de aquecimento, primeiramente pelo homem acerca de 300.000 mil anos atrás (GOMES, 2012; SILVA, 2007; ARAUJO, 2015; BASSALO, 1991). Então, mediados pelo desenvolvimento da ciência e diante as curiosidades e o próprio interesse em explicar as coisas, os filósofos pré-socráticos se destacam ao buscar explicação para a formação e constituição do Universo (visões cosmogônicas), no qual o fogo ocupava papel de destaque nas suposições de Anaximandro, Heráclito de Éfeso, Empédocles de Agrigento (493-433 a.C.), e dos filósofos posteriores como: Platão (c.4280-c.348), Demócrito de Abdera (c.470-c.370), Leucipo de Mileto (c.460-c.370) e Aristóteles (384-322 a.C.).

Apesar de possuírem noções ainda vagas sobre a natureza do calor, Aristóteles (384-322 a.C.) tomando por base as ideias de Empédocles de Agrigento (493-433 a.C.) associava o

calor a um fenômeno provocado pela utilização do fogo, por meio da junção dos quatro elementos (Ar, Água, Fogo³, Terra), ou seja, o calor estaria relacionado a uma propriedade dos elementos, sendo: quente, seco, frio e úmido. Ele chegou inclusive a fazer alusão de que o próprio movimento do éter produzia o calor (KINDER; HILGEMANN, 1985 *apud* CINDRA; TEIXEIRA, 2004a). Já Platão, evidenciava o calor como algo próximo ao elemento Fogo, de modo que estaria associado aos corpúsculos desse elemento (CINDRA; TEIXEIRA, 2004a, 2004b; CARVALHO, 2016). As ideias de calor e frio eram tidas para Platão como termos que possuíam conotações relativas, e por isso não poderiam indicar entidades contrárias como muitos acreditavam (CINDRA; TEIXEIRA, 2004a).

Apesar de estes filósofos não terem buscado interpretações para o fenômeno do calor, a preocupação em explicar a composição e formação das coisas os levaram a observar e a levantar importantes reflexões sobre os fenômenos térmicos no qual o calor está presente. Neste sentido, tanto a concepção Aristotélica quanto a de Platão, permaneceram hegemônica durante toda a Idade Média (CARMO, 2000; CARVALHO, 2016). Apesar de em alguns períodos uma se sobressair sobre a outra, ambas sobreviveram até o fim do Renascimento e da Revolução Científica, momento em que o conhecimento empírico se fortaleceu (CINDRA; TEIXEIRA, 2004a, 2004b; SILVA *et al.*, 2013; CARMO, 2000; CINDRA; TEIXEIRA, 2004b; MEDEIROS, 2009).

Por volta do século XIII, com o desenvolvimento dos termoscópios, iniciam-se os primeiros rumores e tentativas de se compreender de fato o que era o calor. Para Roger Bacon (1214-1294) a causa do calor seria o movimento interno das partículas do corpo, porém havia uma incerteza se o calor era o movimento ou se era o movimento que produzia o calor, pensamento esse também compartilhado por Johannes Kepler (1571-1630). Galileu Galilei (1564- 1642) assim como Bernardino Telesius (1504-1588) considerava o calor como uma espécie de fluido, ao afirmar que:

[...] sou levado a acreditar que o calor seja um fenômeno que não tem existência por si mesmo, não possui outra existência a não ser em nós. Aquelas matérias que produzem e fazem perceber o calor em nós, matérias que nós chamamos com o nome geral de fogo, sejam uma multidão de pequeníssimos corpos, com determinadas figuras, movimentados com velocidade enorme.

³ Note que existe uma distinção entre os termos “Fogo” e “fogo”, mencionado ao longo do texto, o primeiro refere-se ao elemento Fogo, associado a um princípio intrínseco da matéria, “que a faria demonstrar certas propriedades e comportamentos. O segundo seria um efeito produzido, por exemplo, quando um raio atinge uma árvore seca e provoca chamas” (SILVA; FORATO; GOMES, 2013, p. 501).

Estes pequenos corpos encontram nosso corpo e o penetram com sua maior sutileza, o contato deles, realizado na passagem através de nossa substância e percebido por nós, resulta ser aquilo que nós chamamos calor (GALILEU, 1996, p. 222).

Francis Bacon (1561-1626), no entanto, considerava o calor como o movimento vibratório das partículas de um corpo sob a ação do fogo, cuja ideia era compartilhada por Robert Boyle⁴ (1627-1691) ao associar o calor ao movimento das moléculas (HOPPE, 1928; CINDRA; TEIXEIRA, 2004a). Descartes considerava a sensação de calor ligada ao movimento das partículas ao comunicar-se aos nervos (BARNETT, 1946; SILVA *et al.*, 2013) e Isaac Newton⁵ (1642-1727), entretanto, acreditava que o calor seria transmitido pelos corpos celestes por meio do vácuo por meio de vibrações do éter penetrando nos corpos, deste modo, tanto a luz quanto os corpos quentes comunicariam através de vibrações calor aos corpos frios⁶ (CINDRA; TEIXEIRA, 2004a).

Assim, até por volta do início do século XVII duas correntes se intensificaram, buscando explicar o conceito de calor, sendo que uma, o associava ao movimento das partículas da matéria e a outra, a ideia de calor como um fluido (CINDRA; TEIXEIRA, 2004a, 2004b; SILVA *et al.*, 2013; CARMO, 2000; CINDRA; TEIXEIRA, 2004b; MEDEIROS, 2009). “Contudo, não havia um consenso quanto à validade de cada uma delas. Esse fato pode ser explicado porque até então não se tinha constatado a necessidade de tratar o calor do ponto de vista quantitativo” (CINDRA; TEIXEIRA, 2004b, p.242), muito menos a necessidade de estabelecer uma diferenciação entre calor e temperatura.

No entanto, os séculos seguintes, ao qual se estende o início do século XVIII até o século XIX, configura-se como um período de mudanças sociais, econômicas e científicas, transformando de forma acelerada as relações de trabalho e os bens de consumo, influenciando impreterivelmente a forma de fazer ciência e estudar os fenômenos naturais, por meio das

⁴ Boyle envolveu-se profundamente com a alquimia, tendo liderado, inclusive, comissões na Royal Society para estudos e realização das artes alquímicas (SILVA *et al.*, 2013, p. 503).

⁵ Isaac Newton fazia parte de um grupo de alquimistas (SILVA *et al.*, 2013, p. 503).

⁶ Não é o calor transmitido através do vácuo pelas vibrações de um meio muito mais sutil do que o ar, que, depois que o ar é retirado, permaneceria o vácuo? E não é este meio o mesmo que aquele pelo qual a luz é refratada e refletida e através de cujas vibrações a luz comunica calor aos corpos, e é facilmente refletida e facilmente transmitida? [...] E os corpos quentes não comunicam seu calor aos corpos contíguos frios pelas vibrações desse meio propagadas nos meios frios? E não é este meio mais rarefeito e mais sutil que o ar, e extremamente mais elástico e ativo? (NEWTON, 1996 *apud* CINDRA; TEIXEIRA, 2004a, p. 183).

necessidades mediadas pela Revolução Industrial (QUEIRÓS; NARDI; DELIZOICOV NETO, 2019).

De início, “os franceses estavam à frente dos ingleses, principalmente na área das ciências naturais” (CARVALHO, 2016, p. 50), os problemas tecnológicos apresentados eram simples, podendo ser resolvidos com “[...] um número suficiente de homens com escolaridade comum, familiarizados com dispositivos mecânicos simples e com trabalho em metal, e dotados de experiência prática e iniciativa [...]” (HOBSBAWM, 2011, p. 29). No entanto, com a expansão industrial e científica pelos ingleses, disseminada pela abundância dos recursos naturais, como o ferro, algodão e carvão, intensificaram o surgimento das indústrias têxteis, ao qual produziam tecidos e utilizavam o tear mecanizado, além de inovações químicas, no transporte e eletrificação industrial.

Nessa fase, um dos principais problemas enfrentados, era a crescente demanda por combustível para alimentar as fábricas que além das máquinas para a produção dos tecidos utilizavam a máquina a vapor, ao qual também eram úteis nas usinas de carvão e ferro, nos meios de transporte, como o navio e a locomotiva, além da metalurgia (QUEIRÓS; NARDI; DELIZOICOV NETO, 2019). Esses acontecimentos influenciaram e possibilitaram importantes avanços tanto na Física quanto na química (BALDOW; MONTEIRO JUNIOR, 2010), disseminando momentos de “discussão e reconhecimento entre pares, a experimentação e a observação durante reuniões, funcionando como meio de aprofundamento do conhecimento e sua divulgação” (OLIOSI, 2004 *apud* SILVA *et al.*, 2013, p. 504-505), entre eles o estudo e desenvolvimento das leis da termodinâmica e as relações entre calor e energia, além dos estudos sobre a bioeletricidade, fazendo conexão entre eletricidade e magnetismo e a construção da bateria por Alessandro Volta.

A seção seguinte aborda os principais acontecimentos que permearam o início da Idade Moderna, período que vai de 1453 e se estende até 1789, concomitante ao início da Revolução Industrial, considerada por alguns historiadores o ano de 1760 e para outros 1780, sendo o período mais forte de desencadeamento das concepções sobre o calor.

2.1.1 Desenvolvimento e fortalecimento da teoria do Calórico

A necessidade de novos instrumentos e mecanismos possibilitaram o aprimoramento dos termoscópios até então utilizados⁷, como o do físico italiano Galileu Galilei (1564-1642), favorecendo o desenvolvimento e aperfeiçoamento dos termômetros⁸, em que destacam o médico italiano Santorre Santorio (1561-1636), Fernando II de Toscana (1610-1670), Fahrenheit (1686-1736), Anders Celsius (1701 -1744) entre outros, que além da precisão das medidas pelo uso de escalas, permitiu o entendimento de alguns aspectos relacionados as propriedades térmicas dos materiais (como a dilatação) até a diferenciação entre os conceitos de temperatura e calor (BASSALO, 1992; ROLLER, 1950; GOMES, 2012, CINDRA; TEIXEIRA, 2004b).

No entanto, apesar da precisão desses instrumentos ao aferir as variações de temperatura, a ideia que se tinha de calor era um tanto confusa, “não havia distinção clara na mente das pessoas entre os conceitos de "quantidade de calor" e "grau de aquecimento", ou "temperatura"”⁹(ROLLER, 1950, p. 17), neste período,

[...] O simples fato de que um objeto perto do fogo aquece, o que certamente era conhecido desde o tempo quando o homem descobriu o fogo, deve ter sugerido que algo passa do fogo para o objeto. Mas, para essas primeiras pessoas, esse algo que passa bem que poderia ter sido pensado como sendo a temperatura, ou o grau de aquecimento, em si mesmo; ou, novamente, poderia ser alguma coisa separada, chamada de "calor", o calor e o consequente aumento no aquecimento do objeto parecem desempenhar os respectivos papéis de causa e efeito (ROLLER, 1950, p.18)¹⁰.

⁷ Na medicina, os trabalhos de Galeno (c.129-c.200) utilizavam o mesmo princípio de combinação dos elementos apresentados por Aristóteles, e propunha que no corpo humano existia uma “mescla”, uma certa mistura de quantidades iguais de calor e frio, no qual o termoscópico indicava o “grau” de calor determinando o estado de saúde dos pacientes (ARAÚJO, 2015; SILVA *et al.*, 2013; BARNETT, 1956).

⁸ Foram importantes nesse processo as contribuições de: Filón de Bizâncio (século I a.C.) e Heron de Alexandria (século II a.C.) com o desenvolvimento das primeiras ideias de um temoscópio, possibilitando desde a sua evolução a construção dos primeiros termômetros, em que se destacam: Cornelius van Drebbel (1572-1634), Giambattista dela Porta (1535-1615), Santorre Santorio (1561-1636), Galileu Galilei (1564-1642), Paolo Sarpi (1552-1623), Robert Fludd (1574-1637), Francis Bacon (1561-1626), Jan Baptista van Helmont (1577-1644), Jean Rey (1627-1704), Ole Römer (1644-1710), Guillaume Amontons (1663-1705), Joachim D'Alencé (1640-1707), Daniel Fahrenheit (1686-1736), Anders Celsius (1701-1744), Fredrik Rudberg (1800-1839) (CINDRA; TEIXEIRA, 2004a, p. 185).

⁹ Versão original: “[...] there was no clear distinction in people's minds between the concepts of "quantity of heat" and "degree of hotness," or "temperature" (ROLLER, 1950, p. 17).

¹⁰ Versão original: “[...] The simple fact that an object close to a fire warms up, which surely was known from the time when man discovered fire, must have suggested that something passes from the fire to the object. But to these early people, this something that passes might well have been thought to be temperature, or degree of hotness,

Em 1729, Samuel Klingestjerna (1698-1765), dá indícios sobre o conceito de temperatura, formulando algumas hipóteses sobre a diferença entre grau e quantidade de calor (HOPPE, 1928; CINDRA; TEIXEIRA, 2004b), no entanto, essas ideias ainda eram confusas, sendo de fato esclarecidas com as descobertas de Joseph Black¹¹ (1728-1799), ao qual além do conceito de calor, apresenta ideias sobre o calor específico e calor latente (MAGIE, 1935; CASTIGNANI, 199; SILVA, *et al.*, 2013).

Para Black o calor era tido como uma grandeza física mensurável, mas diferente da grandeza indicada por um termômetro, embora houvesse uma relação entre elas (GOMES, 2012), como exemplo cita que se colocarmos em um mesmo ambiente vários objetos, cujas dimensões, materiais e temperaturas sejam distintas, de modo que não exista nenhuma fonte fornecendo calor a eles, a tendência é de que o calor seja distribuído igualmente entre os objetos, difundindo-se do mais quente para o mais frio, até atingirem um estado de equilíbrio, que poderia ser verificado através da leitura indicada pelo termômetro em ambos os objetos (MAGIE, 1935; ROLLER, 1950).

Para alguns, o equilíbrio expresso por Black era compreendido como uma igualdade na quantidade de calor presente nos corpos. A estas diferentes ideias, Black argumenta que “[...] está se confundindo a quantidade de calor em diferentes corpos com suas intensidades [temperatura], embora seja claro que essas são duas coisas diferentes, e devem sempre ser distinguidas, quando pensamos na distribuição de calor [...]” BLACK, 1803 *apud* ROLLER, 1950, p. 21, tradução nossa)¹², ou seja, “[...] todos os corpos comunicando-se livremente com outro, e expostos a nenhuma desigualdade de ação externa, adquirem **a mesma temperatura**, como indicado por um termômetro” (BLACK, 1803 *apud* ROLLER, 1950, p. 20, tradução nossa, grifo nosso)¹³.

itself; or, again, it might be a separate something, called "heat," this heat and the resulting increase in hotness of the object seeming to play the respective roles of cause and effect” (ROLLER, 1950, p.18).

¹¹ Seus estudos sobre o calor só foram reconhecidos em 1803, com a publicação do trabalho de título “Lectures on the elements of chemistry” publicados por John Robinson após seu falecimento (GOMES, 2012; MEDEIROS, 2009).

¹² Versão original: [...] It is confounding the quantity of heat in different bodies with its intensity [temperature], though it is plain that these are two different things, and should always be distinguished, when we are thinking of the distribution of heat [...] (BLACK, 1803 *apud* ROLLER, 1950, p. 21)

¹³ Versão original: [...] all bodies communicating freeky with one another, and exposed to no inequality of external action, acquire **the same temperature**, as indicated by a thermometer (BLACK, 1803 *apud* ROLLER, 1950, p. 20).

Outra posição tomada por Black foi em relação à quantidade de calor transferida entre corpos de diferentes materiais e a consequente variação de temperatura, cujas experiências até então realizadas supunham que a quantidade de calor necessária nesse processo era diretamente proporcional a quantidade de matéria, peso, volume ou densidades. Apesar de concordar com a hipótese de que o calor era uma espécie de fluido, que podia passar de um corpo a outro, Black considerava um equívoco a concepção de calor proporcional a massa, ou ao volume, para ele, para se atingir o equilíbrio ou variar a temperatura dos corpos, a quantidade de calor desprendida nesse processo acometeria “proporções muito diferentes disso, para a qual nenhum princípio ou razão geral pode ser atribuído” (BLACK, 1803 *apud* MAGIE, 1935, p. 136)¹⁴.

Nesse sentido, as experiências desenvolvidas por Fahrenheit e descritas por Boerhaave¹⁵, levaram Black a duas considerações importantes sobre o conceito de calor, ao qual hoje chamamos de calor sensível e calor latente. A primeira conclusão que se teve ao exprimir valores numéricos à experiência foi de que cada corpo possui uma capacidade para o calor (*capacity for heat*)¹⁶, diferente do que se pensava. Por exemplo, o mercúrio tem menor capacidade para o calor do que a água, que necessita de uma maior quantidade de calor para ter o aumento de temperatura no mesmo número de graus que o mercúrio (MAGIE, 1935; ROLLER, 1950)¹⁷, assim, “quem tiver a menor ‘*capacity for heat*’ irá variar mais a sua temperatura [...]” (GOMES, 2012, p. 94), o que “[...] mostra que a mesma quantidade de calor tem mais efeito para aquecer o mercúrio do que igual volume de água” (GOMES, 2012, p. 93). Sendo assim, corpos de diferentes materiais, embora tenham o mesmo tamanho ou peso, “quando são reduzidos à mesma temperatura ou grau de calor, qualquer que seja, podem conter quantidades da matéria do calor muito diferentes [...]” (BLACK, 1803, *apud* MAGIE, 1935, p.

¹⁴ Versão original: [...] but in proportions widely diferente from this, and for which no general principle or reason can yet be assigned (BLACK, 1803 *apud* MAGIE, 1935, p. 136).

¹⁵ Fahrenheit, além de misturar água a diferentes temperaturas, agitou mesmos volumes de água e mercúrio a temperaturas iniciais distintas. Segundo Roller (1950, p.24), nunca publicou um relato dessas experiências.

¹⁶ Segundo Gomes (2012, p.94) antes da escolha do termo “*capacity for heat*”, eles utilizaram as expressões “*affinity for heat*”, “*faculty for receiving heat*” e “*appetite for heat*” Outros termos foram utilizados por outros cientistas até ser designado como “*specific heat*”, pelo físico sueco Johann Carl Wilcke (1732-1796), termo mais utilizado hoje em dia (GOMES, 2012).

¹⁷ Versão original: [...] Quicksilver, therefore, has less capacity for heat (if I may be allowed to use this expression) than has water; a smaller quantity of heat is needed to raise its temperature by the same number of degrees (BLACK, 1803 *apud* ROLLER, p. 24).

139)¹⁸. Desta forma, apenas misturas de um mesmo material necessitariam quantidades iguais de calor “[...] para aumentar ou diminuir de um mesmo valor a temperatura das substâncias envolvidas” sendo “diretamente proporcional às suas quantidades de matéria, ou aos seus pesos, ou, sendo os volumes iguais, às suas densidades” (GOMES, 2012, p. 94).

Mais tarde, a partir dessas ideias, o físico sueco Johan Carl Wilcke (1732-1796) desenvolve por meio de relações matemáticas a expressão $Q = m.c.\Delta T$, onde $C = m.c$, sendo c o calor específico, inicialmente representado por Black e seu assistente William Irvine (1743-1783) como “afinidade para o calor”, “faculdade para receber o calor” ou “apetite para o calor”, o que pode ser resumida em $Q = C.\Delta T$, sendo C a capacidade calorífica (BASSALO, 1992).

A ideia central, por entre as considerações apresentadas sobre o calor, tem como base as ideias sobre o “princípio da conservação do calor”, compreendidas inicialmente por Brook Taylor (1685-1731), e generalizada por Black para quaisquer misturas de diferentes líquidos e volumes. Esta ideia é uma extensão também das concepções filosóficas a respeito da conservação da matéria junto a concepção de calor como uma substância, de modo que estando presente nos corpos não poderia ser nem criado, nem destruído, permanecendo constante (GOMES, 2012; MEDEIROS, 2009; CARVALHO, 2016).

Na sequência, seus estudos buscaram analisar melhor a absorção de calor pelos corpos durante o processo de mudança de estado físico (fusão, vaporização, condensação e solidificação), no qual percebe após sucessivas experiências que a quantidade de calor fornecida a uma porção de gelo, “não produz nenhum efeito diferente para dar-lhe a liquidez, sem aumentar o seu calor sensível, ela parece ser absorvida e escondida dentro da água, de modo a não produzir nenhum efeito detectável pela aplicação de um termômetro” (BLACK, 1803 *apud* ROLLER, 1950, p. 33, tradução nossa)¹⁹, ou seja, toda a quantidade de calor fornecida durante esse processo de mudança de fase era utilizada apenas para que o corpo alterasse seu estado físico, o que Black chama de *calor latente* (BASSALO, 1992; CARMO, 2000; RAFAEL,

¹⁸ Versão original: We must, therefore, conclude that different bodies, although They be of the same size, or even of the same When They are reduced to the same temperature or degree of heat, whatever that be, may contains very different quantities of the matter of heat; [...] (BLACK, 1803 *apud* MAGIE, 1935, p. 139).

¹⁹ Versão original: A large quantity, therefore, of the heat which enters into the melting ice produces no effect other than to give it liquidity, without augmenting its sensible heat; it appears to be absorbed and concealed within the water, so as not to produce any effect discoverable by the application of a thermometer (BLACK, 1803 *apud* ROLLER, 1950, p. 33).

2007); GOMES, 2012; CARVALHO, 2016), logo, se isso não fosse possível uma grande quantidade de calor, por exemplo, poderia provocar o derretimento quase instantâneo da neve, causando grandes avalanches (CINDRA; TEIXEIRA, 2004a).

Diante de todas essas reflexões, e as contribuições dos trabalhos de Francis Bacon (1620), Robert Boyle (1665 e 1673) e Dr. Boerhaave (1732), a conclusão encontrada por Black é que o calor só poderia ser um fluido em movimento. Entretanto, segundo Black diferente das concepções sustentadas pelos filósofos,

[...] o calor não é um tremor, ou vibração das partículas do próprio corpo quente, mas das partículas de uma matéria sutil, altamente elástico, um penetrante fluido material, que está contido nos poros dos corpos quentes, ou interposto entre suas partículas, uma matéria que eles imaginam ser difundidos por todo o universo, penetrando com facilidade os corpos mais densos. Alguns supõem que essa matéria, quando modificada de maneiras diferentes, produz luz e os fenômenos de eletricidade (BLACK, 1803 *apud* ROLLER, 1950, p. 44, tradução nossa, grifo nosso)²⁰.

A partir dessas considerações, percebe-se que Black utiliza uma visão substancialista para explicar os fenômenos térmicos, considerando o calor como um fluido presente nos corpos, concepção essa compartilhada pelo químico francês Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794)²¹ em 1777, e demais autores como, Becher, Stahl e Priestley, ao qual considera que o mundo no qual habitamos estaria cercado por um fluido muito sutil, que penetra, todos os corpos, ideia essa presente na maioria dos físicos antigos. Para Lavoisier, esse fluido poderia também ser chamado de **fluido ígneo, matéria do fogo, calor e luz**²², ao qual tende a atingir o equilíbrio em todos os corpos, porém não penetraria todos com igual facilidade, manifestando de três formas variáveis, ora num estado de liberdade, ora de forma fixa ou combinado entre os corpos (LAVOISIER, 1777, grifo nosso)²³. Logo, essa concepção poderia ser tomada como

²⁰Versão original: [...] they suppose heat to consist is not a tremor, or vibration, of the particles of the hot body itself, but of the particles of a subtle, highly elastic, and penetrating fluid matter, which is contained in the pores of hot bodies, or interposed among their particles a matter that they imagine to be diffused through the whole universe, pervading with ease the densest bodies. Some suppose that this matter, when modified in different ways, produces light and the phenomena of electricity (BLACK, 1803 *apud* ROLLER, 1950, p. 44).

²¹ As obras de Lavoisier podem ser acessadas nos seguintes endereços: <http://www.lavoisier.cnrs.fr/> e <http://moro.imss.fi.it/lavoisier/>.

²² Segundo Silva, *et al.* (2013) citando Barnet (1946), neste período, além das duas ideias sobre o calor, alguns físicos e químicos associavam a natureza do calor a natureza da luz para explicar fenômenos como o calor radiante.

²³ Versão original: [...] la planète que nous habitons est environnée de toutes parts d'un fluide très-subtil, qui pénètre, à ce qu'il paraît, sans exception, tous les corps qui la composent; que ce fluide, que j'appellerai fluide igné, matière du feu, de la chaleur et de la lumière, tend à se mettre en équilibre dans tous les corps, mais qu'il ne les pénètre pas tous avec une égale facilité; enfin, que ce fluide existe tantôt dans un état de liberté, tantôt sous forme fixe, et combiné avec les corps (LAVOISIER, 1777, p. 420).

verdadeira se para todos os fenômenos e em toda parte, explicasse tudo o que acontece nas experiências físicas e químicas, o que valeria como uma demonstração (LAVOISIER, 1777).

Contudo, neste período (século XVIII) além da ideia de calor como um fluido (substância), outras hipóteses sobre a natureza do calor se disseminaram entre elas. Havia aqueles que defendiam uma ideia corpuscular da matéria, aderindo o calor como movimento das partículas entre os espaços vazios do corpo. Segundo Lavoisier e Laplace (1780, p. 285), os físicos estariam em desacordo sobre a real natureza do calor,

Alguns o consideram como um fluido expandido por toda a natureza, o qual se encontra em todos os corpos por haver penetrado mais ou menos neles, à razão de sua temperatura e de sua disposição particular em retê-lo; pode combinar-se com eles e, nesse caso, deixa de atuar sobre o termômetro e de se comunicar de um corpo a outro, em um estado de liberdade que permite manter o equilíbrio entre os corpos, e que forma o que chamamos de calor livre. Outros físicos pensam que o calor não é senão o resultado de um movimento insensível das moléculas da matéria. Sabemos que todos os corpos, mesmo os mais densos, estão cheios de um grande número de poros, de pequenos vazios. Esses espaços vazios deixam às suas partes insensíveis à liberdade de oscilar em todo sentido; é natural pensar, então, que essas partes estão em contínua agitação e que, se esta aumenta até um certo ponto, pode chegar a desuni-las e a decompor os corpos. É esse movimento interno o que, segundo os físicos que mencionamos, constitui o calor (LAVOISIER; LAPLACE, 1780, p. 285).

Para explicar essa segunda hipótese, baseiam-se no princípio de conservação da força viva, dada pela somatória das massas multiplicada pelo quadrado das velocidades ($\sum m_i v_i^2$), cujo equilíbrio alcançado pela mistura ocorreria através da transferência da quantidade de movimento e mediante a conservação da força viva total do sistema (SILVA *et al.*, 2013). Neste sentido, segundo Lavoisier e Laplace, para alguns casos a primeira teoria manifestava a melhor, no entanto, em outros como o caso do calor produzido pela fricção dos corpos a hipótese de movimento era a melhor. Contudo, independente da teoria, ambas apresentavam princípios comuns, sendo que a quantidade de calor livre seria sempre a mesma, e cujas variações de calor, seja sensível ou latente, se repetem na ordem inversa, levando o sistema a voltar ao estado inicial.

Logo, no final do século XVIII, na obra *Traité Élémentaire de chimie*, Lavoisier manifesta-se como adepto a hipótese de calor como fluido, introduzindo ainda o termo “*calorique*” para designar esse fluido sutil, responsável pelos fenômenos térmicos, distinguindo do termo “*chaleur*” [calor] (MORVEAU, 1787; GOMES, 2012; MORRIS, 1972). Assim, aderindo o calórico a suas ideias iniciais, admitia-se a existência de um calórico “livre, aderente,

ou combinada” “molécula a molécula com os constituintes elementares de outras substâncias” (MORRIS, 1972, p. 25)²⁴. Desta forma, o calórico explicava a dilatação térmica, as mudanças de estado, o calor específico, entre outros.

No entanto, apesar de Lavoisier (1743-1795) e Laplace (1749-1782) tentarem conciliar as duas teorias (o calórico e o movimento das partículas) até então disseminadas, o próprio Lavoisier ao fazer medidas precisas de massas durante a combustão, verificou que a massa era constante, o que contestava de certa forma a materialidade do calor (PEREIRA; CARDOZO, 2005). Assim, “por não ter sido capaz de fornecer uma demonstração da existência do calórico, Lavoisier admitiu, sob a pressão de seus críticos (e talvez de alguns partidários, como Laplace), que esse fluido sutil era apenas uma hipótese” (GOMES, 2012). Apesar do dissentimento de Lavoisier sobre a natureza do calórico, sua concepção pouco difere da teoria de outros caloristas, que segundo Roller (1950), Fox (1971), Carmo (2000), Rafael (2007), Medeiros (2009), Gomes (2012) e Carvalho (2016), aderem as seguintes propriedades:

- a) o calórico é uma substância material, uma espécie de fluido elástico;
- b) suas partículas repelem entre si, e são atraídas pelas partículas da matéria comum com diferentes intensidades, mediante a substância e o estado de agregação que se encontra;
- c) possui peso desprezível;
- d) substância imponderável, ao qual não pode ser criado nem destruído, sendo, portanto, conservado;
- e) a temperatura de um corpo é diretamente proporcional à quantidade de calórico sensível que possui;
- f) pode ser sensível, propagando-se pelo interior dos objetos através dos espaços vazios, e atraindo as partículas da matéria ordinária, formando uma espécie de “cinturão” ao redor delas.
- g) pode ser latente, combinando-se com as partículas da matéria comum de modo análogo ao que surge devido às combinações químicas, ao qual atraem as partículas, diferente do que ocorre com o calórico sensível.

Apesar de não haver uma homogeneidade de pensamento entre os físicos e filósofos da época sobre a natureza do calor, a essência da teoria substancialista ao qual tem como base a existência de um fluido material compreendido como “calórico”, presente em abundância nos

²⁴ Versão original: [...] caloric can exist as either free, adherent, or combined 'molécule à molécule' with the elementary constituents of other substances (MORRIS, 1972, p. 25).

corpos, explicava os fenômenos da natureza de uma maneira tão satisfatória, com argumentos tão completos, que segundo Lavoisier “é difícil compreender estes fenômenos, sem admiti-los como os efeitos de uma substância real e material, ou um fluido muito sutil [...]” (LAVOISIER, 1789, p. 3), estes aspectos justificam sua permanência e relutância ao longo do tempo, mesmo sendo considerada uma ideia hipotética.

Um exemplo da predominância desta teoria no meio científico, bem como o poder expansivo e explicativo do calórico para diferentes fenômenos, pode ser analisada nas obras de divulgação científica de renome da época, como o livro “*Conversations on chemistry: in which the elements of that Science are familiarly explained and Illustrated by experiments*” de Jane Marcet, ao qual foi considerado um dos textos de divulgação científica de maior credibilidade e mais lido durante o século XIX, chegando a dezesseis publicações em língua inglesa (PULIDO; SILVA, 2011; BALDINATO, 2009; GOMES, 2012).

O livro apresenta conceitos científicos relacionados a química, entre eles, destacam-se algumas discussões sobre a natureza do calórico, na forma de diálogos entre três personagens: a professora, “Sra. B.”, e suas alunas, “Emily” e “Caroline”. O livro partiu do reconhecimento da autora sobre a importância dos conceitos até então desconhecidos do público, além da influência de seu marido químico e médico e do círculo de amigos que mantinham.

Sobre a natureza do calor “Sra. B” apresenta no “*Conversation II: on light and heat or caloric*” que o calórico pode ser encontrado de diversas formas, sendo as duas principais o “calórico livre”, ou “radiante”, e o “calórico combinado”, além disso, menciona a importância e o cuidado ao se referir ao calórico e ao calor, sendo que:

Sra. B.

Nenhuma das modificações do calórico deve ser corretamente chamada de calor, - **o calor, estritamente falando, é a sensação produzida pelo calórico em corpos animados**; essa palavra, portanto, na linguagem precisa da ciência, deve ser limitada a expressar a sensação. Mas o costume o tem adaptado, do mesmo modo, à matéria inanimada, e dizemos *o calor de um forno, o calor do Sol*, sem qualquer referência à sensação que eles conseguem excitar.

Foi para evitar a confusão que surgiu a partir da mistura de causa e efeito, que os químicos modernos adotaram a nova palavra *Calórico*[...] (MARCET, 1817, p. 34, grifo nosso, tradução nossa)²⁵.

²⁵ Versão original: MRS. B.: None of the modifications of caloric should properly be called heat - for heat, strictly speaking, is the sensation produced by caloric, on animated bodies; this word, therefore, in the accurate language of science, should be confined to express the sensation. But custom has adapted it likewise to inanimate matter,

Então, para explicar os fenômenos de aquecimento e resfriamento de um corpo utilizando a teoria do calórico, diz que:

Sra. B.

[...] Calórico livre sempre tende a difundir-se da mesma maneira, isto é, quando dois corpos possuem diferentes temperaturas, o mais quente gradualmente divide o seu calor com o mais frio, até que ambos são trazidos à mesma temperatura. Assim, quando um termômetro é aplicado a um corpo quente, ele recebe calórico; quando a um frio, ele comunica parte do seu próprio calórico, e essa comunicação continua até que o termômetro e o corpo atinjam a mesma temperatura (MARCET, 1817, p. 50, tradução nossa)²⁶.

Sobre este comentário, “Caroline” dialoga com “Sr. B” questionando como pode o calórico, sendo um fluido sem massa, chegar a um estado de equilíbrio, entre corpos inicialmente com temperaturas diferentes, surgindo a seguinte resposta da “Sr. B”:

Sra. B.

[...] Este assunto é explicado melhor por uma teoria sugerida pelo Professor Prevost de Genebra, que agora é geralmente adotada. De acordo com essa teoria, calórico é composto de partículas perfeitamente separadas umas das outras, cada uma das quais se move a uma velocidade rápida num determinado sentido. Essas direções variam tanto quanto a imaginação pode conceber, cujo resultado há raios ou linhas dessas partículas que se deslocam com velocidades imensas em todas as direções possíveis. Calórico é, assim, universalmente difundido, de modo que quando qualquer parte do espaço está na vizinhança de outra que contém mais calórico, a parte mais fria recebe uma quantidade de raios caloríficos dessa última, suficiente para restaurar o equilíbrio da temperatura. Essa radiação não só pode ter lugar no espaço livre, mas se estende também aos corpos de todos os tipos. Assim, você pode supor que todos os corpos, de qualquer tipo, irradiam constantemente calórico: aqueles que são da mesma temperatura dão e absorvem quantidades iguais, de modo que nenhuma variação de temperatura é produzida neles, mas quando um corpo contém mais calórico livre do que o outro, a troca é sempre a favor do corpo mais frio, até que um equilíbrio seja alcançado [...] (MARCET, 1817, p. 52-53, tradução nossa)²⁷.

and we say the heat of an oven, the heat of the sun, without any reference to the sensation which they are capable of exciting. It was in order to avoid the confusion which arose from thus confounding the cause and effect, that modern chemists adopted the new word caloric [...] (MARCET, 1817, p. 34).

²⁶ Versão original: MRS. B.: [...] Free caloric always tends to diffuse itself equally, that is to say, when two bodies are of different temperatures, the warmer gradually parts with its heat to the colder, till they are both brought to the same temperature. Thus, when a thermometer is applied to a hot body, it receives caloric; when to a cold one, it communicates part of its own caloric, and this communication continues until the thermometer and the body arrive at the same temperature (MARCET, 1817, p. 50).

²⁷ Versão original: MRS. B.: [...] This subject is best explained by a theory suggested by Professor Prevost of Geneva, which is now, I believe, generally adopted. According to this theory, caloric is composed of particles perfectly separate from each other, every one of which moves with a rapid velocity in a certain direction. These directions vary as much as imagination can conceive, the result of which is, that there are rays or lines of these

A explicação da “Sra. B” reforça a ideia estabelecida durante o século XIX, ao qual associavam semelhanças entre a natureza da luz e a natureza do calor, como fora destacado por Lavoisier em 1777, ao explicar o que seria o calor, advinda das conclusões experimentais desenvolvidas por William Herschel (1738-1822), Macedonio Melloni (1798- 1854), James David Forbes (1809-1868) entre outros. Na sequência, no “*Conversation III: continuation of the subject*”, “Caroline”, questiona “Sra. B” sobre o motivo de um objeto aparentar mais frio que outro ao tocá-lo, mesmo tendo a mesma temperatura. No diálogo com “Caroline”, a “Sra. B” explica que isso acontece devido à rapidez com que o calórico encontra para passar de um corpo a outro, ou seja, os materiais possuem diferentes resistências a passagem do calórico, como exemplo cita que “a lareira e a mesa parecem mais frias do que a tapete ou o livro, porque estes não são tão bons condutores de calor como o primeiro[...]” (MARCET, 1817, p. 71, tradução nossa)²⁸.

Ao ser questionada por “Emily” sobre o motivo de alguns corpos serem melhores condutores que outros, “Sra. B” responde que:

Sra. B

Este é um ponto não bem apurado. Foi conjecturado que uma certa união ou adesão ocorre entre o calórico e as partículas do corpo por onde passa. Se essa aderência for forte, o corpo retém o calor, e se separa dele lenta e relutantemente; se leve, propaga-se livre e rapidamente. O poder condutor de um corpo é, portanto, inversamente, como sua tendência a se unir com o calórico (MARCET, 1817, p. 72, tradução nossa)²⁹.

“Caroline” então apresenta sua compreensão dando o exemplo de um livro deixado sobre a mesa, onde cada um receberá no mesmo intervalo de tempo quantidades diferentes de

particles moving with immense velocity in every possible direction. Caloric is thus universally diffused, so that when any portion of space happens to be in the neighbourhood of another, which contains more caloric, the colder portion receives a quantity of calorific rays from the latter, sufficient to restore an equilibrium of temperature. This radiation does not only take place in free space, but extends also to bodies of every kind. Thus you may suppose all bodies whatever constantly radiating caloric: those that are of the same temperature give out and absorb equal quantities, so that no variation of temperature is produced in them; but when one body contains more free caloric than another, the exchange is always in favour of the colder body, until an equilibrium is effected [...] (MARCET, 1817, p. 52-53).

²⁸ Versão original: MRS. B.: The hearth and the table feel colder than the carpet or the book, because the latter are not such good conductors of heat as the former [...] (MARCET, 1817, p. 71).

²⁹ Versão original: MRS. B.: This is a point not well ascertained. It has been conjectured that a certain union or adherence takes place between the caloric and the particles of the body through which it passes. If this adherence be strong, the body detains the heat, and parts with it slowly and reluctantly; if slight, it propagates it freely and rapidly. The conducting power of a body is therefore, inversely, as its tendency to unite with caloric (MARCET, 1817, p. 72).

calor da mão, pois sendo a mesa melhor condutora, entre os dois, absorverá calor mais rapidamente da mão e consequentemente deixará a sensação mais forte de frio do que o livro. No diálogo entre elas, discutem outras situações do cotidiano em que há a existência de bons e maus condutores de calor. Entre elas “Sra. B” destaca a observação de que alguns líquidos possuem excesso calórico, que suas partículas chegam a ter fraca atração, convertendo rapidamente em vapor, sem a necessidade de aquecimento.

No “*Conversation IV: on combined caloric, comprehending specific and latent heat*”, o diálogo é estabelecido em torno da capacidade dos corpos em armazenar calórico. Sem mencionar o nome de Black, “Sra. B” leva “Caroline” e “Emily” por meio de questionamentos e exemplos a concluir que materiais diferentes, apesar de terem a mesma massa, não apresentam a mesma capacidade em acumular calórico. Para um melhor entendimento leva as meninas a pensarem em dois recipientes iguais, estando um cheio de bolinhas de gude e outro cheio de pedras de vários formatos. Ao serem preenchidos com areia, esta tende a se organizar de forma mais compacta no recipiente com pedrinhas do que no de bolinhas de gude, ou seja, teremos mais areia em um do que no outro, apesar de estarem ambos cheios.

O raciocínio estabelecido pela “Sra. B.”, permite a constatação pelas meninas de que embora dois corpos tenham a mesma massa, poderão apresentar diferentes capacidades para reter o calórico, e com isso, requerer quantidades diferentes desse fluido para aumentarem as suas temperaturas no mesmo grau. A contradição surge quando “Emily” retoma a ideia já desenvolvida, de que corpos em equilíbrio térmico possuem quantidades idênticas de “calórico livre”. Nesse caso, como a temperatura final será a mesma, se a quantidade recebida de calórico foi diferente? “Por que o corpo que contém mais calorias não deva ser o de mais alta temperatura; ou seja, o calor não deve ser proporcional à quantidade de calórico que contém?” (MARCET, 1817, p. 125, tradução nossa)³⁰. A “Sra. B.” responde com o seguinte argumento:

Sra. B.

O calórico é empregado no preenchimento da capacidade de um corpo, não é calórico livre, mas está preso como se estivesse no corpo, portanto, é

³⁰ Versão original: EMILY: [...] why the body that contains the most caloric should not be of the highest temperature; that is to say, feel hot in proportion to the quantity of caloric it contains? (MARCET, 1817, p. 125).

imperceptível: só podemos sentir o calórico que o corpo divide, e não o que ele retém (MARCET, 1817, p. 125, tradução nossa)³¹.

Isto é, “Sra. B.” tomando como base as modificações do calórico “livre e cominado”, esclarece que nem todo o calórico recebido pelo corpo fica na forma “livre”, mas parte dele fica “combinado” junto as partículas do corpo, assim, ao colocarmos a mão sobre um corpo quente, sentiremos apenas o calórico livre sendo transferido dele para a mão, sendo impossível conseguirmos detectar o calórico que permanece no corpo. Nessa mesma ideia, o termômetro indica o calórico livre que o corpo o transmite. Segundo ela, “essa modificação do calórico é comumente chamada de **CALOR ESPECÍFICO**” (MARCET, 1817, p.126, tradução nossa, grifo nosso)³², cujo termo específico é utilizado para expressar “a quantidade relativa de calórico que diferentes espécies de corpos, de mesmo peso e temperatura, são capazes de conter” (MARCET, 1817, p.127, tradução nossa)³³, também muito conhecida por *capacidade de calor*.

Na sequência do diálogo, “Caroline” levanta um importante questionamento elucidado por “Sra. B”, no qual cita a possibilidade de uma possível diferença de temperatura ser ocasionada devido os diferentes poderes de condução do calor quando se aquecem leite, giz e chumbo, uma vez que aquele que é o melhor condutor deve necessariamente atingir a temperatura do forno primeiro, “Sra. B.” apresenta a seguinte refutação:

Sra. B.

Esta objeção seria insuperável, se não pudéssemos, invertendo o experimento, provar que o leite, o giz e chumbo, na verdade, absorveram diferentes quantidades de calórico, e sabemos que, se o tempo diferente que eles levaram para aquecer, procedesse apenas de seus diferentes poderes de condução, cada um deles teria adquirido uma quantidade igual de calórico (MARCET, 1817, p. 127-128, tradução nossa)³⁴.

³¹ Versão original: MRS. B.: The caloric that is employed in filling the capacity of a body, is not free caloric; but is imprisoned as it were in the body, and is therefore imperceptible: for we can feel only the caloric which the body parts with, and not that which it retains (MARCET, 1817, p. 125).

³² Versão original: MRS.B.: Yet this modification of caloric is commonly called SPECIFIC HEAT (MARCET, 1817, p. 126).

³³ Versão original: MRS. B.: It expresses the relative quantity of caloric which different species of bodies of the same weight and temperature are capable of containing (MARCET, 1817, p. 127).

³⁴ Versão original: MRS. B.: This objection would be insurmountable, if we could not, by reversing the experiment, prove that the milk, the chalk, and the lead, actually absorbed different quantities of caloric, and we know that if the different time they took in heating, proceeded merely from their different conducting powers, they would each have acquired an equal quantity of caloric (MARCET, 1817, p.127-128).

Ao se referir a outra modificação do calórico combinado, “Sra. B” menciona-o como “calor latente”, e ao explicá-lo às meninas, menciona as considerações do “Sr. Pictet”, como pode ser analisado:

Sra. B.

[...] chamamos de calor latente a porção do calórico insensível empregue na mudança de estado dos corpos; isto é, na conversão de sólidos em líquidos, ou líquidos em vapor. Quando um corpo altera o seu estado de sólido para líquido, ou de líquido para vapor, a sua expansão ocasiona um aumento súbito e considerável da capacidade de calor, em consequência, ele absorve imediatamente uma quantidade de calórico, o qual se torna fixada no corpo que é transformado; e, como é perfeitamente escondido dos nossos sentidos, obteve o nome de calor latente (MARCET, 1817, p. 133-134, tradução nossa)³⁵.

Até aqui, podemos observar com mais profundidade a lógica dos argumentos utilizados pelos adeptos da teoria do calórico (substancialista), ao qual consideravam o calor como um fluido sutil, presente no interior dos corpos, sendo que em contato com outro poderia transferir parte do calor, por meio de um fluxo dessa “substância”, logo, não poderia ser criado nem destruído, sendo, portanto, conservado nos corpos (BALDOW; MONTEIRO JUNIOR, 2010). Esta Teoria perdurou durante o período de 1760 a 1850, apesar dos ataques dos defensores da teoria dinâmica do calor, que apesar de ter sido pouco explorada, existia uma semelhança entre elas, como pode ser verificado, no quadro abaixo:

Quadro 1 – Teoria do Calórico x Teoria Dinâmica do Calor

	Teoria do Calórico	Teoria dinâmica do calor
Natureza corpuscular da matéria	- Seria composta por partículas de um Fluido muito sutil presentes de forma estática nos corpos; - O calor estaria associado a quantidade de calórico presente nos corpos;	- As partículas da matéria ordinária apresentariam movimento; - O calor de um corpo era conferido a “<i>vis viva</i>” das partículas;

Fonte: Elaborado pela autora.

³⁵Versão original: MRS. B.: [...] therefore call latent heat that portion of insensible caloric which is employed in changing the state of bodies; that is to say, in converting solids into liquids, or liquids into vapour. When a body changes its state from solid to liquid, or from liquid to vapour, its expansion occasions a sudden and considerable increase of capacity for heat, in consequence of which it immediately absorbs a quantity of caloric, which becomes fixed in the body which it has transformed; and, as it is perfectly concealed from our senses, it has obtained the name of latent heat (MARCET, 1817, p. 133-134).

Na sequência apresentamos algumas críticas que aos poucos foram enfraquecendo a Teoria do calórico, chegando ao seu declínio na metade do século XIX.

2.1.2 Críticas e queda do Calórico

Benjamin Thompson (1753-1814), ou conde de Rumford como foi chamado em 1793, é reconhecido pelas suas contribuições a Física. Anteriormente adepto da teoria substancialista, teve suas primeiras indagações a respeito das experiências desenvolvidas para medir o peso do calórico, porém, foram suas observações ao estudar a explosão da pólvora nas munições no disparo das armas de fogo, e a perfuração de canhões na produção de armamentos, o marco importante para as reflexões sobre a natureza do calor e os fenômenos térmicos, atribuindo com bastante vigor a conjectura de que o calor deveria ser uma forma de movimento, ao qual relatou em seu trabalho dizendo que:

Estava envolvido recentemente na superintendência da perfuração de canhões nas oficinas do arsenal militar de Munique, fiquei impressionado com o grau muito considerável de calor [temperatura] que uma arma de bronze adquire em um curto espaço de tempo em que está sendo perfurada, e ainda com a temperatura maior (muito mais elevada do que a da água em ebulição, como encontrada por experiência) das lascas metálicas separadas do canhão pela broca (THOMPSON, 1798 *apud* ROLLER, 1950, p. 63)³⁶.

O fato de o calor poder ser produzido por atrito já era conhecido desde os tempos mais remotos (CASTRO, 1993), porém, deve-se a Rumford a investigação mais completa desse fenômeno, principalmente ao constatar que uma grande quantidade de calor continuava a ser “produzida” mesmo com a broca cega e sem produzir limalhas (ROLLER, 1950; PEREIRA; CARDOZO, 2005; GOMES, 2012; ARAUJO, 2014), ao qual buscou desvendar a existência, ou inexistência, desse *fluido ígneo* até então compreendido (THOMPSON, 1798 *apud* ROLLER, 1950). Para alguns caloristas, essa quantidade de calor seria resultante da perfuração explicada pelas lascas metálicas saltadas, ao qual teriam baixa capacidade para o calor, cujo calor latente seria liberado durante a abrasão.

³⁶ Versão original: Being engaged lately in superintending the boring of cannon in the workshops of the military arsenal at Munich, I was struck with the very considerable degree of heat [temperature] that a brass gun acquires in a short time in being bored, and with the still higher temperature (much higher than that of boiling water, as I found by experiment) of the metallic chips separated from it by the borer (THOMPSON, 1798 *apud* ROLLER, 1950, p. 63).

Após uma longa série de experimentos, em que buscava analisar a quantidade de calor gerada quando os canhões eram perfurados por brocas, Rumford contesta a teoria do calórico apresentando a seguinte conclusão:

[...] A fonte de calor gerado pelo atrito nessas experiências pareceu ser *inesgotável*. É desnecessário acrescentar que qualquer coisa que qualquer corpo *isolado*, ou sistema de corpos, pode continuar a fornecer *sem limitação*, não pode possivelmente ser *uma substância material*, parece-me ser extremamente difícil, se não impossível, formar qualquer ideia distinta de qualquer coisa capaz de ser excitada e comunicada na forma em que o calor foi excitado e comunicado nessas experiências, a não ser o MOVIMENTO (THOMPSON, 1798 *apud* ROLLER, 1950, p. 79-80, tradução nossa)³⁷.

Ele interpretava que “o calor produzido era aproximadamente proporcional ao trabalho realizado pela broca” (TIPLER, 1978, *apud* SILVA; LABURÚ; NARDI, 2008, p. 386), a dois fatores contestáveis pelos caloristas, a produção de calor, uma vez que não poderia ser criado, e segundo a ideia apresentada anteriormente de conservação. Embora existisse exatidão nos experimentos e argumentos apresentados por Rumford, os resultados apenas fortaleceram os adeptos da concepção dinâmica do calor, mas não foram suficientes para pôr fim a teoria do calórico, uma vez que essa possibilitava explicar muito mais fenômenos do que a teoria dinâmica do calor, que se mostrava insuficiente para uma série de fenômenos, inclusive o motivo do aumento da quantidade de calor pelas lascas de ferro segundo os próprios caloristas.

Deste modo, até a metade do século XIX a teoria do calórico manteve-se amplamente aceita, sendo reforçada por vários trabalhos, como o de Sadi Carnot (1796-1832) em 1824, que estudou a eficiência das máquinas térmicas, compreendendo o calor como um fluido que passaria de um corpo mais quente para outro mais frio, semelhante ao comportamento da água ao escoar entre dois recipientes de diferentes níveis (BROWN, 1951; CASTIGNANI, 1999; SILVA *et al.*, 2013; PEREIRA; CARDOZO, 2005), na tentativa de melhorá-las, idealizou uma máquina ideal sem atrito operando em ciclos, por meio da transferência de calórico (SILVA, *et al.*, 2013; PONTES, 2011).

³⁷ Versão original: And, in reasoning on this subject, we must not forget to consider that most remarkable circumstance, that the source of the heat generated by friction in these experiments appeared to be *inexhaustible*. It is hardly necessary to add that anything which any *insulated* body, or system of bodies, can continue to furnish *without limitation*, cannot possibly be *a material substance*; and it appears to me to be extremely difficult, if not quite impossible, to form any distinct idea of anything capable of being excited and communicated in the manner in which heat was excited and communicated in these experiments, except it be MOTION (THOMPSON, 1798 *apud* ROLLER, 1950, p. 79-80).

Apesar de não estar claro entre os historiadores da ciência sobre as causas que levaram à queda da teoria do calórico, Fox (1971), Bernal (1973), Knight (1986), Brush (1988), entre outros autores, admitem que uma série de novas descobertas entre elas o princípio da conservação da energia, e a aceitação generalizada da natureza ondulatória da luz, “deu uma boa razão para colocar todas as ciências sob um único guarda-chuva, ou seja, eletricidade, magnetismo, ótica, calor e mecânica” (QUEIRÓS; NARDI; DELIZOICOV NETO, 2019, p.681), sendo que a compreensão da energia e sua conservação substituindo a conservação do calórico, junto ao desenvolvimento do cálculo do equivalente mecânico do calor por Mayer (1814-1878) e Joule (1818-1889) constituem o golpe final para a teoria do calórico (GOMES, 2012).

Desde então, as tentativas de refutar o calórico continuaram. Uma hipótese diferente se desenvolveu a partir do princípio da conservação de energia³⁸ por volta da metade do século XIX, tendo como ponto de partida entre diversos autores a determinação da “[...] equivalência quantitativa uniforme entre cada um dos pares de poderes [...]” (GOMES, 2012, p.59) buscando “a relação numérica entre o trabalho feito sobre um corpo e o calor produzido”. Conhecido como “o equivalente mecânico do calor” (GOMES, 2012, p. 59). Dentre os trabalhos destacam-se Julius Robert Mayer e James Prescott Joule (1818-1889).

Através do artigo publicado por Julius Robert Mayer em 1842 de título “*Bemerkungen über die kräfte der unbelebten natur*” (“Observações sobre as forças da natureza inanimada”) o autor considera uma correspondência entre o trabalho realizado por uma força e a produção de calor, assim, ao longo do trabalho, estabelece uma compreensão e relação entre os tipos de força existente, como “força” define a causa das mudanças que podem ser observadas, uma vez que nenhuma mudança acontece sem uma causa, e complementa sua ideia acrescentando que toda causa possui um efeito, assim, após uma série de argumentações conclui que “As forças” são, portanto: *objetos indestrutíveis, mutáveis, imponderáveis* (MAYER, 1842 *apud* MARTINS, 1984, p. 87).

³⁸ Segundo GOMES (2012) com base em Kuhn (2011) diversos pesquisadores entre eles: Julius Robert von Mayer (1814-1878, Alemanha); James Prescott Joule (1818-1889, Inglaterra); Ludwig August Colding (1815-1888, Dinamarca); Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz (1821-1894, Alemanha); Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796-1832, França); Marc Séguin (1786-1875, França); Karl Holtzmann (1811-1865, Alemanha); Gustave-Adolphe Hirn (1815-1890, França); Karl Friedrich Mohr (1806-1879, Alemanha); William Robert Grove (1811-1896, Inglaterra); Michael Faraday (1791-1867, Inglaterra) e Justus von Liebig (1803-1873, Alemanha), adquiriram sozinhos a compreensão sobre energia e sua conservação, tomando como base a disponibilidade dos processos de conversão, o interesse pelas máquinas, e o movimento da *Naturphilosophie*.

Segundo Mayer a conservação da “vis viva” faz parte de um caso particular de uma lei geral de indestrutibilidade das “forças”, ou seja, para ele, em muitas vezes podemos observar que um corpo que se movimenta (sendo o movimento uma “força”), tem esse movimento cessado após um tempo, sem que ele tenha produzido outro movimento, logo, é preciso encontrar que outra “força” surgiu com o desaparecimento da primeira, pois, “[...] uma força que existiu não pode se tornar nula, e sim apenas transformar-se em outra forma [de força] [...]” (MAYER, 1842 *apud* MARTINS, 1984, p. 89), mas “[...] que outras formas pode assumir a força que aprendemos a conhecer como força de queda e movimento?” (MAYER, 1842 *apud* MARTINS, 1984, p. 89).

Ele expõe o exemplo da fricção entre duas placas metálicas que cessado o movimento entre elas o efeito resultante é o calor, será o calor o efeito do movimento? Segundo ele, se não pudermos encontrar o surgimento de “[...] qualquer outro efeito do movimento desaparecido, exceto calor; e para o calor que surge, nenhuma outra causa, exceto o movimento; então a partir daí é preferível supor que o calor surge do movimento, do que supor uma causa sem efeito ou um efeito sem causa [...]” (MAYER, 1842 *apud* MARTINS, 1984, p. 92). Ou seja, para chegar a essa compreensão, Mayer descarta a hipótese de que o calor resultante do atrito entre dois corpos seria causado pelas alterações no estado de agregação e da diminuição de volume dos corpos (GOMES, 2012), admitindo inicialmente a ligação ao movimento de diferentes formas de “força”³⁹, de modo que, tanto a “força de queda”, quanto o “movimento” e o “calor” são formas diferentes de uma mesma coisa, sendo que essa coisa, ou melhor, a “força” não é propriamente nenhuma dessas três coisas, muito semelhante ao conceito moderno de energia (MARTINS, 1984). Neste sentido, questiona-se o quão grande deve ser “[...] a quantidade de calor correspondente a uma determinada quantidade de força de queda de movimento [...]” (MAYER, 1842 *apud* MARTINS, 1984, p.93).

Para estabelecer essa relação, pensa por exemplo, na altura que se deve elevar um peso acima do solo para que seu poder de queda seja equivalente ao aquecimento de um igual peso de água de 0° a 1°C [...] (MAYER, 1842 *apud* MARTINS, 1984). Em seu segundo trabalho de título “*Die organische bewegung in ihrem zusammenhang mit dem stoffwechsel, ein beitrag zur Naturkund*” (“O movimento orgânico e sua conexão com o metabolismo, uma contribuição para a História Natural”), o mesmo apresenta os cálculos para a medida desse equivalente do calor,

³⁹ Algumas das formas de “força” podem ser conferidas: “força de queda”; “força de movimento”, que pode ser simples ou vibracional; “calor”; “magnetismo”; “eletricidade”; “força química”; “separação química” e “combinação química” (GOMES, 2012, p. 68).

em que utiliza o “[...] valor do calor específico do ar, a pressão constante, e o resultado da razão entre os calores específicos a volume constante e a pressão constante, ambos encontrados na época por Gay-Lussac [...]” (GOMES, 2012, p. 67), chegando ao valor de 3,6 J/cal, onde também se conclui sobre hipótese vibratória do calor (SCHURMANN, 1946 *apud* ARAUJO, 2014).

São expressos nos argumentos de Mayer ao desenvolver as experiências para encontrar o equivalente mecânico, ideias que reportam seu pensamento sobre a natureza do calor, que apesar de mostrar indícios de uma visão dinâmica utiliza aspectos do calórico como:

“[...] uma pressão de polegadas de mercúrio [condições padrão] **é aquecido por uma quantidade de calor** [...]”

[...] Nesse caso, uma maior quantidade de calor é necessária [...].

Se o ar é esfriado sob as mesmas condições com que foi aquecido, **uma quantidade de calor** igual à que foi tomada é devolvida. A quantidade de ar dada, se é esfriada de 274 °C a 0 °C sem gasto simultâneo de efeito mecânico (ou com pressão ausente), irá, conseqüentemente, **devolver a quantidade de calor** = x. No entanto, em esfriamento a pressão constante com gasto de força de queda equivalente ao necessário para levantar libras de 1 polegada, o ar irá devolver a quantidade de calor x + y.

O vapor na máquina quando se expande comporta-se como o ar a pressão constante. **A quantidade de calor necessária para o aquecimento e expansão** do vapor é de x + y. No processo de esfriamento o vapor não experimenta nenhuma pressão particular, portanto, o esfriamento acontece sem (ou com muito pequeno) gasto de efeito mecânico. **Ele devolve a quantidade de calor x**. Portanto, há associado com cada ciclo do pistão no cilindro da máquina uma **perda de calor** igual a y. Assim, a operação da máquina é inseparavelmente ligada com um **consumo de calor**.

A quantidade de calor que deve ser gasta para produzir uma determinada quantidade de efeito mecânico deve ser avaliada experimentalmente (MAYER, 1845 *apud* LINDSAY, 1975, p. 290-291, grifo nosso, tradução nossa)⁴⁰.

⁴⁰ Versão original: Let us assume that 1 cubic inch of air at 0 °C and a pressure of 27 inches of Mercury [standard conditions] is heated by a quantity of heat x at constant volume to 274 °C. When this gas is allowed to expand into an evacuated space of the same volume it will still retain the temperature 274 °C and a medium surrounding the vessels containing the gas will during the expansion experience no change in temperature. Now, however, consider the other case in which 1 cubic inch of air is heated from 0 °C to 274 °C not at constant volume but at constant pressure (namely 27 inches of mercury). In this case a larger quantity of heat is required [...] If the air is cooled under the same circumstances under which it was heated, an amount of heat is given back equal to that which was taken up. The given amount of air if it is cooled from 274 °C to 0 °C without the simultaneous expenditure of mechanical work (or with pressure absent) will accordingly give back the quantity of heat = x. However, in cooling under constant pressure with the expenditure of potential energy equivalent to that needed to raise 15 pounds 1 inch, the air will give back the quantity of heat x + y. The steam in the engine when it expands behaves like the air

Mais um exemplo da compreensão sobre a natureza do calor, e da ideia de equivalente mecânico proposta por Mayer pode ser analisada no argumento descrito por Martins quando o autor explica a diferença entre a cor do sangue de duas pessoas:

[...] Ora, segundo Mayer, “para que o corpo humano possa ser mantido a uma temperatura uniforme, **o desenvolvimento de calor dentro dele deve manter uma relação quantitativa com o calor perdido pelo corpo**” – deve depender, portanto, da temperatura do meio ambiente; portanto, a **produção de calor** e o processo de oxidação, assim como *a diferença de cor dos dois tipos de sangue*, devem ser globalmente menores nas zonas tórridas do que em regiões temperadas.

[...] Mayer considera que mesmo um organismo vivo **é incapaz de gerar calor a partir do nada**. Por isto, ele é levado a admitir que o calor *total* produzido por um ser vivo (isto é, a soma do calor corporal com o calor produzido mecanicamente pelo organismo) deve corresponder ao calor gerado por oxidação dos alimentos naquele ser vivo. Mas, nesse caso, o calor gerado pelos efeitos mecânicos do ser vivo deve ser limitado pela sua capacidade de realizar esforço mecânico, e esta, por sua vez, pelo calor que pode ser gerado pelo alimento. Mayer conclui que “o calor produzido mecanicamente pelo organismo deve manter uma relação quantitativa invariável para com o trabalho gasto em sua produção”. Mas esse resultado deve ser válido, não só para organismos vivos, mas para qualquer tipo de processo da natureza. Portanto, **Mayer conclui que o calor produzido por meio de uma ação mecânica qualquer é proporcional ao trabalho empregado**. (MARTINS, 1984, p. 64-66, grifo nosso).

Apesar de não ter tido a necessidade em se aprofundar sobre a natureza do calor (VALENTE, 1999), sua construção conceitual do princípio da conservação de energia e o resultado encontrados para o equivalente mecânico, foram importantíssimas, porém seu trabalho não teve muita relevância para os contemporâneos, devido à linguagem distante da física da época bem como, a falta de alguém que compreendesse suas ideias e o ajudasse.

Em contrapartida, a preocupação inicial de James Prescott Joule (1818-1889)⁴¹ não era de fato com a natureza do calor, mas sim entender o motivo pelo qual as máquinas elétricas apresentavam baixo rendimento. Para ele, o trabalho executado e o alto consumo de

at constant pressure. The quantity of heat needed for the heating and expansion of the steam is $x + y$. In the cooling process the steam experiences no particular pressure and hence the cooling takes place without (or with very small) expenditure of mechanical work. It gives back the heat quantity x . Hence there is associated with every cycle of the piston in the cylinder of the engine a heat loss equal to y . Thus the operation of the engine is inseparably connected with a consumption of heat. The quantity of heat which must be expended to produce a definite amount of mechanical work must be evaluated experimentally (MAYER, 1845 *apud* LINDSAY, 1975, p. 290-291).

⁴¹ Os artigos de Joule mencionados ao longo desse trabalho foram consultados através da coletânea: “*The scientific papers of James Prescott Joule*”, publicada pela “*The Physical Society of London*”, em Londres, no ano de 1884, disponível em: <http://www.archive.org/details/scientificpapers01joule>.

combustível dos motores magneto-elétricos poderia estar relacionado com o aquecimento dos motores (JOULE, 1884; CARDWELL, 1989; QUEIRÓS, 2012). Deste modo, realizou uma série de experimentos envolvendo circuitos elétricos e máquinas eletromagnéticas, buscando melhorias para a eficiência desses motores, ao qual acreditava ser capaz de substituir as máquinas a vapor (JOULE, 1884; VALENTE, 1999; SILVA *et al.*, 2013). Não demorou muito para perceber, que para alcançar a eficiência dos motores necessitaria de um estudo profundo sobre a produção de calor nos circuitos elétricos (GOMES, 2012).

Dentre os inúmeros trabalhos publicados por Joule sobre a eletricidade, magnetismo e calor, as grandes contribuições a ele referem-se à construção do conceito dinâmico de calor, e o equivalente mecânico, aos quais foram expressos com mais ênfase no trabalho publicado em 1847 *“On Matter, Living Force, and Heat”*. Os trabalhos anteriores desenvolvidos entre 1840 e 1845 marcam um período de transição entre as concepções de calor, *sendo os artigos “On the Production of Heat by Voltaic Electricity” (1840) e “On the Heat evolved by Metallic Conductors of Electricity, and in the Cells of a Battery during Electrolysis” (1841)* o pontapé inicial para suas primeiras indagações a respeito do verdadeiro conceito de calor.

No trabalho *“Description of an Electro-magnetic Engine” (1838)*, e *“On a New Class of Magnetic Forces”*, Joule buscou estudar o funcionamento dos motores eletromagnéticos, apresentando uma relação para o rendimento dos motores elétricos e as máquinas a vapor. Ao analisar por meio de experimentos porque uma barra de ferro aumenta seu comprimento quando sujeita a influência magnética, ele chega à conclusão que ao redor do átomo existe além de uma atmosfera de eletricidade, uma atmosfera de magnetismo, cujo espaço entre os átomos é preenchido com éter calorífico e um estado de vibração que ele chama de calor, assim, um aumento de violência e extensão ocasionaria também em aumento de temperatura da barra (JOULE, 1884; CARDWELL, 1989; CARVALHO, 2016). Apesar dos indícios da teoria dinâmica do calor, presentes em suas explicações, essa ideia ainda não estava tão amadurecida por Joule.

No final do ano de 1840 Joule publicou um resumo sobre a produção de calor gerada por eletricidade voltaica, guiado pelo interesse em buscar um maior desempenho aos motores elétricos, realiza uma série de experimentos investigando a relação entre o aquecimento resultante nas máquinas e eletricidade. Joule *“mostrou que o “efeito calorífico” produzido pela passagem da corrente em um fio é proporcional ao quadrado da magnitude da corrente multiplicado pela resistência do fio” (GOMES, 2012, p. 71), para qualquer que seja o*

comprimento, espessura, formato ou tipo de condutor metálico (JOULE, 1884), o que é conhecido hoje como “efeito Joule”. Ao fazer passar corrente pela bateria percebeu que o calor produzido pela combustão do zinco em oxigênio estaria relacionado a uma resistência a condutividade elétrica, contudo, ela se aquecia menos quando havia corrente elétrica do que quando oxidada sem gerar corrente, o que parecia que uma parte do calor seria transportada pela corrente aos fios (GOMES, 2012; CARVALHO, 2016). O aquecimento era, portanto, inevitável, implicando em um desperdício de zinco na bateria (JOULE, 1884; CARDWELL, 1989; QUEIRÓS, 2012; CARVALHO, 2016). Estas experiências levaram Joule a se questionar se seria “[...] a resistência a condução a *única* causa dos efeitos de aquecimento [...]” (JOULE, 1884, p. 60, tradução nossa)⁴², ou seja, começa-se a questionar quanto a natureza do calor e sua origem (JOULE, 1884; VALENTE, 1999; GOMES, 2012; CARVALHO, 2016).

Mas, ao verificar a geração de corrente pela rotação de bobinas de fio de cobre entre os polos de um ímã⁴³ através de uma máquina magnetoelétrica, sem estar ligada a uma bateria, também observava o aparecimento de calor nos fios. Isso o faz começar a compreender que o calor estaria sendo gerado durante a passagem de corrente elétrica, e não transportado de um lugar a outro como se pensavam os caloristas (VALENTE, 1999; GOMES, 2012). Estas conclusões colocam-no em dúvida sobre a verdadeira natureza do calor, pois, leva a compreensão de que o calor poderia ser criado, contrariando a concepção do calórico. A incerteza é manifestada em diversas passagens em que ele utiliza as expressões “calor produzido”, “desenvolvido”, “gerado” (CARVALHO, 2016).

No trabalho publicado em 1843, “*On the Calorific Effects of Magneto-Electricity, and on the Mechanical Value of Heat*” ele busca uma expressão para a conversão entre calor e trabalho, estabelecendo relações entre a convertibilidade do calor em força mecânica e vice-versa, a fim de encontrar valores quantitativos para o equivalente mecânico (VALENTE, 1999; GOMES, 2012; CARVALHO, 2016). Deste modo, começa se questionando sobre a possibilidade de considerar o calor como um estado de vibração e não uma substância, colocando em dúvida se o calor foi de fato gerado (evidências contra o calórico) ou transferido

⁴² Versão original: [...] and especially as it was of the utmost importance to know whether resistance to conduction is the sole cause of the heating effects [...] (JOULE, 1884, p. 60).

⁴³ Versão original: [...] investigation of the cause of the different degrees of facility with which various kinds of metal, of different sizes, are heated by the passage of voltaic electricity [...] (JOULE, 1884, p. 59).

das bobinas (suposição dada pela teoria do calórico) na qual magneto-eletricidade era induzida (JOULE, 1884).

Os resultados experimentais permitem concluir que o calor gerado na bobina de uma máquina magnetoelétrica é proporcional ao quadrado da corrente elétrica que a atravessa, de modo que tanto o calor produzido na bobina quanto o calor desenvolvido nos dispositivos voltaicos são regidos pelos mesmos princípios (JOULE, 1884; MARTINS, 1984; GOMES, 2012; CARVALHO, 2016). Tendo esta certeza, buscou então compreender se existia uma relação constante entre o calor gerado por uma máquina magnetoelétrica e a força mecânica ganha ou perdida (JOULE, 1884). Para determinar essa relação desenvolveu uma série de experimentos, entretanto, os valores obtidos apresentavam discrepâncias, suas primeiras medidas, mostravam que “o aquecimento de uma libra de água a 1°F era equivalente ao trabalho mecânico capaz de erguer 896 libras à altura de um pé – ou seja, um resultado correspondente a $1 \text{ cal} = 4,8 \text{ J}$ ” (MARTINS, 1984, p. 70), entre outras medidas que mostravam uma oscilação entre 3,2J/cal e 5,5J/cal, o que o levava a acreditar que a eficiência dos motores elétricos não seria alcançada, pois seria impossível converter mais da metade do calor gerado em potência útil (JOULE, 1884).

Retomando seus experimentos os relaciona aos trabalhos de Rumford sobre a produção de calor através da fricção de metais e a indestrutibilidade das forças (JOULE, 1884; VALENTE, 1999; CARVALHO, 2016), em que concluiu que o calor era proveniente do movimento das partículas dos materiais durante o atrito. Buscando comprovar as ideias de Rumford a fim de obter o equivalente mecânico, desenvolve um experimento de fricção através da passagem de água em tubos, buscando verificar a produção de calor (JOULE, 1884) e por meio dele descreve que “[...] onde quer que a força mecânica seja gasta, um exato equivalente de calor *sempre* será obtido” (JOULE, 1884, p. 158, tradução nossa, itálico do autor), sendo os agentes principais da natureza pela ordem do criador, indestrutíveis. Desta forma, a correspondência entre eletricidade e calor, fundamenta-se na conservação dos “agentes da natureza”, de modo que tanto a energia elétrica quanto a energia mecânica tende a converter-se em calor (SILVA; MORADILLO, 2005; CARVALHO, 2016).

Convencido de que havia uma relação *constante* entre calor e força mecânica, Joule apresenta uma série de trabalhos e experimentos buscando uma sólida concepção sobre a natureza do calor e o equivalente mecânico, descrevendo sua experiência mais conhecida, a de agitação da água por meio de pás, em 1845 (GOMES, 2012). Após realizar uma série dessa

experiência e reduzir a capacidade para o calor para 1lb de água, verifica uma potência mecânica igual ao que se pode levantar um peso de 890lb. Retomando os resultados de experiências anteriores, sendo: 823 lb derivada a partir da máquina magneto-elétrica; 795 lb deduzida da rarefação do ar e 774 lb de experimentos sobre o movimento da água em tubos estreitos, considera encontrado a existência do equivalente mecânico do calor, para uma média de 817lb (GOMES, 2012).

Em 1847, na conferência anual da *British Association*, realizada em Oxford, ao exibir os experimentos desenvolvidos e os principais resultados encontrados, concluindo que “[...] toda a força viva usada para comprimir as molas tinha sido convertida em atração ao longo do espaço. Era, ele acreditava, análogo ao calor latente” (CARDWELL, 1989 *apud* GOMES, 2012, p.77), o jovem William Thomson, mostra-se profundamente interessado pela nova teoria, fator que foi preponderante para a aceitação dos cientistas ingleses sobre sua teoria.

Neste mesmo ano, Joule descreveu de uma forma mais ampla e coerente o princípio geral de conservação, presente no trabalho “*On Matter, Living Force, and Heat*” cujo embasamento motivou a dar prosseguimento com as experiências sobre o equivalente mecânico. O autor inicia descrevendo importantes propriedades que permita caracterizar uma substância, possibilitando adiante um novo olhar para o conceito do calor. Deste modo, inicia sua argumentação afirmando que a impenetrabilidade e a extensão são interpretadas como propriedade da matéria, porém deveriam ser reconhecidas como o que define, uma vez que qualquer coisa que não possua essas qualidades não poderiam ser chamadas de matéria. Entre o que considera como propriedades ele enfatiza a atração gravitacional, inércia e vis viva. A vis viva é considerada por ele como uma força possuída pelos corpos em movimento, denominada pelos filósofos mecânicos de *vis viva* ou *força viva*.

Segundo ele, esta representação é necessária para permitir a distinção entre a força motriz ao qual é estacionária em sua natureza, como a força da gravidade. Assim, ao dizer força viva ele se refere a força dos corpos em movimento (JOULE, 1884). Joule considera óbvio que “a força empregada para colocar um corpo em movimento é carregada pelo próprio corpo, e existe com ele e nele, durante todo o percurso de seu movimento” (JOULE, 1884, p. 267) referindo-se à conservação da “vis viva”.

Para ele, poderia existir várias formas de um corpo ser dotado de “força viva”, entre elas, durante uma colisão, pela ação gravitacional, ao estar parado, pois, “caso contrário, de

onde viria a “força viva” de uma pedra solta de uma determinada altura”, entre outras, sendo assim a “força viva” depende do “peso” e da velocidade do corpo. “Logo, a destruição absoluta da força viva não pode eventualmente ocorrer [...], pois onde quer que a força viva seja *aparentemente* destruída, um equivalente é produzido [...]. Este equivalente é o *calor* [...]” (JOULE, 1884, p. 268-269, tradução nossa). Unindo todas as propriedades mencionadas ele conclui que calor não é substância e sim que:

[...] Calor deve consistir numa força viva ou atração através do espaço. No primeiro caso, podemos conceber as partículas constituintes do corpo a ser aquecido, no todo ou em parte, num estado de movimento. Neste último podemos supor as partículas sendo separadas pelo processo de aquecimento, de modo a exercer atração em um espaço maior [...] (JOULE, 1884, p. 273-274, grifo nosso, tradução nossa)⁴⁴.

[...] As partículas constituintes, ou átomos dos corpos, são supostas de estar em movimento, sem produzir um movimento bruto de toda a massa. Estas partículas, ou átomos, sendo pequenas demais para serem vistas até mesmo com a ajuda de microscópios mais poderosos, não é de admirar que não podemos observar o seu movimento. Há, portanto, razão para supor que as partículas de todos os corpos, seus átomos constituintes, estão em um estado de movimento quase demasiado rápido para concebermos que os fenômenos não podem ser explicados de outra maneira [...] (JOULE, 1884, p. 274, grifo nosso, tradução nossa)⁴⁵.

Junto a essa nova concepção de calor, Joule define calor sensível como a “força viva” das partículas, provocando um aumento, conseqüentemente, no estado de movimento das partículas e o calor latente produzido através da separação das partículas, o que acarreta em uma mudança no estado físico da matéria (CARVALHO, 2016). Assim, o fenômeno de condução estaria relacionado a um aumento da velocidade de revolução das partículas, o que ocasiona um aumento de temperatura, no qual pode ser distribuída entre os corpos vizinhos pela comunicação do aumento do movimento das partículas de um corpo para outro (JOULE, 1884).

Portanto, seu interesse pela determinação do equivalente mecânico do calor propiciaram uma nova compreensão sobre a conservação da energia, e uma gradual mudança na concepção

⁴⁴ Versão original: [...] Heat must therefore consist of either living force or of attraction through space. In the former case we can conceive the constituent particles of heated bodies to be, either in whole or in part, in a state of motion. In the latter we may suppose the particles to be removed by the process of heating, so as to exert attraction through greater space [...] (JOULE, 1884, p. 273-274).

⁴⁵ Versão original: [...] The constituent particles, or atoms of the bodies, are supposed to be in motion, without producing a gross motion of the whole mass. These particles, or atoms, being far too small to be seen even by the help of the most powerful microscopes, it is no wonder that we cannot observe their motion. There is therefore reason to suppose that the particles of all bodies, their constituent atoms, are in a state of motion almost too rapid for us to conceive, for the phenomena cannot be otherwise explained [...] (JOULE, 1884, p. 274).

do calor. Suas novas considerações se desenvolveram mediante as interpretações estabelecidas durante a idade média por Bacon, Newton e Boyle, e experienciada por Rumford, Davy e Forbes (JOULE, 1884; CARVALHO, 2016), o apoio de William Thomson, o famoso Lorde Kelvin, também contribuiu fortemente para tornar pública as ideias de Joule.

Em 1852, no trabalho desenvolvido por Kelvin de título “*On a universal tendency in nature to the dissipation of mechanical energy*”, é possível notar que este se rende a teoria dinâmica do calor, apresentando em suas explicações suas principais características, ao tratar do “desperdício” de calor nas máquinas, devido a uma transformação de energia em processos irreversíveis:

O objetivo da presente comunicação é chamar atenção para uma remarcável consequência que se segue da proposição de Carnot, [a saber] que há um absoluto desperdício de energia mecânica disponível ao homem, quando calor é permitido passar de um corpo para outro a temperatura menor, por qualquer meio que não preencha seu [de Carnot] critério de uma “máquina termodinâmica perfeita”, estabelecido, sob novos fundamentos, na teoria dinâmica do calor. Como é muito certo que só o Poder Criador pode, ou trazer à existência ou aniquilar energia mecânica, o “desperdício” mencionado não pode ser aniquilação, mas deve ser alguma transformação de energia. Para explicar a natureza dessa transformação, é conveniente, em primeiro lugar, dividir os *suprimentos* de energia mecânica em duas classes – *estático* e *dinâmico*. Uma quantidade de pesos a uma altura, prontos para descer e realizar trabalho, quando se desejar, um corpo eletrificado, uma quantidade de combustível contém suprimentos de energia mecânica do tipo estático. Massas de matéria em movimento, um volume de espaço pelo qual estão passando ondulações da luz ou calor radiante, um corpo que tenha movimentos térmicos entre suas partículas (isto é, não infinitamente frio) contém suprimentos de energia mecânica do tipo dinâmico (THOMSON, 2007, *apud* GOMES, 2012, p.86).

2.1.3 Novas interpretações para o calor

Até aqui evidenciamos ao longo do processo histórico duas teorias para o calor, a teoria do calórico, em que admitia a existência de um fluido estático presente nos corpos, sendo capaz de transferir-se a outro de menor quantidade de calor, e a teoria dinâmica do calor, ao qual confere uma forma de energia manifestada pela vibração das partículas de um corpo, transferível do corpo de maior temperatura ao de menor. No entanto, assim como mostra a história, em que vários momentos havia uma dificuldade e uma confusão entre os filósofos e cientistas em definirem o conceito, nos contextos de ensino e de pesquisa esse conceito também tem se mostrado muito confuso. Segundo Doménech (2000, p.10, tradução nossa).

Reiteradamente, se observa a influência da linguagem na concepção que os alunos têm de energia (Solomon 1983a; McClelland 1989; Beynon1990;

Chisholm 1992; Galagovsky et al. 1998). Assim, o fato de que, em nossa vida diária (e às vezes também em nossas aulas de Física e Química), muitas vezes usamos expressões como “fluxo de energia”, “troca de energia”, “transferência de energia”, “transformação de energia”, etc., induzem alguns alunos a pensar que a energia é uma espécie de substância ou fluido contido nos objetos.⁴⁶

Diante disso, Josep Lluís Doménech em sua tese de doutorado, de título “*L’ensenyament de l’energia en l’educació secundària: anàlisi de les dificultats i una proposta de millora*” em 2000, defende a interpretação do conceito de calor como um processo, já apresentada por Garcia Houcarde e Rodrigues de Avila em 1985, dizendo que:

A explicação física dos fenômenos associados com o <<calor>> passou por três fases: a) O calor é um fluido contido nos corpos e intercambiável. b) O calor é uma forma de energia e c) **O calor é o nome convencional de um processo** (GARCIA HOUCARDE; RODRIGUES DE AVILA, 1985, p.192, grifo nosso)⁴⁷.

Esta ideia, é apresentada por Gomes (2012) como a mais plausível dentre o universo reificado. Isso, pois, ela evita os equívocos atribuídos ao calor, como fluxo de energia, receber calor, ceder calor, além de trazer uma compreensão mais precisa das interações e fenômenos térmicos. Evitando a confusão em entender o fato de o calor ser uma forma de energia, mas não poder ser armazenado, presente nas definições sobre a teoria dinâmica do calor, ou, dizer não ser correto, afirmar que “um corpo tem uma certa quantidade de calor, embora o seja dizer que este corpo transferiu calor para outro. Como é possível transferir algo que não tem?” (SEARS et al., 1984, p. 405). Antes de compreendê-la vamos entender o que é energia e trabalho.

Apesar de não temos uma definição correta para o conceito de energia, concordamos assim como Feynman que na natureza existe uma “[...] certa quantidade, denominada energia, que não muda nas múltiplas modificações pelas quais passa a natureza”, ou seja, existe uma grandeza possível de ser medida que permanece constante quando algo acontece. Logo, isso “é apenas um fato estranho de que podemos calcular certo número e, quando terminamos de observar a natureza em suas

⁴⁶ Versão original: Reiteradament, s'ha assenyalat aquesta influència del llenguatge en la concepció que els alumnes tenen de l'energia (Solomon 1983a; McClelland 1989; Beynon 1990; Chisholm 1992; Galagovsky et al. 1998). Així, el fet que, en la nostra vida diària (i de vegades també en les nostres classes de Física i Química), utilitzem sovint expressions com ara, “flux d'energia”, “intercanvi d'energia”, “transferència d'energia”, “transformació de l'energia”, etc., porta a alguns alumnes a pensar que l'energia és una mena de substància o fluid contingut en els objectes (DOMÉNECH, 2000, p. 10, tradução nossa).

⁴⁷ Versão original: La explicación Física de los fenómenos asociados al «calor» ha pasado por tres fases: a) El calor es un fluido contenido en los cuerpos e intercambiable. b) El calor es una forma de energía y c) El calor es el nombre convencional de un proceso (GARCIA HOUCARDE; RODRIGUES DE AVILA, 1985, p. 192).

peripécias e calculamos o número de novo, ele é o mesmo [...]” (FEYNMAN, 2005, p. 91, grifo nosso).

Para que não haja interpretações errôneas, como o de estabelecer a compreensão como uma substância ou fluido contido nos objetos, como se imagina atualmente, há que se atentar que ela está associada à configuração de um sistema e as interações que essa configuração permite estabelecer, ou seja, não podemos medir ou determinar de modo absoluto a energia de um corpo ou sistema, apenas sua variação (GOMES, 2012). Assim, “somente podemos falar de a energia cinética de um objeto na medida em que existam outros corpos com os quais possa interagir. Trata-se, definitivamente, de uma *propriedade do sistema* constituído por esse conjunto de objetos” (DOMÉNECH, 2000, p. 295, tradução nossa)⁴⁸.

Nesta perspectiva, compreendemos que um sistema só pode variar a energia associada à sua configuração devido a um processo de transformações ocasionadas pela interação com o meio externo ou entre suas partes (DOMÉNECH, 2000), sem provocar fluxo de energia, ou transferência de algo. Há apenas transformações do arranjo do sistema! (GOMES, 2012).

Compreendendo que a energia do sistema é apenas uma, podemos interpretar as diversas configurações que passa o sistema nesse processo e as maneiras que ocorrem as interações, como se esta energia estivesse distribuída em diferentes formas (cinética, potencial gravitacional, potencial elástica, elétrica, etc.), mas deve-se ter claro que as distintas formas de energia não se remetem a uma mudança de forma, e sim a “diferentes configurações dos sistemas e a distintas formas de interagir da matéria” (DOMÉNECH, 2003; GOMES, 2012).

Na Física clássica podemos variar a energia de um sistema por seis diferentes processos: Trabalho (W), calor (Q), transferência de matéria (T_{MT}), Ondas mecânicas (T_{MW}), radiações eletromagnéticas (T_{ER}), transmissão elétrica (T_{ET}),

W : *trabalho* feito sobre o sistema por forças externas cujos pontos de aplicação movem-se ao longo dos deslocamentos; (JEWETT JUNIOR, 2008, p. 211)

⁴⁸ Versão original: [...] En consecuencia, **sólo podemos hablar de la energía cinética de un objeto en la medida en que existen otros cuerpos con los cuales puede interaccionar**. Se trata, en definitiva, de una *propiedad del sistema* constituido por ese conjunto de objetos.

Q : variação de energia através de interações entre os sistemas por *calor* devido a uma diferença de temperatura entre o sistema e a sua vizinhança; (JEWETT JUNIOR, 2008; GOMES, 2012).

T_{MT} : variação de energia através de interações entre os sistemas por *transferência de matéria* (tais como a transferência de um combustível para dentro de um tanque); (JEWETT JUNIOR, 2008; GOMES, 2012).

T_{MW} : variação de energia através de interações entre os sistemas por *ondas mecânicas* tais como as ondas sonoras ou ondas sísmicas; (JEWETT JUNIOR, 2008; GOMES, 2012).

T_{ER} : variação de energia através de interações entre os sistemas por *radiação eletromagnética* tais como a luz ou microondas; (JEWETT JUNIOR, 2008; GOMES, 2012).

T_{ET} : variação de energia através de interações entre os sistemas por *transmissão elétrica* de uma bateria ou outra fonte elétrica.

É importante também estar claro, que cada variação de energia em um sistema é acompanhada por uma variação oposta de energia, seja no sistema externo ou em outro sistema cujas interações estejam ocorrendo. Isso ocorre porque a energia do Universo é constante, não podendo ser criada ou destruída. Sendo assim, compreendemos o conceito de trabalho como uma forma de intercâmbios de energia (DOMÉNECH *et al*, 2003), de modo que assim como o calor (Q), é um processo pelo qual é possível variar a energia de um sistema. A única diferença é que o trabalho (W) envolve interações macroscópicas no qual as forças são mensuráveis, ao contrário entendemos o calor (Q) como um conjunto de micro trabalhos realizados em nível microscópico, no qual participa um número muito grande de partículas, e que ocorre devido o contato entre objetos de diferentes temperaturas, ocasionando a variação de energia interna em ambos os sistemas (DOMÉNECH, 2000; DOMÉNECH *et al.*, 2003; GOMES, 2012; GARCIA HOUCARDE; RODRIGUES DE AVILA, 1985).

Estando a energia interna “associada aos componentes microscópicos de um sistema – átomos e moléculas – quando vistos a partir de um referencial em repouso em relação ao sistema” (SERWAY; JEWETT JUNIOR, 2005, p. 589), que compreende os movimentos translacional, rotacional e vibratório dos átomos, junto as energias cinética, potencial e intermolecular das moléculas que compõem o sistema (SERWAY; JEWETT JUNIOR, 2005).

2.2 CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS SOBRE O CALOR

O século XX é marcado por uma Revolução/Evolução da ciência, cujas inúmeras publicações transformaram sua compreensão e a forma de se produzir conhecimento científico, entre elas estão as obras de: Bachelard, em 1938, “*A formação do Espírito científico*”; “*A lógica das investigações científicas*” de Popper, em 1934, e “*A estrutura das Revoluções científicas*” de Kuhn, em 1962. Também merecem ser destacados os trabalhos publicados por Piaget e Ausubel, ao qual foram relevantes para a compreensão, na tentativa de explicar o modo como construímos conhecimento na nossa estrutura cognitiva. Como consequência dessas produções, a partir da década de 1970, começam a surgir investigações sobre a compreensão de diversos fenômenos físicos que os alunos apresentam quando são questionados a respeito (CARVALHO, *et al.*, 2007; RAFAEL; MARTINS, 2007; CARRASCOSA; GIL, 1992).

Essas representações receberam várias nomeações, entre elas: “ideias prévias”; “conceitos intuitivos”; “conceitos espontâneos”; “formas espontâneas de raciocínio”; “estruturas alternativas”; “ideias ingênuas”; “concepções prévias”, etc. No entanto, essas expressões remetem a uma compreensão errônea, que deve ser modificada (GOMES, 2008; CARVALHO, 2016). Então, após algumas críticas, entre elas a de Driver e Easley (1978), prevaleceu, entre as pesquisas, a denominação “concepções alternativas”⁴⁹, “[...] uma vez que possuem uma estrutura lógica e são úteis para interpretar os fenômenos tanto quanto as concepções científicas” (GOMES, 2008, p. 14).

Assim, as concepções alternativas (CAs) podem ser interpretadas como: representações construídas pelo indivíduo, que surgem devido sua ação e interação com o meio físico e social em que vive (SANTOS, 1991; FIGUEIRA; ROCHA, 2011). Na maioria das vezes, são manifestadas por meio de “[...] uma resposta rápida, não reflexiva, considerada como evidente e cujas justificações são relativamente pouco explicitadas” (SANTOS, 1998, p. 23-24).

Logo após a publicação dos primeiros trabalhos que identificavam as concepções alternativas dos estudantes, surge um novo modelo de ensino que visa promover uma mudança conceitual. Este modelo se desenvolveu a partir de uma analogia entre duas abordagens: a construção do conhecimento científico e a aprendizagem da ciência. Nesta vertente

⁴⁹ Estes termos podem ser encontrados em pesquisas bem como serem utilizados pelos pesquisadores na área de ensino de ciências, entretanto todos eles se referem as ideias de senso comum que os alunos trazem para a sala de aula, bem como ideais que estão presentes em qualquer indivíduo independente de sua instrução escolar. Ao longo do texto nos referiremos a essa definição como “Concepções alternativas” ou “CAs”.

construtivista, a compreensão é de que a aprendizagem se desenvolve a partir da ação do indivíduo, sendo ela um processo adaptativo cujos esquemas são reconstruídos, a fim de, atingirem patamares mais evoluídos de ideias e experiências (MORTIMER, 1992).

Neste sentido, em consonância com a visão construtivista, duas compreensões sobre esse modelo se destacaram na década de 70 e 80. Ambas reconhecem a importância das concepções alternativas do estudante no processo de escolarização, sendo relevante para a aprendizagem das teorias científicas, logo, o primeiro modelo de mudança conceitual tinha como objetivo, por meio de estratégias de conflito cognitivo, modificar as concepções alternativas, acreditando que essas mudariam sob o impacto das novas ideias ou de novas evidências. Assim, o professor deveria elaborar estratégias de conflito que gerassem “[...] uma dissonância cognitiva no aluno suficientemente grande como para levar a uma acomodação, mas não tão grande como para conduzir ao abandono da tarefa. O resultado da acomodação seria uma mudança conceitual” (MOREIRA; GRECA, 2003, p. 3).

Apesar do termo utilizado no modelo de mudança conceitual ser um conceito chave da teoria piagetiana (acomodação), ele

“[...] não representa a visão piagetiana de mudança, pois a mudança piagetiana é estrutural, relativa a operações cognitivas qualitativamente diferentes, não conceitual, referente a conceitos específicos” (MOREIRA; GRECA, 2003, p. 3).

Entretanto, apesar da promoção do conflito cognitivo ser necessária, não era suficiente para que o aluno modificasse, definitivamente, sua concepção alternativa (MOREIRA; GRECA, 2003), uma vez que poderiam “[...] não reconhecer a perturbação enquanto tal e suas ideias permaneceriam inalteradas. Mesmo quando a reconhecessem, poderiam criar hipóteses ad-hoc para adaptar a velha ideia à perturbação” (MORTIMER, 1996, p. 25). Assim, aos poucos essa visão de aprendizagem através de conflitos revelou ser uma coisa muito difícil e complicada, recebendo muitas críticas, isso pois, algumas situações requerem conflitos com certo grau de complexidade, dificultando sua compreensão e consequentemente uma possível mudança conceitual (CHICÓRA, 2018).

Posner, Strike, Hewson e Gertzog (1982) propuseram outro modelo de mudança conceitual, nele os autores apresentavam quatro condições para que a mudança de fato ocorresse, sendo: “insatisfação com os conceitos existentes, a nova concepção se mostrar inteligível, a nova concepção se mostrar plausível e a nova concepção se mostrar frutífera”

(POSNER *et al*, 1982 *apud* MORTIMER, 1992, p. 38). A primeira condição se perpetua através da apresentação de uma situação cujas concepções espontâneas dos estudantes não seja suficiente para explicar o fenômeno, assim, o mesmo será levado a buscar novas concepções e elaborar novas explicações. Em relação as demais condições, El-Hani e Bizzo (1999, p. 5) salientam que:

Quando uma concepção é *inteligível* para um indivíduo, ele é capaz de entender o que ela significa, encontrar uma maneira de representá-la, compreender como a experiência pode ser estruturada a partir dela e explorar suas possibilidades. Uma concepção inteligível para o indivíduo será também *plausível*, caso pareça ter a capacidade de resolver as anomalias com as quais se defronta uma concepção anterior, mostrando-se, além disso, consistente com as demais concepções na ecologia conceitual e podendo, assim, adquirir significado. Nesta situação, o indivíduo provavelmente afirmará que a concepção é verdadeira. Uma concepção inteligível será também *fértil*, se o indivíduo considerar que ela traz algo de valioso para ele, resolvendo problemas que de outro modo lhe pareceriam insolúveis, apresentando poder explanatório e sugerindo novas possibilidades, direções, ideias, etc. A inteligibilidade constitui a pedra basilar do *status* de uma concepção. É razoável pensar-se, de fato, que uma concepção ininteligível não pode ter qualquer *status*: como uma concepção que alguém sequer entende poderia mostrar-se plausível ou fértil aos seus olhos?

Nesse contexto, apesar de os autores não se comprometerem com a teoria piagetiana, as condições utilizadas são compatíveis com o conceito de assimilação e acomodação, isso, pois, quando o aluno se depara com uma nova concepção essa “[...] pode ser incorporada às já existentes sem exigir modificação muito profunda. Neste caso, ela já aparecerá inicialmente como plausível” (assimilação) (MORTIMER, 2000, p. 38), ou, caso a nova concepção seja contraditória, ocorrerá um processo de modificação das concepções a fim de que ocorra a acomodação, assim, mesmo que se mostre inteligível não será tida como plausível pelo indivíduo (MORTIMER, 2000). Deste modo,

Seria preciso que o sujeito encontrasse várias contradições ou problemas sem solução em suas concepções prévias como condição para que a acomodação de um novo conceito, correspondendo aos momentos em que o sujeito é motivado a fazer modificações e reorganizar em suas concepções (POSNER *et al.*, 1982 *apud* CARVALHO, 2010, p. 6)

Resumindo, a ideia de mudança conceitual estava voltada mais ao estudo dos conceitos utilizados pelo sujeito, visando a substituição de suas concepções cotidianas por concepções científicas. Mas, com o decorrer do tempo e após as inúmeras tentativas e estratégias de conflito utilizadas, os resultados das pesquisas mostraram que, na maioria das vezes, a “mudança conceitual” não ocorria, gerando uma superposição de ideias, onde as concepções alternativas passavam a coexistir com o conhecimento científico. De outro lado, porém, havia a “[...]”

difficuldade de suscitar numa parte significativa dos alunos a compreensão dos conceitos científicos[...]”, além do retorno de grande parte destes as concepções iniciais alguns meses após as abordagens (ver, p. ex., Gauld 1986; White & Gunstone 1989; Cobern 1996; *apud* EL-HANI; BIZZO, 2002, p. 47).

Deste modo, o desenvolvimento da aprendizagem não deveria ser pensado como mera substituição de uma concepção por outra, mas sim, como uma evolução conceitual (MOREIRA, 1994; MOREIRA 1996), isso, pois, “[...] evolução, desenvolvimento, enriquecimento conceitual e discriminação de significados são ideias mais promissoras porque não implicam mudança de conceitos ou significados. Por outro lado, implicam uma aprendizagem significativa” (MOREIRA; GRECA, 2003, p.13, tradução nossa)⁵⁰.

Dessa forma, começaram a surgir propostas que levassem os estudantes a conseguirem pensar e operar nesses dois universos do conhecimento (senso comum e científico), assim temos: a noção de perfil conceitual desenvolvida por Mortimer (1994; 1996) e a metacognição desenvolvida por Flavell (1976) e colaboradores, como uma alternativa para a construção de estratégias de ensino e da evolução conceitual. O perfil conceitual segundo Mortimer (1994, p. 42) pode ser compreendido como:

[...] como um sistema supra individual de formas de pensamento que pode ser atribuído a qualquer indivíduo em uma mesma cultura, apesar de cada indivíduo possuir um perfil diferente, as categorias pelas quais ele é traçado são as mesmas para cada conceito. A noção de perfil conceitual é, portanto, dependente do contexto, uma vez que é fortemente influenciado pelas experiências distintas de cada indivíduo; e dependente do conteúdo, já que para cada conceito particular tem-se um perfil diferente. Mas as categorias que caracterizam o perfil são, ao mesmo tempo, independente de contexto, uma vez que, dentro de uma mesma cultura, têm-se as mesmas categorias pelas quais são determinadas as diferentes zonas do perfil.

Nessa perspectiva, Mortimer (1994; 1995; 1996; 2000) salienta que a noção de perfil conceitual nos permite entender

[...] a evolução das ideias dos estudantes em sala de aula não como uma substituição de ideias alternativas por ideias científicas, mas como a evolução de um perfil de concepções, em que as novas ideias adquiridas no processo de ensino-aprendizagem passam a conviver com as ideias anteriores, sendo que cada uma delas pode ser empregada no contexto conveniente. Através dessa noção é possível situar as ideias dos estudantes num contexto mais amplo que

⁵⁰Versão original: “Es tiempo de darse cuenta que evolución, desarrollo, enriquecimiento conceptual y discriminación de significados son ideas más promisorias porque no implican cambio de conceptos o de significados. Por otro lado, ellas implican aprendizaje significativo” (GRECA; MOREIRA, 2003, p.13).

admite suas convivências com o saber escolar e com o saber científico (MORTIMER, 1994, p.1).

Dentro desta noção um conceito pode ainda alcançar múltiplos significados, todos dispersos em zonas distintas, cabe ao estudante tomar consciência de seu perfil conceitual. Nesse processo entendemos a evolução das ideias dos estudantes em sala de aula como a evolução de um perfil de concepções, cujos conceitos adquiridos no processo de ensino-aprendizagem (saber científico) possam conviver com as concepções anteriores (MORTIMER, 1994). Por conseguinte, esta teoria visa uma articulação entre as diferentes formas de se pensar um conceito em distintos domínios, dando aos estudantes a possibilidade de se utilizar diferentes conceitos de acordo com cada contexto, a partir de sua distinção, ou seja, o perfil conceitual só “é dependente do contexto, uma vez que é fortemente influenciado pelas experiências distintas de cada indivíduo; e dependente do conteúdo, já que para cada conceito em particular tem-se um perfil diferente”(MORTIMER, 1995, p. 70).

Deste modo, as concepções alternativas “podem agregar novos significados, resultando em resíduos das concepções que o estudante já possuía, acrescidas de concepções adicionais que foram assimiladas” (GRINGS, 2014, p. 65) apresentando-se mais elaboradas ou evoluídas, muito mais próximas aos conceitos científicos. No entanto, “[...] a superação de tais concepções exige que os alunos se conscientizem de suas próprias concepções alternativas e que as mesmas sejam analisadas e discutidas em sala de aula” (RAFAEL, 2007, p.10; CLEMENTE, 1982; SILVA, 1995).

Nesta concepção, surge a metacognição, compreendida por Mortimer (2000) como o processo pelo qual o sujeito toma consciência do seu próprio modo de pensar, isto é, do seu perfil conceitual. Sendo assim, para Gunstone (1991, p.135-136), somente “[...] uma aprendizagem metacognitiva apropriada é a que pode efetivamente assegurar um processo construtivista de reconhecimento, avaliação e, quando necessário, reconstrução das ideias existentes”, nos aprofundaremos melhor neste assunto no próximo capítulo.

Com relação às primeiras pesquisas sobre as concepções alternativas do conceito de calor, Grings (2014) aponta que:

Warren, 1972 (*apud* Cervantes, 1987, p. 66) demonstrou sua preocupação quando discutiu que é incorreto falar de quantidade de calor e trabalho que um corpo possui e analisou, também, a confusão existente entre o conceito de calor e energia cinética molecular. Em 1974, Shaw (*Ibid.*) estudou a

problemática de como ensinar calor. Strauss, em 1977 (*Ibid.*), investigou a propriedade intensiva de temperatura numa pesquisa realizada com crianças de quatro a treze anos – as maiores e menores respondiam corretamente a respeito do resultado da mistura de água fria, e as de idade intermediária respondiam incorretamente. Em 1978, Albert (*Ibid.*) discutiu, cronologicamente, através de seis categorias, onze modelos de pensamento encontrados na compreensão do conceito de calor por crianças de quatro a nove anos (GRINGS, 2014, p. 33).

Além desses trabalhos, destacamos as pesquisas de: Erickson (1979; 1980); Driver e Rusell (1982); Summers (1983); Engel e Driver (1985); Garcia Hourcade e Rodriguez de Avila (1985); Macedo e Soussan (1985); Thomas, Malaquias, Valente e Antunes (1985); Cervantes (1987); Silva (1986); Harres (1993); Peduzzi (2001; 2005); Köhnlein, Peduzzi (2002); Köhnlein (2001); Yeo e Zadnik (2001); Amaral e Mortimer (2001); Grings, Caballero e Moreira (2006; 2008); Rafael (2007); Silva e Núñez (2007); Carvalho Junior e Aguiar Junior (2008); Clement, Duarte e Fissmer (2010); Krause, Santos e Sandri (2012); Silveira (2013); Louzada, Elia e Sampaio (2015); Krause e Scheid (2018), entre tantos outros. Essas investigações permitiram o levantamento das principais concepções alternativas relacionadas ao conceito de calor e temperatura, que estão elencadas no Quadro 2.

Quadro 2 – Principais concepções alternativas sobre calor e temperatura

AUTOR	CONCEPÇÕES SOBRE CALOR E TEMPERATURA
VALADARES, (1995)	• O calor é uma propriedade dos materiais. • O calor é uma forma de energia contida nos corpos. • O calor é um fluido que transita de uns corpos para outros. • A temperatura de um corpo é o mesmo que o calor do corpo. • A variação de temperatura é uma consequência, portanto, uma manifestação do calor. • O frio é uma espécie de anti-calor que também se propaga
SILVA (1995)	• Calor é uma substância, uma espécie de fluido; • Temperatura é a medida do calor de um corpo; • Calor associado a temperaturas altas; • Temperatura é uma propriedade dos corpos; • Calor como propriedade dos corpos quente e frio como propriedade contrária; • Calor e temperatura são sinônimos; • Temperatura sinônimo de energia; • Propriedade animista para explicar o aquecimento e o resfriamento; • Calor como processo interno do corpo resultante do atrito entre as partículas. • Referem-se as partículas como propriedades macroscópicas do corpo.
VAZQUEZ DIAZ (1987)	• Não existe magnitude física referente ao calor, ou tal magnitude é a temperatura. • O calor está contido nos corpos (sistemas). • Os conceitos de calor e temperatura não podem ser diferenciados. • O frio é o oposto (também a ausência) do calor.

MACEDO de BURGUI e SOUSSAN (1985)	• Calor associado a uma fonte ou a um estado; • Calor e temperatura designam um estado quente.
ERICKSON (1979; 1980)	• Temperatura como a medida da mistura de calor e de frio em um sistema. • Uma barra metálica acumula calor em uma das extremidades e flui ao outro extremo da mesma.
DRIVER e RUSSEL (1982)	• Temperatura de fusão e ebulição independe da massa de gelo ou água.

Fonte: Elaborado pela autora.

De forma geral, percebemos que os estudantes, sejam da Educação Básica ou do Ensino Superior, têm uma dificuldade em diferenciar calor de temperatura e ainda, possuem uma concepção de calor compreendida como uma substância que tanto pode estar contida nos objetos quanto pode ser transferida de um corpo para outro.

3 ARCABOUÇO TEÓRICO

Neste capítulo apresentamos algumas considerações sobre o processo de formação de conceitos segundo a Teoria dos Campos Conceituais proposta por Gérard Vergnaud, bem como os elementos fundamentais que a embasam, na sequência descrevemos alguns elementos constituintes da metacognição que serão importantes para o desenvolvimento deste trabalho desenvolvida primeiramente por Flavell e reelaborada por outros autores.

A Teoria dos Campos Conceituais (TCC) configura-se como uma teoria cognitivista, que tem como principal missão compreender como se formam na estrutura cognitiva os esquemas e conceitos, por meio de uma estrutura sólida juntamente com princípios fundamentais ao estudo do desenvolvimento e da aprendizagem de competências complexas, em especial aquelas relacionadas a ciência e a técnica (VERGNAUD, 1993, 1990). Nesse sentido, tem como “principal finalidade fornecer um quadro que permita compreender as filiações e as rupturas entre conhecimentos, nas crianças e nos adolescentes [...]” (VERGNAUD, 1996a, p. 155). Para isso, busca, através das situações pertencentes aos processos de ensino-aprendizagem, os conceitos, estratégias e procedimentos utilizados pelos sujeitos para enfrentar e interpretar a realidade, expressos por meio de seus significados, representações e invariantes operatórios como palavras e símbolos, compreender a complexidade do fenômeno cognitivo no processo de conceitualização. Neste aspecto, a metacognição auxilia o estudante no desenvolvimento do processo de tomada de consciência de seus próprios conhecimentos, favorecendo uma melhor eficiência das propostas de ensino e eficácia da aprendizagem.

Deste modo, ao longo deste capítulo realizaremos uma revisão teórica sobre a TCC e a metacognição, cujos conceitos servirão de base para nossa investigação.

3.1 A TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS: ALGUMAS CONSIDERAÇÕES

Gérard Vergnaud nasceu, na França, em oito de fevereiro de 1933 e faleceu em seis de junho de 2021, filho de trabalhadores rurais, uma família simples do interior francês. Na escola, foi uma criança muito educada e com fortes aptidões à matemática, mas seu grande interesse era o teatro. Na juventude, foi peão de fazenda, comissário de bordo, e garçom de café, mas foi sua habilidade com os números que lhe rendera uma bolsa na escola de Gestão em Paris, na qual cursou Estudos Avançados em Comércio. Após o término do curso e entediado pela área, inicia seus estudos em Psicologia na Sorbonne e, concomitante, monta um grupo de teatro se

aprofundando neste campo. Rapidamente cresceu o seu interesse pela mímica, e, após publicar um artigo relacionando a teoria piagetiana da assimilação e da acomodação com a mímica, foi aceito por Piaget como aluno de doutorado (RISCHBIETER, 2011).

Embora não tenha formação acadêmica em Matemática, Vergnaud adentrou o terreno do ensino da matemática quando foi convidado para ser conselheiro pedagógico de uma escola bilíngue. Assim, após inúmeras investigações nesta área, tornou-se uma referência na Didática da Matemática.

Em 1960, foi fundador do Instituto de Pesquisa sobre o Ensino de Matemática (IREM) nas Universidades da França, momento da efervescência do movimento da Matemática Moderna, onde se criaram as condições institucionais que favoreceram a constituição da didática entendida como disciplina científica (BARROS, 2010).

Em 1977, elaborou a Teoria dos Campos Conceituais (TCC) fornecendo uma nova estrutura à aprendizagem Matemática, por meio da ampliação das operações lógicas gerais e das estruturas gerais do pensamento de Piaget para o estudo do funcionamento cognitivo do sujeito-em-situação (MOREIRA, 2002). Atuou também como diretor de pesquisa do Centro Nacional de Pesquisa Científica (CNRS) da França, onde desenvolveu importantes pesquisas tendo como interesse o desenvolvimento do pensamento racional das crianças. Desse modo, a TCC é uma teoria que possui suas primeiras raízes no campo da Matemática, no entanto, segundo Vergnaud, ela não é específica da Matemática, podendo ser estendida para outras áreas do conhecimento, como a Física, a Química e a Biologia (VERGNAUD, 1996a; 2009). Em Física, por exemplo, o próprio Vergnaud apresentou interesse pelo campo conceitual da Mecânica (BARAIS; VERGNAUD, 1990) e da Eletricidade (VERGNAUD, 1993; MACHADO; BRAGA, 2020).

A Teoria dos Campos Conceituais é considerada uma teoria psicológica do conceito, ao qual estabelece como âmbito do desenvolvimento cognitivo o processo de conceitualização, dando total atenção aos aspectos conceituais dos esquemas, cujo foco principal é compreender o desenvolvimento e a aprendizagem das competências complexas, isto é, como se desenvolve a aprendizagem de um conceito (MOREIRA, 2002; VERGNAUD, 1993; 1996a; 1998; 1994).

Nesse aspecto ela fornece uma ampla estrutura à aprendizagem, o que a aproxima da didática, apesar de não ser uma teoria didática. Tendo como objeto o processo de conceitualização do real, a TCC provê um repertório teórico que possibilita o estudo e a

compreensão das “[...] filiações e rupturas entre conhecimentos, do ponto de vista de seu conteúdo conceitual [...]” (VERGNAUD, 1993, p.1). Como <<conhecimento>> o autor considera tanto as habilidades (saber fazer), quanto as informações (VERGNAUD, 1990; 1993), sendo em sua grande maioria formados por competências (informações e habilidades) (VERGNAUD, 1996b; LIMA; SANTOS, 2015).

Conforme o próprio Vergnaud a teoria condidera as ideias de situações e esquemas de Piaget⁵¹ e a importância atribuída por Vygotsky à interação social, à linguagem e a simbolização para o progressivo domínio de um campo conceitual pelos alunos (MOREIRA, 2002).

Indo além da teoria piagetiana e vygotskiana, Vergnaud buscou uma melhor compreensão sobre o conteúdo do conhecimento, reconhecendo a importância entre a forma operacional e a predicativa, sendo que “[...] a forma operacional do conhecimento, permite agir em uma situação (e eventualmente ter sucesso), e a forma predicativa do conhecimento, enuncia os objetos do pensamento, suas propriedades, suas relações e suas transformações” (VERGNAUD, 2007, p. 286, tradução nossa)⁵², ou seja, estabelece conexões entre a ação do sujeito em situação e as expressões linguísticas e simbólicas no processo de formação do conhecimento.

Desse modo, diferente de Piaget, Vergnaud amplia e direciona o foco para o estudo do funcionamento cognitivo estabelecendo fundamental importância às situações, pois auxiliam desde o processo de conceitualização como também na construção de esquemas, reportando a uma interação esquema-situação. Para ele, “as situações são, ao mesmo tempo, a fonte e critério de conhecimento” (VERGNAUD, 1994, p.12), isso pois, é em situação que as competências são geradas, através dos processos de assimilação e acomodação, no qual os esquemas adaptam-se às situações, assim, “[...] um conhecimento que não é operatório, não é realmente, um conhecimento” (VERGNAUD, 2014, p. 12). No entanto, tanto nas ciências como no mundo físico e social existem muitas relações, propriedades e transformações são identificadas pelos

⁵¹ Entretanto, Piaget dá mais importância a forma operacional do conhecimento, uma vez que seu maior interesse era o desenvolvimento cognitivo do sujeito em ação e operação sem se preocupar com a didática e o processo de aprendizagem em si, enquanto Vygotsky dedicou-se a entender a forma predicativa do conhecimento, considerando o desenvolvimento como uma consequência da aprendizagem. Entretanto, embora interessado nesse tipo de conhecimento, não aprofundou a análise de conteúdos conceituais (MOREIRA, 2002; VERGNAUD, 2013a).

⁵² Versão original: “[...] la forma operatoria del conocimiento, que permite actuar en situación (y tener éxito eventualmente), y la forma predicativa del conocimiento, que enuncia los objetos de pensamiento, sus propiedades, sus relaciones y sus transformaciones” (VERGNAUD, 2007, p. 286).

alunos sem que estes saibam formulá-las e empregá-las em uma situação (VERGNAUD, 1999, 2014).

Por isso, Vergnaud dá grande atenção a ação da criança/sujeito, através da conceitualização progressiva da realidade e sua reflexão em diferentes domínios (VERGNAUD, 2013a), ou seja, os conhecimentos devem ser construídos em relação direta com as operações que é capaz de fazer sobre a realidade, em consonância “as relações que é capaz de discernir, de compor e de transformar, com os conceitos que ela progressivamente constrói” (VERGNAUD, 2014, p. 15). É nesta interação com o real “[...] que o sujeito forma e testa suas representações e concepções, ao mesmo tempo em que estas são responsáveis pelo modo pelo qual ele age e regula sua ação” (VERGNAUD, 2021c, p. 2).

Tendo consciência que os conhecimentos adquiridos nas ciências emergem das resoluções de problemas e do domínio progressivo das situações enfrentadas (VERGNAUD, 1982; 1985; 2014; GRECA; MOREIRA, 2003; JENSKE, 2011) devemos criar as condições para auxiliar o aluno a desenvolver suas competências, através da construção ou aprimoramento de seu repertório de esquemas e representações, apropriando-se deles para agir eficazmente frente a novas situações (VERGNAUD, 1998), evitando que esses esquemas resultem em estereótipos esclerosados (MOREIRA, 2001).

Sendo o professor o mediador nesse processo, o primeiro ato de ação é a escolha de situações e estratégias frutíferas a serem propostas aos alunos. No entanto, não se trata de situações de lápis e papel do tipo “resolva”, “determine”, o desenvolvimento cognitivo requer situações e conceitualizações específicas, que estimulem a interação do sujeito, que o leve a ampliar e diversificar seus esquemas de ação (MOREIRA, 2002), para isso, os conceitos precisam estar entrelaçados a um conjunto de relações no qual tenha de ser retomado, confrontado com outros conhecimentos, em outras situações e entre seus pares a fim de ativar suas estruturas cognitivas, levando-os a pensar nos fenômenos, nas variáveis, no conteúdo e a explorar um conjunto de estruturas mais formais de operações de pensamento.

Para isso é preciso considerar momentos de pensamento, reflexões, conflitos e desequilíbrios. No entanto, “[...] devemos ter cuidado com o limite desse princípio, pois se os

tornarmos instáveis com frequência, os alunos não aprenderão” (VERGNAUD, 2013a, p. 46, tradução nossa)⁵³.

Nesse sentido, é preciso primeiramente localizar e “identificar sobre quais conhecimentos prévios a criança pode se apoiar para aprender, mas é forçoso também distinguir quais as rupturas necessárias” (MOREIRA, 2002, p. 20), isso, pois, o não reconhecimento pelo professor e até a tomada de consciência do próprio aluno, pode impedi-lo de avançar em um campo conceitual. Portanto, é preciso propor aos estudantes, variedades de problemas e situações, ou seja, situações em que os alunos já possuam em seu repertório esquemas formalizados e situações para os quais os alunos não tenham onde se apoiar (MOREIRA, 2002), pois é nesse processo que o estudante é levado a testar seus conhecimentos, e acima de tudo verbalizá-los.

Além disso, é preciso ter conhecimento dos conceitos relevantes dentre a área que se deseja abordar (no qual Vergnaud chama de campo conceitual), evitando seu reducionismo a meras definições, como também a compreensão do nível de desenvolvimento da classe, para colocar em cena os conceitos científicos em situações adequadas (VERGNAUD, 2021a), bem como das operações de pensamento expressa pelas crianças a fim de poder ajudá-las a agirem eficazmente.

Dentre outros atos de mediação, “[...] consistem em expressar os novos conhecimentos adquiridos em linguagem natural e outros sistemas simbólicos de representação” (VERGNAUD, 2013a, p. 39, tradução nossa)⁵⁴, ou seja, buscar formas de linguagem e simbolismo adaptadas ao contexto e ao nível dos alunos, cientes de que a forma de explicitação muda o *status* do conhecimento, permitindo debatê-lo e ainda facilitando a generalização e a memorização (VERGNAUD, 2021a).

Nesse sentido, o principal benefício da TCC no ensino é o diagnóstico em relação ao processo de desenvolvimento dos alunos mediante um determinado campo conceitual, orientados pelos teoremas-em-ação apresentados (VERGNAUD, 2017). Contudo, mesmo com uma mudança na forma de ensinar, é preciso ter clareza que essa apropriação do conhecimento é um processo longo, e que, portanto, o processo educativo deve esperar aproximações entre

⁵³ Versão original: “[...] we have to be careful with the limit of this principle, for if we make them unstable too frequently, students will not learn” (VERGNAUD, 2013a, p. 46).

⁵⁴ Versão original: “Other mediation acts consist in expressing the new knowledge acquired in natural language and other symbolic systems of representation” (VERGNAUD, 2013a, p. 39).

significados e representações e não definições concretas como aquelas compartilhadas pela comunidade científica. Por isso,

o melhor que podemos fazer é tentar estudar, o mais precisamente possível, os processos por meio dos quais as crianças desenvolvem suas competências, seus conhecimentos, com a ajuda de outros, do adulto, e mediante uma variedade de situações, de verbalizações, do conflito com o outro e do confronto com obstáculos epistemológicos (VERGNAUD, 2021b, p. 3).

Apesar de não ser uma tarefa fácil para o professor suscitar todas essas transformações, uma vez que o ensino de ciências é pautado pelo simbolismo, formalização e explicitação de conceitos é importante considerar que o conhecimento do aluno é na maioria implícito, ou seja, a ação acontece mediante o auxílio de invariantes operatórios que em sua maioria conseguem explicar ou expressá-los em linguagem natural (MOREIRA, 2002), assim, um dos principais objetos da Teoria dos Campos Conceituais é justamente o progressivo desenvolvimento do conhecimento implícito em explícito por meio de mediações oportunizadas pelo professor, visando a interação do aluno com novas situações e seus obstáculos, seus esquemas e a interação com o outro.

Portanto, concordamos com Vergnaud (1996a) e Moreira (2002) de que o uso de “palavras e outros símbolos, sentenças e outras expressões simbólicas, são instrumentos cognitivos indispensáveis para a transformação de invariantes operatórios, implícitos, em conceitos e teoremas científicos, explícitos” (MOREIRA, 2002, p. 22), e por almejarmos uma progressiva evolução conceitual do calor, consideramos que a TCC pode nos auxiliar na identificação e análise da “[...] relação entre os conceitos enquanto conhecimentos explícitos e as invariantes operatórias implícitas nos comportamentos dos sujeitos em determinada situação, bem como aprofundar a análise das relações entre significados e significantes” (VERGNAUD, 1993, p. 1).

Assim, nas seções seguintes abordaremos de modo mais profundo os conceitos-chave da Teoria dos Campos Conceituais, como o conceito de campo conceitual, de esquema, situação, conceito e invariantes operatórios (teorema-em-ação ou conceito-em-ação).

3.2 CAMPOS CONCEITUAIS

O conhecimento científico é organizado segundo Vergnaud por meio de Campos Conceituais, no qual se remetem a um “[...] conjunto de situações, cujo domínio requer uma variedade de conceitos, procedimentos e representações simbólicas bem conectados uns com

os outros” (VERGNAUD, 1982, p. 36, grifo do autor, tradução nossa)⁵⁵. Em outras palavras, ele considera as “especificidades dos conhecimentos científicos como essenciais para compreender o processo de conceitualização desenvolvido pelos sujeitos” (MACHADO; BRAGA, 2020, p. 4).

Deste modo, em cada campo conceitual é necessário considerar um conjunto de conceitos inter-relacionados que se integram e se separam por meio de filiações e rupturas formando sistemas, e que se complementam em um conjunto vasto, porém organizado de situações (VERGNAUD, 2013a) manifestando mediante a atividade do sujeito nelas.

Por exemplo, para o campo conceitual das estruturas aditivas considera-se um conjunto de situações que envolvem uma adição, uma subtração, ou uma combinação entre elas, e um conjunto de conceitos e teoremas que permitam analisar tais situações, como:

[...] os conceitos de cardinal e de medida, de transformação temporal por aumento ou diminuição (perder ou gastar certa quantia), de relação de comparação quantificada (ter bombons, ou três anos mais que), de composição binária de medidas (quanto no total?), de composição de transformações e relações, de operação unitária, de inversão, de número natural e número relativo, de abscissa, de deslocamento orientado e quantificado (VERGNAUD, 1993, p. 9-10).

Isto é, um campo conceitual não é formado apenas por conceitos, mas pelo diálogo de uma classe de situações, pois apenas uma não seria suficiente para compreender e dar significado a estrutura que o abrange (VERGNAUD, 1982). Assim, o sujeito se apropria de diversos campos conceituais ao longo do tempo, por meio de suas experiências, maturidade e aprendizagem, de modo que, o problema do ensino é na maioria o de levar a criança a desenvolver competências dentro desses “*campos conceituais*”.

A estrutura proposta por Vergnaud para compreender as filiações e rupturas entre conhecimentos está alicerçada na seguinte premissa maior: “Um conceito não pode ser reduzido à sua definição, principalmente se nos interessamos por sua aprendizagem e seu ensino [...]” (VERGNAUD, 1993, p. 2). Desse modo, é por meio “[...] das situações e dos problemas a resolver que um conceito adquire sentido [...]” (VERGNAUD, 1993, p. 2).

O que nos leva a *uma primeira definição de campo conceitual como um conjunto variado de situações que dá sentido a um determinado conceito*. Essa abordagem inicial tem a

⁵⁵ Versão original: “[...] a set of situations, the mastering of which requires a variety of concepts, procedures and symbolic representations tightly connected with one another” (VERGNAUD, 1982, p. 36).

vantagem de “[...] permitir a produção de uma classificação baseada na análise das tarefas cognitivas e dos procedimentos que podem ser adotados em cada um deles” (VERGNAUD, 1993, p. 9). Assim, de início, as situações podem ser divididas em duas classes principais:

1) classes de situações em que o sujeito dispõe, no seu repertório, em dado momento de seu desenvolvimento e sob certas circunstâncias, das competências necessárias ao tratamento relativamente imediato da situação.

2) classes de situações em que o sujeito não dispõe de todas as competências necessárias, o que o obriga a um tempo de reflexão e exploração, a hesitações, a tentativas frustradas, levando-o eventualmente ao sucesso ou ao fracasso (VERGNAUD, 1993, p. 2).

Para Vergnaud (2001; 2008), a interação do sujeito com a situação não é direta, mas mediada por esquemas que o sujeito dispõe e utiliza para se adaptar às situações. O esquema pode ser entendido como a organização invariante do comportamento do sujeito para uma classe de situações dada. Além disso:

[...] Mesmo percebendo facilmente que um esquema é composto de regras de ação e de antecipações, visto que gera uma série de ações para se atingir um objetivo, nem sempre se reconhece que ele é também composto, de modo essencial, por invariantes operatórias (conceitos-em-ação e conhecimentos-em-ação) e por inferências [...] (VERGNAUD, 1993, p. 4).

Desses componentes, os invariantes operatórios (conceitos-em-ação e teoremas-em-ação) são os conhecimentos contidos nos esquemas que permitem analisar a situação e inferir as regras de ação adequadas para alcançar a meta desejada, contudo, eles “[...] raramente são explicitados pelos alunos, mesmo quando são construídos por eles na ação” (VERGNAUD, 1993, p. 7).

O teorema-em-ação é uma proposição sobre o real suscetível de veracidade ou de falsidade, enquanto o conceito-em-ação é um objeto, um predicado, ou uma categoria de pensamento que não é nem verdadeira, nem falsa, mas somente pertinente ou não pertinente para a análise da situação. É necessário frisar não haver proposição sem conceitos e vice-versa. Portanto, teorema-em-ação e conceito-em-ação, apesar de serem distintos, estão em uma constante relação dialética. Por outro lado:

[...] um conceito-em-ação não é, absolutamente, um conceito, nem um teorema-em-ação é um teorema. Em ciência, conceitos e teoremas são explícitos e podemos discutir a sua pertinência e veracidade. O mesmo não se dá necessariamente para os invariantes operatórios. Conceitos e teoremas explícitos são apenas a ponta visível do iceberg da conceitualização: sem a parte oculta, formada pelos invariantes operatórios, essa parte visível nada seria [...] (VERGNAUD, 1993, p. 8).

Diante do que já expomos, com Vergnaud (1993), podemos compreender o conceito como composto por uma trinca de conjuntos, $C = (S, I, Y)$, sendo: S conjunto das situações que dão sentido ao conceito (referência); I conjunto das invariantes em que se baseia a operacionalidade dos esquemas (significado); Y conjunto das formas de linguagem (ou não) que permitem representar simbolicamente o conceito, suas propriedades, as situações e os procedimentos de tratamento (significante).

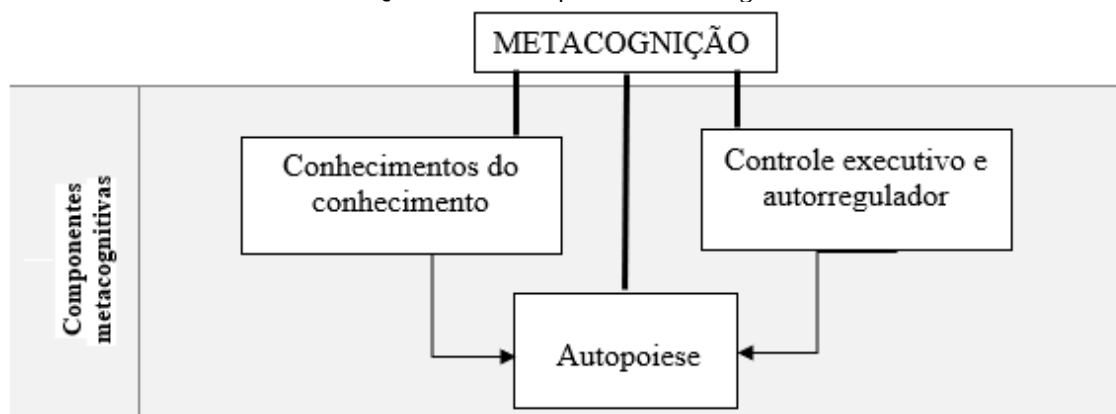
Portanto, torna-se um desafio didático para o professor considerar essa visão mais ampla de conceito em suas estratégias de ensino, para de auxiliar o aluno a tomar consciência de seus conceitos-em-ação e teoremas-em-ação, para, progressivamente, aproximá-los dos conceitos e teoremas aceitos pela ciência, na atualidade. Em nossa pesquisa, utilizamos a metacognição para alcançarmos essa meta.

3.3 METACOGNIÇÃO

O termo metacognição é oriundo do prefixo meta que em grego significa “o que vem após”, “o que acompanha” e cognição, que significa “processo ou faculdade de adquirir conhecimento”, “ação de conhecer” (referência). Na Psicologia Cognitiva, de acordo com Flavell (1976, p. 232), “[...] a metacognição se refere ao conhecimento que o sujeito tem de seus próprios processos cognitivos, de seus produtos e de qualquer assunto que se relaciona a ele [...]”. Flavell (1976) compreende a metacognição como tendo duas propriedades principais: uma remete ao processo de reflexão do sujeito sobre o próprio conhecimento e seus processos cognitivos; a outra está relacionada com o controle ativo/executivo, aliado a uma regulação e monitoramento, das ações cognitivas do sujeito sobre o conhecimento para se atingir os seus objetivos.

Em linhas gerais, compreendemos a metacognição como um conjunto de três componentes (conforme quadro 3), a serem seguidas: estratégias de conhecimento metacognitivos (conhecimento da cognição, conhecimento do conhecimento) (FLAVELL, 1976; 1978), ou seja, “[...] os conhecimentos metacognitivos são conhecimentos e convicções sobre fenômenos relacionados com a cognição” (LAFORTUNE; SAINT-PIERRE, 1996, p. 21); estratégias de controle executivo e autorregulador que exercemos sobre o nosso próprio pensamento (autorregulação) (FLAVELL, 1976; BROWN, 1977; 1978); e a estratégia de auto-organização chamada autopoiese (PORTILHO, 2006; 2009).

Quadro 3 – Componentes Metacognitivos



Fonte: Adaptado de Rosa (2011).

Brown (1977; 1978) afirma que a metacognição é importante, pois possibilita ao sujeito a tomada de consciência de seus pensamentos e ações e por consequência leva-o a ter melhores condições de elaborar estratégias que potencializem a sua aprendizagem. Nesse entendimento, a metacognição se insere no contexto educacional como estratégia de aprendizagem, representando uma poderosa ferramenta para sua aquisição, uma vez que permite aos estudantes o controle e execução de suas ações a partir da identificação de seus conhecimentos (ROSA, 2014)

Nesse viés, as estratégias de aprendizagem são compreendidas como “técnicas ou métodos que os alunos usam para adquirir a informação” (DEMBO, 1994 *apud* BORUCHOVITCH, 1999, p. 2), quase sempre são processos conscientes, utilizados para se atingir a aprendizagem, sendo assim, podem ser subdivididas em cognitivas e metacognitivas.

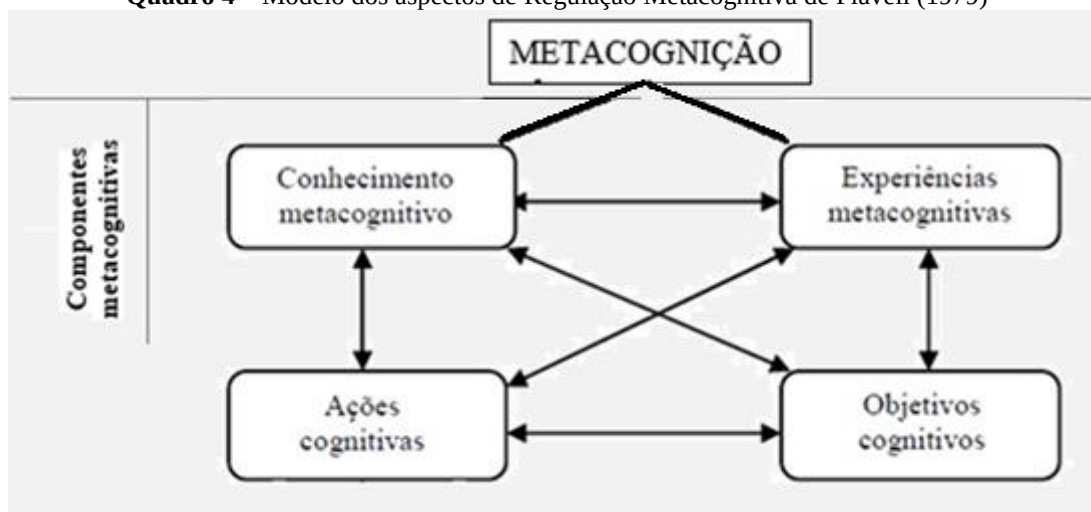
Segundo Portilho e Dreher (2012), as estratégias cognitivas são projetadas para proporcionar ao sujeito as condições necessárias para a realização de um objetivo cognitivo, como grifar um texto, fazer um resumo, são estratégias cognitivas que favorecem a aquisição da informação e posteriormente uma melhor aprendizagem, já as estratégias metacognitivas têm como principal objetivo dar oportunidades para o sujeito supervisionar, regular e avaliar a eficácia das primeiras. Neste sentido, às estratégias metacognitivas são importantes para o sujeito:

- saber avaliar a própria execução cognitiva;
- saber selecionar uma estratégia adequada para solucionar determinado problema;
- saber dirigir, focar a atenção a um problema;
- saber decidir quando parar a atividade em um problema difícil;
- saber determinar a compreensão do que se está lendo ou escutando;
- saber transferir os princípios ou estratégias aprendidas de uma situação para outra;

- saber determinar se as metas ou os objetivos propostos são consistentes com suas próprias capacidades;
- conhecer as demandas da tarefa;
- conhecer os meios para chegar às metas ou objetivos propostos;
- conhecer as próprias capacidades e como compensar suas deficiências (CARRASCO, 2004 *apud* PORTILHO; DREHER, 2012, p. 185).

Ribeiro (2003) destaca ainda que o desenvolvimento das habilidades metacognitivas propicia aos estudantes além da autoapreciação e autocontrole um papel muito mais ativo e construtivo no processo de aquisição do conhecimento, sendo propulsor do seu próprio desenvolvimento. Deste modo, para o emprego da metacognição no ensino é importante que o professor forneça bases para a ativação das habilidades metacognitivas já existentes nos estudantes, porém, presentes em diferentes níveis. Flavell (1979) considera que a regulação do pensamento metacognitivo só é ativada mediante a ação e interação de quatro aspectos, conforme apresentado no quadro abaixo:

Quadro 4 – Modelo dos aspectos de Regulação Metacognitiva de Flavell (1979)



Fonte: Adaptado de ROSA (2011, p.50).

O primeiro consiste no conhecimento existente na estrutura cognitiva (o conhecimento metacognitivo), ou seja, “[...] ao conhecimento de que determinados conceitos, práticas e habilidades já são dominados, enquanto outros ainda não o foram, reconhecendo o que se é (ou não) capaz de alcançar [...]” (DAVIS; NUNES; NUNES, 2005, p. 212), ou seja, uma compreensão dos próprios processos cognitivos, em que se relacionam: atenção, memória, raciocínio, e compreensão, atuando juntos na resolução de um problema.

O segundo está relacionado as experiências metacognitivas, isto é, as impressões, percepções e sentimentos que o sujeito tem antes, durante ou mesmo após a execução de uma tarefa, e que expressam a eficiência ou não das estratégias utilizadas, levando-o a tomar

conhecimento dos processos que foi “[...] capaz de exercer controle e autorregulação [sic] [...], permitindo ao sujeito tomar consciência do desenrolar da sua própria atividade” (DAVIS; NUNES; NUNES, 2005, p. 212), geralmente são experiências cognitivas, conscientes e afetivas. Segundo Rosa e Alves Filho (2013, p. 98), “o sentimento produzido por experiências anteriores é fundamental para que os estudantes ativem, em seus pensamentos, os conhecimentos necessários à atividade proposta que, conseqüentemente, tornam-se essenciais ao êxito de sua execução”.

Já os objetivos cognitivos podem ser compreendidos como as metas a se alcançar em cada envolvimento cognitivo, ao qual podem apresentar-se tanto implicitamente quanto de forma explícita, ativando e impulsionando as estruturas cognitivas. Nesse sentido, as ações cognitivas referem-se aos procedimentos e estratégias utilizadas para se alcançar o resultado. Segundo Rosa, podem apresentar-se de dois tipos: as que visam uma avaliação da situação, monitorando sentimentos, percepções, produzindo experiências e feedbacks sobre os procedimentos adotados, e a segunda busca apenas a concretização do objetivo cognitivo (ROSA, 2011).

Para que este nível de entendimento seja atingido é necessário que o sujeito tenha compreensão ou consciência de seus conhecimentos metacognitivos, ao qual se refere ao conhecimento do seu próprio conhecimento, de suas crenças, ideias, e de si em relação às tarefas, a interação com o outro e com o mundo (FLAVELL, 1979), deste modo, Flavell e Wellman (1977) atribui a ele três variáveis, compreendidas em Rosa (2011; 2014) por elementos metacognitivos, sendo: o conhecimento sobre pessoas, tarefas e estratégias.

Logo, para que estes elementos sejam atribuídos ao processo de conhecimento metacognitivo, os sujeitos precisam ser sensibilizados, ou seja, sentir a necessidade ou não de utilizar ou recorrer às estratégias de pensamento metacognitivas, um processo de tomada de decisão do indivíduo para resolver determinadas atividades (seja ela espontânea ou induzida). Assim, caso a “*sensibilidade*” demonstre a necessidade do pensamento metacognitivo, este ativar as variáveis da pessoa, da tarefa, e das estratégias (FLAVELL; WELLMAN, 1977; ROSA, 2011; 2014).

O conhecimento sobre a pessoa consiste no autoconhecimento, ou melhor, no conhecimento que o próprio sujeito tem de si, das variáveis, crenças e mitos que influenciam sua atividade cognitiva (intraindividual – o conhecimento de que copiando o conteúdo consegue

compreender mais facilmente, de que é melhor em Física do que História, etc.), bem como a atividade cognitiva do outro em relação a si (interindividual – “compreende-se que é melhor em física do que o colega, mas o outro é mais ágil em lógica do eu”) e o conhecimento universal sobre a atividade cognitiva das pessoas, como o pensamento e a própria mente funciona (LOCATELLI, 2014; ROSA, 2011; 2014; LAFORTUNE; SAINT-PIERRE, 1996).

O conhecimento relacionado a tarefa diz respeito a identificação pelo sujeito dos aspectos, condições, objetivos, alcance e extensão da tarefa em relação a sua atividade cognitiva, como as condições que faz dela ser mais fácil ou difícil que outra. Como, por exemplo, o conhecimento de que a leitura e compreensão de um texto científico é muito mais difícil do que compreender uma história infantil (LAFORTUNE; SAINT-PIERRE, 1996).

Já o conhecimento relativo às estratégias, está relacionado ao conhecimento sobre o pensamento, em relação a forma de como se obter a aprendizagem, como, o que precisa ser feito e quais caminhos seguir. Por isso, podem se apresentar tanto como conhecimentos gerais quanto específicos, que buscam por meio da consciência de sua utilidade saber onde, quando, como ou porque utilizá-las (KUHN, 1999). Por exemplo, fazer um desenho para ajudar na compreensão de um problema, organizar as variáveis em uma tabela, destacar as partes importantes de um texto, escrever a equação em toda resolução de problema para facilitar as operações, etc. Deste modo, os conhecimentos estratégicos, podem se divergir em: estratégias cognitivas, metacognitivas, afetivas, e de gestão de recursos (LAFORTUNE; SAINT-PIERRE, 1996).

A segunda estratégia compreendida como “controle executivo e autorregulador” consiste na capacidade do sujeito em controlar suas próprias ações, um processo progressivo e hierárquico, seguido de uma série de reflexões, bem como uma sequência de decisões, que permite ao sujeito organizar e planejar suas ações antes de executar uma tarefa, além de possibilitar uma supervisão durante a execução, ao qual auxilia na verificação da eficácia ou não da estratégia utilizada, permitindo ou não sua continuidade, bem como a capacidade de avaliar ao final o resultado das ações executadas.

Entretanto, as estratégias de controle executivo e autorregulador é muitas vezes instável e nem sempre é passível de verbalização, pois se constitui na maior parte das vezes de forma automatizada mais no plano inconsciente do que no consciente, no entanto, a automatização não leva a perda do controle, pelo contrário, exercemos um controle em um nível mais

complexo (BROWN, 1987 *apud* ROSA, 2011; 2014; LAFORTUNE E SAINT-PIERRE, 1996; PORTILHO, 2006). Desse modo, podemos sintetizá-los pelas operações de planificação, monitoração e avaliação.

As estratégias de planificação são muito importantes no processo de aprendizagem, uma vez que levam os estudantes a pensar de forma metacognitiva, primeiramente por meio de uma retomada dos conhecimentos e segundo por possibilitar uma estruturação para a execução da atividade antes mesmo de resolvê-la. É a partir dela que se planeja os caminhos pelo qual a atividade precisa se orientar para chegar ao objetivo evidenciado, seja por meio da previsão de etapas e ações, escolhas de estratégias, metas, entre outros, ou seja, “elas consistem em organizar a forma como as informações serão tratadas” (LAFORTUNE; SAINT-PIERRE, 1996, p. 24).

Nas atividades escolares os estudantes são levados a, a partir do reconhecimento do objetivo proposto, bem como de suas exigências e necessidades, planejar os caminhos para se chegar ao objetivo final, no percurso é levado a realizar escolhas, levantar hipóteses, materiais a serem utilizados, organizar o tempo, prevendo com antecedência os possíveis empecilhos. Schoenfeld (1987), Lafortune e Saint-Pierre (1996) como também Rosa (2017) após algumas pesquisas chegaram a conclusão que estudantes mais experientes ou dito “*especialistas*” costumam levar muito mais tempo para realizar esse planejamento quando estão a resolver um problema, do que os “*principiantes*” ou novatos (chamados por outros autores), uma vez que estes últimos, possuem mais tendência em lançar-se de imediato numa série de ações ou operações, sem planejamento da qual muitas vezes os distanciam da solução.

Já a monitoração refere-se as intervenções realizadas durante a execução de uma atividade. No processo de aprendizagem, ela visa controlar a ação ou verificar sua eficácia, por meio da revisão dos conhecimentos utilizados no momento em que a construção de novos conhecimentos ainda está sendo desenvolvida, a fim de se atingir a meta estabelecida (BROWN, 1987; ROSA, 2011). Durante esse processo, caso algum erro seja constatado, ocorra uma mudança na interpretação ou na estratégia utilizada, o sujeito pode modificar o planejamento, redirecionando suas ações ou até mesmo utilizando outra estratégia para cumprir com o objetivo (PORTILHO, 2003 *apud* CHICÓRA, 2018).

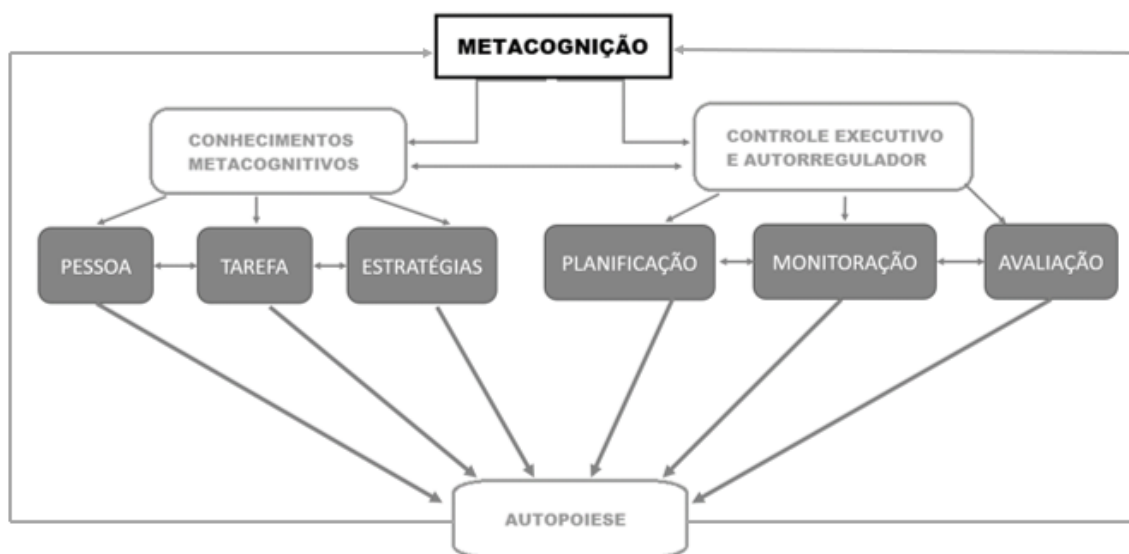
A estratégia de avaliação, portanto, está ligada a pertinência dos resultados alcançados em relação ao fim desejado e as intervenções executadas, isto é, é por meio dela que os

estudantes avaliam a eficácia das estratégias utilizadas, se as correções oriundas do monitoramento foram pertinentes, se é preciso fazer outras correções, ou alterar a estratégia. Esta avaliação pode estar relacionada também a organização, ao esforço despendido na ação, na quantidade de passos, no tempo utilizado entre outros (LAFORTUNE; SAINT-PIERRE, 1996).

O terceiro elemento metacognitivo tem como base o trabalho de Mayor, Suengas e Marques (1995) defendido também por Portilho (2003) chamado de Autopoiese. O termo é de origem grega “auto-poiein” que significa autofazer-se, ou ainda auto-organização de um sistema, em outras palavras um processo organizado de reconstrução de si mesmo. A autopoiese complementa a ideia da tomada de consciência, de regulação e controle, reforçando a consciência de suas experiências, por meio de uma articulação entre estratégias de conhecimento e controle, ao qual implica “a dialética, a recursividade e o processo de retroalimentação, ou feedback” (PORTILHO, 2004, p. 6).

Segundo Portilho é composta de três subcomponentes: análise e síntese, recursividade, e retro-alimentação ou feedback, do qual menciona que a primeira são categorias fundamentais da dialética, centradas na resolução da antinomia entre dualidade e unidade. A recursividade, porém, permite a junção da metacognição a cognição, e a retro-alimentação ou feedback, provoca a adaptação, autoaprendizagem e auto-organização, o que permite a “metacognição alimentar-se a partir dos efeitos que produz no próprio ambiente, em um movimento circular e aberto, uma síntese entre a autogeração e a interação com o mundo” (PORTILHO, 2006, p. 9).

Assim, podemos compreender a metacognição a partir da representação da figura 1, tendo como base três componentes e seis elementos:

Figura 1 – Componentes e Elementos da Metacognição

Fonte: Adaptado de Portilho (2003) e Rosa (2014; 2011).

Diante do já exposto sobre a metacognição, sua importância no processo de ensino-aprendizagem e suas características, Rosa (2014, p. 82, grifo nosso) nos apresenta algumas considerações em relação ao que se compreende por estratégias de aprendizagem metacognitivas, afirmando que:

Independentemente da definição, percebe-se que as estratégias de aprendizagem realçam, em maior ou menor grau, a presença da cognição e da metacognição, possibilitando sua classificação em, no mínimo, dois tipos: estratégias de aprendizagem cognitivas, voltadas a ajudar o estudante a organizar-se (elaborar tópicos, sublinhar, estabelecer redes de conceitos, etc.), e as estratégias de aprendizagem metacognitivas, envolvendo o planejamento, a monitoração e a regulação do próprio pensamento.

Sendo assim, caracterizar quando uma estratégia de aprendizagem é cognitiva ou metacognitiva é uma tarefa um tanto árdua, uma vez que as propriedades cognitivas e metacognitivas estão entrelaçadas entre si (ROSA, 2014; FLAVELL, 1979; FLAVELL, MILLER; MILLER, 1999).

Diante dessa reflexão, no processo de ensino-aprendizagem o delineamento e a sensibilidade em se trabalhar e possibilitar situações onde esses três componentes sejam requisitados faz com que o estudante recorra à sua estrutura cognitiva de modo a ativar e estimular a evocação do conhecimento, a identificação do que sabe de si mesmo em relação ao conteúdo, do conhecimento do outro e da própria ciência, além de avaliar a atividade em relação aos recursos disponíveis, a buscar cognitivamente situações semelhantes, a planejar suas ações

e controlar cada passo, monitorando, supervisionando e fazendo ajustes sempre que necessário a fim de se atingir um determinado objetivo.

A esses processos Rosa (2014) nos lembra segundo Flavell (1979) que o conhecimento metacognitivo resulta da integração dessas variáveis, que, por sua vez, não são independentes, mas sim interligadas, constituindo o conhecimento do conhecimento que o sujeito precisa ter para desenvolver suas atividades (atingir objetivos) de forma mais eficaz, ao invés de apenas identificá-los.

Quando refletimos sobre como desenvolver ações planejadas para auxiliar um aluno a aprender a dominar e usar esses componentes da metacognição, nos deparamos com duas possibilidades: (1) por meio de uma ação mais pontual, como uma espécie de curso, (2) por meio de ações ao longo das aulas, sendo uma infusão no currículo escolar. De acordo com Rosa (2014, p. 87-88, grifo nosso):

A primeira possibilidade refere-se aos programas de treinamento paralelos às disciplinas escolares, centrados em desenvolver estratégias de caráter geral, visando, principalmente, à autoinstrução, ao autocontrole e à autoavaliação. **São manuais orientativos que descrevem passos a serem seguidos para treinar os estudantes a pensarem sobre seus conhecimentos e a traçarem estratégias de ação diante das situações de aprendizagem.** Esses programas têm recebido várias críticas por parte dos pesquisadores e professores, mostrando o seu distanciamento diante dos conteúdos curriculares, cujo processo de transposição é legado ao estudante, que, na maioria das vezes, apresenta dificuldades para tal. Outra crítica é que muitas vezes deixam a desejar por serem genéricos e não considerarem variáveis individuais, como idade, nível de desenvolvimento mental, linguagem, etc.

Em nossa pesquisa, não utilizamos nenhum programa de treinamento paralelo às disciplinas escolares, por concordarmos com as críticas apresentadas e pelo fato da segunda abordagem também auxiliar na aprendizagem dos conhecimentos científicos que estão sendo ensinados, além de contribuir para o domínio dos três principais componentes da metacognição pelo aluno. Nesse caso, as estratégias de aprendizagem metacognitivas:

[...] **passam a ser de ensino**, pois serão incorporadas ao processo didático do professor, que **recorre a um ensino estratégico metacognitivo** com o objetivo de que seus estudantes ativem, em suas estruturas mentais, o pensamento metacognitivo, promovendo meios para o uso de estratégias dessa natureza (ROSA, 2014, p. 89, grifo nosso).

Em outras palavras, podemos afirmar que a inserção da metacognição nas aulas exige do professor o uso de estratégias de ensino metacognitivas. Maraglia, Assis e Peixoto (2020), após afirmarem haver na literatura uma definição do que seriam estratégias de ensino

metacognitivas, propõem que elas sejam consideradas: “Ações pedagógicas planejadas e empregadas pelo professor de forma a potencializar a autoconsciência de alunos em contextos de aprendizagem, propondo um discurso de segundo nível sobre a cognição, promovendo, assim, a aprendizagem autorregulada” (MARAGLIA; ASSIS; PEIXOTO, 2020, p. 26).

Para dar ênfase aos três componentes que se destacam na literatura quando se fala em metacognição, bem como na relação deles com a aprendizagem de determinado conceito ou conteúdo, consideramos as estratégias de ensino metacognitivas como sendo: *Ações pedagógicas planejadas e empregadas pelo professor para potencializar no aluno o domínio e o uso dos três principais componentes da metacognição (conhecimentos metacognitivos; controle executivo e autorregulador; autopoiese) com a finalidade de auxiliar na aprendizagem de determinado conceito ou conteúdo.*

No entanto, nem sempre a identificação desses processos se manifesta de forma consciente pelo sujeito, muito menos tem noção dos benefícios desse pensamento, por isso, como destaca Chi, *et al.*, (1989) e Castelló (1997) é necessário que o professor agregue as suas ações didáticas momentos que propicie essa evocação, ajudando-os a compreender “[...] como as próprias características pessoais, as características e os requisitos da tarefa e a utilização de estratégias influencia a aprendizagem” (DREHER, 2008, p. 66).

No ensino de Física, ao utilizar situações próximas ao contexto de vida dos estudantes e relacionadas a campos conceituais específicos, podem levá-los a recorrerem ao pensamento metacognitivo, ativando tanto estratégias de conhecimento como de controle e autorregulação, responsáveis pela tomada de consciência e execução de objetivos e tarefas eficientes.

Para Moreira (2014) bem como Maraglia, Assis e Peixoto (2020, p. 25), as estratégias de ensino elaboradas pelos professores devem sobretudo, “[...] encorajar o aluno a aprender, mantendo e aperfeiçoando sua competência como aprendiz”, seguindo esta ideia, o professor pode, por exemplo, estimular o aluno a trabalhar em grupo, seja através de situações abertas e investigativas, de problemas teóricos/conceituais ou numéricos, ou ainda através de momentos de debates com os alunos em pequenos grupos, ou com toda a sala, levando-os a pensar, fazer escolhas, conduzir de maneira reflexiva suas ações e operações cognitivas, de modo que se sintam responsáveis pelas suas ações, seu próprio processo de aprendizagem e capazes de realizar as tarefas propostas (RIBEIRO, 2003; MOREIRA, 2014; MARAGLIA; ASSIS; PEIXOTO, 2020).

Tais atitudes proporcionam mais autonomia para o aluno, foco e consciência, levando-os a tomarem decisões acertadas diante das experiências concretas na interação em grupo, mas acima de tudo, faz com que o aluno assuma uma postura crítica e reflexiva fora da sala de aula, “[...] uma atitude natural com relação às situações do seu cotidiano, vivenciando-as e, ao mesmo tempo, sendo capaz de modificá-las [...]” (XAVIER, PEIXOTO; VEIGA 2020, p. 51).

Além do planejamento, as ações do professor também precisam estar condizentes com seu comportamento, assumindo o papel de mediador e instigador de pensamentos cognitivos. Desta forma, evidencia-se a necessidade de um elo entre estratégias de ensino e de aprendizagem metacognitivas, pois, acreditamos que são poucos os estudantes que possuem consciência e controle de seu próprio conhecimento, ou melhor de suas estratégias metacognitivas, muito menos que elas ocorram de forma espontânea, conforme apresentam Rosa, Ribeiro e Rosa (2018)⁵⁶ em seu trabalho ao analisar como os estudantes de Física organizam o seu pensamento no momento em que resolvem problemas, reportando-se a novatos e especialistas, ou principiantes e *expert*.

Dessa forma compreendemos que o desenvolvimento da capacidade do aluno identificar, controlar e desenvolver seus processos cognitivos é um processo gradual, no qual requer o amadurecimento dos processos reflexivos, que só acontece através do envolvimento e de uma ativa conscientização por parte do sujeito, desta forma, acreditamos que o desenvolvimento das estratégias de ensino metacognitivas e sua utilização como instrumento pelo aluno pode ser orientada e percebida por meio da Teoria dos Campos Conceituais (TCC), por exemplo, Boni e Laburú (2018, p.188), citam que:

[...] a formulação de teoremas-em-ação falsos é um dos fatores que caracteriza que nesse nível o estudante ainda não tem consciência de seus processos executivos e cognitivos, portanto, ainda não é capaz de explicitar coerentemente suas ações e conhecimentos (BONI; LABURÚ, 2018, p. 188).

Desta forma, o emprego de verdadeiros teoremas-em-ação em variados tipos de situações e em diferentes fenômenos pode ser compreendido como um progresso consciente da utilização da metacognição pelo sujeito. Assim, guiados por essa concepção e pela compreensão dos pressupostos teóricos que embasaram este trabalho, consideramos útil para a elaboração das estratégias de ensino ponderar que:

⁵⁶ ROSA, C.T.W da; RIBEIRO, C. de A.G.; ROSA, A. B. da. Habilidades metacognitivas envolvidas na resolução de problemas em Física: Investigando estudantes com expertise. **Revista de Educação em Ciências e Matemática**, v.14.n.29, 2018.

- A metacognição no contexto educacional é uma ferramenta de auxílio a aprendizagem utilizada pelo professor, configurando-se como uma estratégia de ensino, ao qual deve estar agregada a conteúdos específicos das disciplinas, seja de forma implícita ou explícita, mas que faça parte da ação do professor;
- Ao aproximar a metacognição e TCC é preciso escolher conceitos específicos para o trabalho, a fim de, ao final, poder-se estabelecer possíveis evoluções ou até mesmo mudanças conceituais;
- A junção ou ponto central que visa-se estabelecer neste trabalho entre as teorias é, a utilização de situações/questões;
- É preciso de um conjunto de situações para que se possa inferir resultados tanto de ativação metacognitiva quanto de invariantes operatórios;
- É fundamental na elaboração didática um conjunto de ferramentas de ensino metacognitivas e ações, para as quais se possa levar os estudantes a momentos de reflexão, ação, controle, e consciência tanto dos pensamentos metacognitivos quanto da importância e ativação das estratégias utilizadas.
- Por meio das reflexões apresentadas na revisão de literatura torna-se necessário aprofundar e evidenciar as estratégias de leitura e interpretação de textos científicos, e com base na TCC oportunizar e incitar momentos de verbalização, pensamentos e controle autorregulador.

Com base nessas ideias elaboramos e aplicamos as estratégias de ensino metacognitivas para problematizar e modificar os invariantes operatórios sobre o conceito de calor, de alunos da segunda série Ensino Médio, conforme descreveremos no próximo tópico, juntamente com os demais procedimentos metodológicos adotados.

4 PERCURSO METODOLÓGICO

Ao longo deste capítulo, será apresentado o percurso metodológico utilizado para o desenvolvimento da pesquisa e análise dos dados. Para a condução do trabalho optamos pela investigação de cunho qualitativo, por oferecer maior flexibilidade para os processos de coleta e análise dos dados, bem como por nortear o problema e a metodologia escolhida. Na sequência, apresentamos o contexto da investigação, as características dos sujeitos que participaram do estudo desta pesquisa, os recursos utilizados para obtenção dos dados, bem como as etapas desenvolvidas e a descrição das estratégias de ensino, e por fim, descrevemos os procedimentos adotados para o processo de identificação dos invariantes operatórios contido nos esquemas de explicação dos alunos em ambos os processos de coleta de dados.

4.1 PROBLEMA DE PESQUISA E OBJETIVOS

A presente pesquisa partiu do interesse em buscar caminhos que possibilitassem uma melhora na aprendizagem dos alunos referente ao conceito de calor, estudado no Ensino Médio. Neste sentido surgiram as seguintes indagações: quais os invariantes operatórios utilizados pelos alunos ao enfrentar situações em que os fenômenos do calor se fazem presentes? Como as estratégias de ensino metacognitivas podem auxiliar no processo de aprendizagem desse conceito? Dessa forma, nosso problema de pesquisa central é: qual a contribuição que estratégias de ensino metacognitivas têm para trabalhar com os invariantes operatórios sobre o conceito de calor, de alunos da segunda série do Ensino Médio?

Para responder essas indagações, designamos como principal objetivo: investigar quais contribuições que estratégias de ensino metacognitivas têm para problematizar e modificar os invariantes operatórios sobre o conceito do calor, de alunos da segunda série do Ensino Médio.

4.2 A PESQUISA QUALITATIVA

A pesquisa qualitativa é uma forma de investigação social que tem como intuito o estudo e a compreensão das inúmeras formas de manifestações de um grupo social, cujos dados “[...] não são reduzidos a simples variáveis, mas sim representados em sua totalidade, dentro de seus contextos cotidianos [...]” (FLICK, 2009, p. 24), através do comportamento, das perspectivas e experiências dos participantes, locais, organizações, trajetórias, conversas entre

outros (BOGDAN; BIKLEN, 1994; HOLLOWAY, 1999), sendo os campos de estudo as próprias práticas e interações do sujeito com o real.

Desta forma, a base investigativa está na abordagem interpretativa da realidade social, ou seja, ela não aborda representatividades numéricas, muito menos aspectos que possam ser quantificáveis (HOLLOWAY, 1999; GOLDENBERG, 1997, 2004; MINAYO, 2001, 2004).

Bogdan e Biklen (1994) reportam cinco características ligadas ao processo de investigação qualitativa, sendo que: 1) em uma investigação qualitativa o ambiente natural constitui a fonte direta de coletas de dados, sendo o investigador o principal instrumento; 2) a investigação e os dados recolhidos alcançam um papel descritivo, compostos por palavras e imagens, e não números; 3) o maior interesse está no processo investigativo que nos resultados ou produtos; 4) a análise dos dados tende a ocorrer de forma indutiva, sem a intenção de apenas confirmar hipóteses previamente elaboradas, e; 5) o significado configura-se como o fator essencial para a pesquisa qualitativa.

Tendo essas reflexões, Flick (2013) esquematiza alguns passos que auxiliam na construção de uma pesquisa qualitativa. O ponto inicial consiste na identificação e seleção de um problema a investigar. Ele pode surgir dos contextos da vida cotidiana, da carência de dados frente uma nova teoria, sua pertinência e usabilidade, das percepções empíricas e lacunas presentes na própria literatura, bem como a partir de resultados de pesquisas anteriores, que por ventura tenham produzido novas questões ou deixado questões sem resposta.

Em sequência inicia-se um sistemático processo de leitura, visando o desencadeamento da questão problema, em que busca identificar a relevância social do tema. De posse desses conhecimentos desenvolve-se a questão de pesquisa, que deve ser redigida de forma clara e dirigida a um objetivo. Por meio dela, é possível estabelecer uma hipótese à questão escolhida, para que ela possa ser testada, sendo que quanto mais explícita for a questão mais fácil será descrevê-la (FLICK, 2013).

Na sequência, visa-se o desenvolvimento do projeto, ao qual deve abranger a escolha de métodos e delineamentos para a realização e desenvolvimento da pesquisa, o passo seguinte, consiste em um intenso processo de revisão de literatura acerca do tema escolhido, buscando encontrar o que foi publicado a respeito do tema e do campo de pesquisa. O próximo passo, refere-se à exposição do contexto da pesquisa, da definição dos participantes, o local da pesquisa, a forma de coleta e arquivamento dos dados (FLICK, 2013).

A partir destas informações inicia-se o processo de análise e interpretação dos dados, culminando na apresentação dos resultados e das discussões sobre eles tomando como base os aspectos evidenciados pela teoria presente na literatura utilizada. Concomitante, o processo de avaliação dos resultados permite checar a confiabilidade e a validade dos métodos utilizados, o que expressará a possibilidade de ser generalizada a outros campos, outras amostras e outras populações. E por fim, o último passo permite formular implicações ou recomendações, sugestões de novas abordagens, novas questões e hipóteses, a fim de que, a pesquisa nesse campo possa progredir ou conduzir novos estudos (FLICK, 2013).

Ao longo de todo o processo é importante que o pesquisador tenha momentos de recuos e reflexão sobre o que tem feito, buscando avaliar o planejamento, examinando sua consistência e adequação (FLICK, 2013). O percurso metodológico abordado nesse trabalho configura-se como uma abordagem de natureza qualitativa, principalmente em virtude da “[...] captação do significado subjetivo das questões a partir das perspectivas dos participantes” (FLICK, 2013, p. 23), cuja compreensão se insere no conceito de calor, em que, em sua grande maioria busca uma relação entre dois sujeitos – o pesquisador e o participante. Deste modo, consideramos estar em consonância com os pressupostos mencionados por Bogdan e Biklen (1994) e Flick (2013).

4.3 SUJEITOS E CONTEXTO DE IMPLEMENTAÇÃO DA PESQUISA

A aplicação deste estudo foi realizada em uma escola da rede pública da cidade de Jardim, localizada no sudoeste de Mato Grosso do Sul-MS, região Centro-Oeste do Brasil. A escolha desse ambiente escolar se deu por corresponder ao local de trabalho da pesquisadora, em que integra o corpo docente da referida instituição nas turmas da 2ª série do Ensino Médio, no período matutino, facilitando o processo de implementação das estratégias de ensino.

O desenvolvimento deste trabalho culminou na elaboração de uma sequência de estratégias de ensino metacognitivas, tendo como foco a abordagem e a construção das três fases em que o conceito de calor se desenvolveu ao longo da história da ciência, elencadas por Garcia Hourcarde e Rodrigues Avila (1985) como: calor como um fluido, calor como uma forma de energia e calor como o nome convencional de um processo. A sequência didática foi desenvolvida junto aos alunos no período de 06/10/2021 a 24/11/2021, contando com 15 horas-aulas, divididas em 2 horas-aulas semanais.

A pesquisa ocorreu no segundo semestre de 2021, mais especificamente no quarto bimestre (outubro a novembro), com a retomada presencial das atividades escolares⁵⁷. Participaram desta etapa da pesquisa trinta e oito alunos da segunda série do Ensino Médio⁵⁸. A maioria dos participantes era do sexo feminino (21 estudantes) e 17 do sexo masculino. O grupo era constituído de adolescentes entre a faixa etária de 15 a 17 anos. A escolha das turmas de segunda série deve-se ao fato de o conceito do calor ser abordado como parte integrante do currículo desta etapa do ensino.

Os alunos foram informados antes de iniciarmos as abordagens, que as atividades a serem desenvolvidas durante o quarto bimestre, relacionada ao conceito de calor, seria parte integrante de uma pesquisa de doutoramento e que a participação e envolvimento de cada um nas aulas e atividades propostas seria fundamental não apenas como dados para a pesquisa, mas também para a construção do seu próprio conhecimento. Para isso seria preciso comprometimento com as atividades a serem realizadas em casa e também na escola.

Devido à pandemia iniciada no ano de 2020, ao qual modificou o regime de ensino, a secretaria de estado do MS utilizou como regimento para avaliação de aprendizagem dos alunos as atividades pedagógicas complementares chamadas APCs (atividades pedagógicas complementares), neste sentido, não foram utilizadas as “provas ou avaliações” comumente utilizadas pelas redes de ensino, ou seja, as APCs não tinham o mesmo rigor que as avaliações presenciais. No período de volta ao presencial (agosto a novembro) os professores puderam optar por aplicar ou não aplicar avaliações. Deste modo, optamos por não aplicar avaliações neste período por dois motivos, primeiro pois, alguns alunos não estavam frequentando regularmente as aulas, segundo, com o desenvolvimento das aulas anteriores sobre temperatura e dilatação percebemos o quanto os alunos estavam assustados com a volta presencial, e ainda desacostumados com o regime de avaliações, inclusive, uma das alunas compartilhou sua

⁵⁷ A retomada presencial das atividades escolares, ocorreram após um ano e meio de atividades remotas devido à contenção do vírus da COVID-19. No início do semestre a retomada se deu de forma escalonada, com grupos a cada 15 dias, porém, com poucos alunos, pois, os pais poderiam optar por não enviarem seus filhos à escola, por meio da assinatura de termos, ao qual consentiria em desenvolver atividades em casa sem a supervisão do professor, por meio de cadernos de atividades.

⁵⁸ Optamos por trabalhar com duas turmas neste segundo momento, pois apesar da volta das atividades presenciais, o atual cenário pandêmico ainda recorria à cautela cujas medidas de biossegurança e as bandeiras da cidade conforme o boletim epidemiológico asseguravam medidas protetivas e de distanciamento em que estabeleciam um rodízio de alunos. Além disso, os alunos poderiam optar pela realização de atividades presenciais ou por cadernos de atividades desenvolvidos em casa. Neste processo, alguns alunos não retornaram à escola, e os que a ela retornavam apresentavam faltas recorrentes.

experiência dizendo que percebeu que a prova não avaliava o quanto ela sabia ou não, pois estudando em casa e, sem avaliações também pode aprender, sendo avaliada de outras formas.

Estes aspectos nos fizeram refletir sobre os métodos de avaliação e mais ainda sobre os sentimentos que o termo “prova” trazem aos alunos, principalmente em meio a todas as adversidades e sentimentos enfrentados durante o período pandêmico. Por isso, optamos por manter um ambiente de sala agradável para a permanência e para a liberdade de expressão e ação, sem a tensão, obrigação e o medo de errar ocasionada pela avaliação, proporcionando também maior liberdade para se expressar e participar das atividades.

A pesquisa se desenvolveu mediante apreciação e aprovação do Comitê Permanente de Ética em Pesquisas com Seres Humanos (COPEP) da Universidade Estadual de Maringá⁵⁹(UEM). Por esta razão, foi preservada a identidade da instituição de ensino, bem como a dos sujeitos participantes, a fim de atender as exigências estabelecidas pelo Conselho de Ética, cuja função é conservar a integridade dos indivíduos, zelando pelo bem-estar, direitos e interesses de quem participa de pesquisas acadêmicas.

Neste sentido, ao informarmos os estudantes sobre a pesquisa e os critérios de coleta de dados, entregamos um termo de consentimento livre e esclarecido (Apêndice B) aos estudantes e um termo de consentimento livre e esclarecido (Apêndice A) aos pais, por serem menores, ao qual foram preenchidos e posteriormente devolvidos.

4.4 CONSTITUIÇÃO DOS DADOS

Para auxiliar o processo de constituição dos dados, tendo como objetivo responder à questão levantada por este trabalho, desenvolvemos uma observação participante, cuja pesquisadora a aplicar a sequência didática era também a professora de Física da turma. De acordo com Minayo (1994), Triviños (1987) e Ludke e Andre (1986), a observação, como técnica de coleta de dados, traz a vantagem e a possibilidade de um contato pessoal com o objeto da investigação, permitindo acompanhar as experiências dos sujeitos, bem como apreender o significado que atribuem a realidade (LÜDKE; ANDRÉ, 1986). Como instrumento

⁵⁹ Pesquisa aprovada pelo Conselho de Ética em Pesquisa (CEP) da Universidade Estadual de Maringá (UEM), pelo parecer número 3.762.085; e com Certificado de Apresentação para Apreciação Ética (CAAE) número 20549419.7.0000.0104.

de coleta de dados utilizamos a aplicação de questionários e gravação de áudios, a fim de possibilitar uma melhor triangulação dos dados⁶⁰.

4.4.1 Observação Participante

De acordo com Flick (2013) e Minayo (2007) a observação participante é uma forma de coleta de dados essencial para a investigação qualitativa, pois, estando o pesquisador em contato direto com os participantes da pesquisa, pode captar uma variedade de situações ou fenômenos não obtidos por meio de perguntas. Além disso, a redução da distância entre o pesquisador e a situação observada, auxilia-o na análise das “[...] relações sociais diretamente, sem a intermediação de outras pessoas, possibilitando, assim, uma análise mais apurada e próxima da realidade” (CERON, *et al.*, 2020, p. 92), destacando-o como principal instrumento da pesquisa.

No entanto, como ambas (observação e participação) acontecem simultaneamente durante a prática pedagógica unindo pesquisador e professor, é preciso uma atenção especial durante as situações desenvolvidas, para não haver manifestações tendenciosas de ambas as partes durante a investigação do fenômeno em estudo, em outras palavras “[...] é preciso se envolver nas atividades próprias à situação e, ao mesmo tempo observá-las [...]” (SPRADLEY, 1980 *apud* POUPART, *et al.*, 2008, p. 271).

Nesse aspecto, o grande desafio dessa abordagem “[...] é alcançar algum grau de metodicidade – mas evitar intrometer-se no que está acontecendo e ser capaz de tolerar níveis de incerteza ocasionalmente altos” (YIN, 2016, p. 49). Isso é sem dúvidas um dos nossos maiores desafios perante o conceito em estudo, sendo de difícil compreensão, principalmente por estar pautado na análise e construção conceitual de três abordagens distintas, além de, frente a turma, ser capaz de administrar os distintos papéis, professora e pesquisadora frente os diversos contextos.

⁶⁰ De acordo com Flick (2001, p. 324) a triangulação consiste na: “busca da compreensão de um fenômeno por duas ou mais perspectivas, ou abordagens metodológicas”. Segundo Yin (2016) e Stake (2005; 2011) o ideal é utilizar ao menos três fontes de coleta de dados para validar ou ampliar as interpretações feitas pelo pesquisador. Em nosso trabalho utilizamos a observação direta e participante, realizada pela pesquisadora, relatos verbais dos educandos (por meio de gravações de áudio durante a realização das atividades em grupo e nos diálogos realizados por intermédio da professora) e documentos escritos (questionários e atividades escritas realizadas pelos estudantes), os quais conformaram a triangulação necessária para um estudo qualitativo confiável.

4.4.2 Questionário

A principal característica dos questionários, segundo Flick, é sua extensiva padronização, uma vez que “[...] têm por objetivo receber respostas comparáveis de todos os participantes [...]” (FLICK, 2013, p.110). Além disso, trata-se de uma técnica de investigação ao qual abrange um número determinado de questões de diferentes modelos, apresentadas de forma escrita a um grupo de participantes, a fim de, “[...] obter informações sobre conhecimentos, crenças, sentimentos, valores, interesses, expectativas, aspirações, temores, comportamento presente ou passado, etc.”. (GIL, 1995, p. 121) em relação a algum assunto. A abrangência dos modelos de questões (abertas ou fechadas) dão maior liberdade ou uniformidade as respostas, o que facilita a exposição de ideias e dá flexibilidade para respondê-las em momentos convenientes, amplia as formas de respostas, além da não influência das opiniões do pesquisador/entrevistador.

Assim, a escolha pelo uso de questionários deu-se primeiramente devido à quantidade de participantes da pesquisa e em segundo por poder ser respondido sem a presença física do professor, uma vez que o contexto de aplicação prática da pesquisa foi durante o período de pandemia (COVID-19), além disso, sua abrangência facilitaria nossa análise descritiva e interpretativa das situações em estudo. Para isso, formulamos questões abertas e contextualizadas, tomando por base situações que ocorrem no cotidiano em que o conceito do calor se faz implícito.

Contudo, apesar de todo rigor e cuidado, os questionários podem apresentar resultados não esperados, ou não relevantes em relação às intenções do pesquisador, uma vez que cabe ao participante a interpretação da questão e esta, por sua vez, pode apresentar significados diferentes para cada respondente (GIL, 1995). Deste modo, torna-se fundamental uma série de cuidados, entre eles a validação do constructo, ao qual requer a: “constatação de sua eficácia para verificação dos objetivos; determinação da forma e do conteúdo das questões; quantidade e ordenação das questões; construção das alternativas; apresentação do questionário e pré-teste do questionário” (GIL, 1995, p. 121), ou seja, a validação do instrumento visa garantir uma fiel mensuração do conteúdo que se busca avaliar com o instrumento, bem como sua efetiva qualidade (BELLUCCI JÚNIOR; MATSUDA, 2012).

Neste sentido, antes da aplicação, nosso questionário passou por um processo de validação por pares. Ela consiste em um processo de validação interna muito utilizado em

periódicos, ao qual uma equipe de especialista ou com conhecimento na área realiza uma profunda leitura e análise do conteúdo do artigo, sua integridade e qualidade. Em nosso trabalho, a validação do questionário por pares foi fundamental por assegurar a clareza e precisão dos termos e palavras utilizadas, evitando duplas interpretações ou até mesmo dificuldade de compreensão pelos alunos, bem como adequação das questões frente ao objetivo pretendido. As questões foram analisadas por três professores de Física e um de química que não possuíam conhecimento do estudo, além de sucessivas reuniões e diálogos entre pesquisadora e o orientador desse trabalho.

Em um primeiro momento o questionário foi desenvolvido com seis questões abertas, ao qual abrangia o estudo do calor em vários aspectos: condutibilidade térmica, calor sensível e as mudanças de estado físico. Este questionário inicial passou por um processo de teste, onde quarenta alunos de duas turmas da segunda série do ensino médio responderam por meio do *Google Forms* durante o primeiro semestre de 2021. Após sucessivas leituras sobre o histórico do conceito do calor, análise de trabalhos presente na literatura sobre o assunto e as respostas obtidas pelo formulário delimitamos nosso foco de investigação às três formas de se compreender o conceito do calor desenvolvidas ao longo da história da ciência, dessa forma, apenas uma das questões permaneceu no questionário sendo incluída outras três, que melhor se adequavam ao nosso interesse de estudo.

Após a reformulação das questões iniciou-se um processo de análise e interpretação do conteúdo das questões, que foram lidas por professores e o orientador do trabalho. Neste processo, algumas adaptações e correções semânticas foram realizadas para que as questões pudessem ser melhor compreendidas pelos alunos. Também foi destacado a importância de imagens junto às questões, para que os alunos pudessem ter uma melhor visualização do fenômeno e do contexto da questão.

Com o questionário validado realizamos então a aplicação no segundo semestre de 2021, ao qual se deu por meio de folhas impressas entregues aos alunos. Como orientações deveriam analisar cada questão e os fenômenos envolvidos e então responder com suas próprias palavras. Contudo, como nosso objetivo é identificar o significado por trás das respostas “prontas”, pedimos para que todas as questões fossem justificadas, de forma que não seriam validadas as respostas que apresentassem apenas “sim” ou “não”.

Foi aplicado um questionário, contendo quatro questões abertas em três momentos distintos ao longo das aulas, sendo: 1) inicialmente na primeira e segunda aula (questionário inicial); 2) junto à aplicação das estratégias de ensino metacognitivas e através das atividades em grupo (aula 05, 07, 08, 09 e 10); e 3) após a aplicação das estratégias de ensino metacognitivas (questionário final – aula 15). Nosso objetivo era, por meio deles, analisar a compreensão dos estudantes sobre o conceito do calor, dispostos em variadas situações e fenômenos, como devido ao contato, a distância, de forma isolada e na condução térmica, além de auxiliar, posteriormente, na identificação dos invariantes operatórios presentes nas respostas.

Para a construção desse questionário adaptamos algumas questões e situações encontradas na literatura, no livro didático e presentes em alguns vestibulares, a respeito da física térmica. Utilizamos como referência o trabalho de Grings (2014) e imagens do livro de Martini *et al.*, (2016). O questionário aplicado encontra-se no Apêndice C e D.

4.4.3 Gravação

O segundo instrumento de coleta de dados foi por meio da gravação de áudio das aulas e das atividades em grupo. Para isso, foram utilizados aplicativos de gravador de voz para celulares, sendo dispostos três aparelhos pela pesquisadora. Devido à quantidade de grupos, foi necessário que cada um utilizasse o seu próprio aparelho⁶¹, a fim de que cada grupo com um gravador pudesse coletar o diálogo entre os alunos e as construções conceituais em cada atividade. Para garantir que a discussão geral da turma e o diálogo entre professor e aluno fosse também coletado, a professora (pesquisadora) utilizava um gravador consigo durante a explicação e mediação das atividades nos grupos.

As gravações coletadas durante o trabalho em grupo e pelo diálogo com a turma foram posteriormente transcritas pela pesquisadora, a fim de que fosse possível a triangulação entre as conclusões escritas pelos alunos e o processo que as geraram, garantindo uma melhor análise das mesmas, o que constitui a pró-análise, uma vez que ela irá definir quais serão as normas

⁶¹ No início de cada uma das atividades, foi solicitado aos alunos que um estudante do grupo ficasse responsável por gravar a discussão em seu próprio celular e, no final de cada aula, enviasse a professora por *WhatsApp* ou *bluetooth*. Orientamos os participantes para que deixassem o aparelho gravador no centro do grupo, possibilitando assim a melhor captação do som, também que evitassem o manuseio e movimentação da mesa onde se encontrava o aparelho gravador, e que falassem o mais próximo possível e de forma clara, evitando conversas paralelas. Contudo, apesar de termos utilizado dois ambientes diferentes da escola para melhor captação do som dos diálogos (espaço de convivência e sala de vídeo, por ser o maior espaço e com menos objetos), devido ao barulho gerado durante as discussões, ainda é possível ouvir ruídos entre as falas dos alunos.

que irão reger a transcrição, na qual deverá conter os elementos essenciais para transformar as informações em dados (MANZINI, 2007).

Sendo assim, cientes de que “[...] a transcrição é um processo interpretativo [...]” (GIBBS, 2009, p. 28), cabe ao pesquisador “[...] saber quais são os seus objetivos e assinalar o que lhe convém para análise” (MARCUSCHI, 1986 *apud* MANZINI, 2007, p. 3), para isso, a maneira mais detalhada é a transcrição literal, que entre algumas adaptações compreende a inclusão de sinais indicando entonações, hesitações nas falas, pausas de pensamento, entre outras. No Quadro 5, apresentamos os principais sinais adotados nas transcrições.

Quadro 5 – Sinais adotados para as falas transcritas

TIPOS DE OCORRÊNCIA	SINAIS DA FALA
Comentários do transcritor	((minúscula))
Incompreensão de palavras ou segmentos	()
Interrogação	?
Truncamento (interrupção do discurso)	/
Entonação enfática	MAIÚSCULA
Pausa	...
Citações literais ou leituras de textos, durante a gravação	“entre aspas”
Simultaneidade de vozes	[ligando as vozes]
Indicação de que a fala foi tomada ou interrompida em determinado ponto.	(...)
Prolongamento de vocal	:::

Fonte: PRETI (1999, p.11).

Deste modo, a fim de, garantir o anonimato dos participantes da pesquisa, cada aluno foi codificado pela letra A seguida por um número natural, por exemplo: aluno A1, A2 ...até A38. As falas da professora pesquisadora foram representadas pela letra P. Portanto, os dados constituintes dessa pesquisa foram compostos pelos questionários e atividades escritas realizadas ao longo das estratégias de ensino metacognitivas aplicadas, juntamente com as transcrições dos áudios gravados durante a realização das atividades nos grupos.

4.5 CONTEXTUALIZANDO AS SITUAÇÕES E A INVESTIGAÇÃO

Desenvolvemos uma sequência de estratégias de ensino metacognitivas para levar os alunos da segunda série do Ensino Médio a uma tomada de consciência sobre o conceito do calor, por meio de uma discussão e posteriormente construção conceitual das três interpretações do conceito do calor, apresentadas por Garcia Houcarde e Rodrigues de Avila (1985). As atividades foram aplicadas nos meses de outubro e novembro de 2021.

Nosso objetivo principal foi promover a compreensão do conceito de calor como “[...] o nome convencional de um processo” (GARCIA HOUCARDE; RODRIGUES DE AVILA, 1985). Para isso, elaboramos uma sequência de atividades, tendo em vista a ideia de que “[...] os conhecimentos dos alunos são elaborados por situações que eles enfrentaram e dominaram progressivamente, sobretudo para as primeiras situações suscetíveis de dar sentido aos conceitos e procedimentos que se pretende ensinar” (VERGNAUD, 1993, p. 12).

Tendo essa compreensão, iniciamos a proposta didática por meio de uma situação do contexto cotidiano em que aborda o processo de diminuição da temperatura de uma substância por meio do contato, a fim de fornecer subsídios para a compreensão do conceito de calor, com base nas três vertentes: calórico, energia e processo. Assim, os conceitos trabalhados foram:

- Calor como um fluido contido nos corpos e intercambiável.
- Calor como uma forma de energia;
- Calor como o nome convencional de um processo;
- Condutibilidade térmica dos materiais;

Os conceitos que estabelecem ligação com o conceito de calor, como, temperatura, equilíbrio térmico e energia interna já havia sido trabalhado com os estudantes da segunda série do Ensino Médio ao longo do terceiro bimestre, ministrado pela professora. No Quadro 6, apresentamos um resumo das atividades realizadas, cujas sequências de atividades aplicadas encontram-se estruturadas no Apêndice E.

Quadro 6 – Descrição resumida das atividades e dos objetivos vinculados a cada aula

AULA 01⁶² - (06/10/2021)
Atividades
- Apresentação da pesquisa; - Aplicação de um questionário inicial, com quatro questões objetivas sobre alguns fenômenos térmicos do cotidiano. OBS.: Nesta aula, devido ao horário, só foi possível responder a primeira questão.
Objetivos
- Apresentar aos alunos como será desenvolvida as aulas no processo de coleta de dados durante a aplicação da pesquisa, destacando: método de gravação dos áudios, realização das atividades em grupo e avaliação final; - Aplicar a questão 1 do questionário inicial a fim de, identificar os principais invariantes operatórios utilizados pelos alunos, quando lidam com situações do cotidiano em que o conceito de calor se faz presente.
AULA 02 - (08/10/2021)
Atividades
- Aplicação de um questionário inicial, com quatro questões objetivas sobre alguns fenômenos térmicos do cotidiano. OBS.: Nesta aula, foram respondidas as três últimas questões.
Objetivos
- Aplicar as questões 2, 3 e 4 do questionário inicial visando identificar os principais invariantes operatórios utilizados pelos alunos quando lidam com situações do cotidiano em que o conceito de calor se faz presente.
AULA 03 - (20/10/2021)
Atividades

⁶² Na instituição em que a pesquisa foi aplicada, cada hora-aula tem duração de 50 minutos

- Leitura e discussão do texto: “ <i>Desenvolvimento histórico do conceito do calor</i> ”.
Objetivos
- Realizar uma leitura reflexiva e interpretativa do texto “ <i>Desenvolvimento histórico do conceito do calor</i> ”; - Instigar os alunos a expor suas compreensões sobre o texto lido por meio de perguntas escritas, orais e discussão dialogada de modo a esclarecermos suas principais dúvidas referente a construção do conceito do calor.
AULA 04 - (22/10/2021)
Atividades
- Discussão do seguinte questionamento: <i>Uma mãe após preparar o leite para o filho percebe que este está quente. Para resolver o problema, coloca a mamadeira com leite em um recipiente contendo água da torneira. Como explicar a diminuição da temperatura do leite usando este procedimento?</i>
Objetivos
- Apresentar uma situação-problema referente ao contexto cotidiano do aluno que utilize o conceito de calor, bem como descrever as respostas com base em cada uma das formas de interpretação do calor. - Conceitualizar as três concepções do calor por meio da discussão da situação-problema e das questões de interpretação.
AULA 05⁶³ (OBS.: As atividades ocorreram em 2 horas-aulas) – (27/10/2021)
Atividades
- Análise e discussão da Questão 2 do Questionário Inicial por meio de <i>estratégias de ensino metacognitivas</i> .
Objetivos
- Ler e classificar as respostas iniciais referente a questão 2 do questionário inicial de acordo com uma das concepções do calor; - Elaborar de forma colaborativa com o grupo três respostas para a questão 2 visando contemplar cada uma das concepções do calor - a) um fluido contido nos corpos e intercambiável; b) uma forma de energia e c) o nome convencional de um processo; - Expressar por meio do diálogo com a sala e com a professora a conclusão do grupo; - Reavaliar suas respostas a questão 2 de forma colaborativa com o grupo, distinguindo cada uma das concepções estudadas, a fim de potencializar seu aprendizado.
AULA 06 – (29/10/2021)
Atividades
- Leitura e discussão do texto: “ <i>Entendendo a sensação de quente e frio de alguns materiais</i> ”.
Objetivos
- Experimentar as sensações de quente e frio a partir do toque de diferentes materiais no interior da sala; - Determinar a temperatura de diferentes objetos na sala por meio da utilização de instrumentos de medida; - Realizar uma leitura reflexiva e interpretativa do texto “ <i>Entendendo a sensação de quente e frio de alguns materiais</i> ” associando ao fenômeno da condutibilidade térmica dos materiais; - Distinguir e conceitualizar cada explicação contida no texto de acordo com cada concepção do calor; - Aplicar as concepções estudadas para o calor e o fenômeno da condutibilidade térmica em diferentes situações problemas.
AULA 07 – (03/11/2021)
Atividades
- Análise e discussão da Questão 1 do Questionário Inicial por meio de <i>estratégias de ensino metacognitivas</i> .
Objetivos
- Ler e classificar as respostas iniciais referente a questão 1 do questionário inicial de acordo com uma das concepções do calor; - Elaborar de forma colaborativa com o grupo três respostas para a questão 1 visando contemplar cada uma das concepções do calor - a) um fluido contido nos corpos e intercambiável; b) uma forma de energia e c) o nome convencional de um processo;
AULA 08⁶⁴ (OBS.: As atividades ocorreram em 2 horas-aulas) – (05/11/2021)
Atividades
- Análise e discussão das Questões 1, 3 do Questionário Inicial por meio de <i>estratégias de ensino metacognitivas</i> .
Objetivos

⁶³ Foram necessárias duas aulas para o desenvolvimento da atividade, no qual uma delas foi cedida pelo professor da aula seguinte, a pedido dos alunos, a fim de não perderem o nível de raciocínio já desempenhado.

⁶⁴ Tendo em vista a necessidade de duas aulas para a realização da questão 2 nas aulas anteriores, foi solicitado ao professor da aula anterior uma de suas aulas, uma vez que a disciplina de língua portuguesa teria duas aulas seguidas neste dia.

- Expressar por meio do diálogo com a sala e com a professora a conclusão do grupo referente as três abordagens do conceito de calor para a questão 1; - Reavaliar suas respostas referente a questão 1 de forma colaborativa com o grupo, distinguindo cada uma das concepções estudadas e as discussões estabelecidas com a sala, a fim de, potencializar seu aprendizado. - Ler e classificar as respostas iniciais referente a questão 3 do questionário inicial de acordo com uma das concepções do calor; - Elaborar de forma colaborativa com o grupo três respostas para a questão 3 visando contemplar cada uma das concepções do calor - a) um fluido contido nos corpos e intercambiável; b) uma forma de energia e c) o nome convencional de um processo.
AULA 09 – (10/11/2021)
Atividades
- Análise e discussão da Questão 3 e 4 do Questionário Inicial por meio de <i>estratégias de ensino metacognitivas</i> .
Objetivos
- Expressar por meio do diálogo com a sala e com a professora a conclusão do grupo referente as três abordagens do conceito de calor para a questão 3; - Reavaliar suas respostas referente a questão 3 de forma colaborativa com o grupo, distinguindo cada uma das concepções estudadas e as discussões estabelecidas com a sala, a fim de, potencializar seu aprendizado. - Ler e classificar as respostas iniciais referente a questão 4 do questionário inicial de acordo com uma das concepções do calor; - Elaborar de forma colaborativa com o grupo três respostas para a questão 4 visando contemplar cada uma das concepções do calor - a) um fluido contido nos corpos e intercambiável; b) uma forma de energia e c) o nome convencional de um processo.
AULA 10 – (12/11/2021)
Atividades
- Análise e discussão da Questão 4 do Questionário Inicial por meio de <i>estratégias de ensino metacognitivas</i> .
Objetivos
- Elaborar de forma colaborativa com o grupo três respostas para a questão 4 visando contemplar cada uma das concepções do calor - a) um fluido contido nos corpos e intercambiável; b) uma forma de energia e c) o nome convencional de um processo. - Expressar por meio do diálogo com a sala e com a professora a conclusão do grupo referente as três abordagens do conceito de calor para a questão 4; - Reavaliar suas respostas referente a questão 4 de forma colaborativa com o grupo, distinguindo cada uma das concepções estudadas e as discussões estabelecidas com a sala, a fim de, potencializar seu aprendizado; - Identificar as características que impossibilitam a interpretação do calor como o nome de um processo.
AULA 11 – (17/11/2021)
Atividades
- Análise e Interpretação de duas situações fechadas sobre o conceito de calor por meio do <i>Peer Instruction</i>
Objetivos
- Analisar, interpretar e justificar as questões problemas com base na definição de calor como o nome de um processo, através da metodologia IpC.
AULA 12 – (19/11/2021)
Atividades
- Análise e Interpretação de duas situações fechadas sobre o conceito de calor por meio do <i>Peer Instruction</i>
Objetivos
- Analisar, interpretar e justificar as questões problemas com base na definição de calor como o nome de um processo, através da metodologia IpC.
AULA 13 – (24/11/2021)
Atividades
- Aplicação do questionário final, com quatro questões objetivas sobre alguns fenômenos térmicos do cotidiano.
Objetivos
- Aplicar novamente o questionário final visando identificar os invariantes operatórios manifestados pelos alunos após o desenvolvimento das leituras, trabalhos em grupo, diálogos e das estratégias de ensino metacognitivas utilizadas.

Fonte: Elaborado pela autora.

Durante as aulas, as atividades foram propostas em grupos com, no máximo, três a quatro educandos, formando ao todo dez grupos⁶⁵. Pedimos para que os estudantes anotassem na folha apenas a resposta conclusiva do grupo, após as discussões.

4.5.1 Descrição das atividades realizadas pelos estudantes

Ao longo, desta seção, descreveremos as atividades desenvolvidas com os alunos durante a abordagem das estratégias de ensino metacognitivas:

AULA 01: Apresentação e questionário inicial

Antes de iniciarmos a aplicação do questionário inicial, explicamos aos alunos, como funcionaria o desenvolvimento da pesquisa, a realização das atividades por meio do trabalho em grupo, como deveria ocorrer as atividades (discussão e registros), a importância da leitura dos textos, das anotações e participação dos debates e diálogos, da utilização dos gravadores e a importância dele para a pesquisa, a quantidade de aulas e as formas de avaliação. Também utilizamos esse momento para que pudessem assinar os documentos da pesquisa. A duração total dessa intervenção foi de 30 minutos.

Os alunos se mostraram bastante entusiasmados em poder participar de uma pesquisa de doutorado, somando a euforia de estarem retomando as atividades presenciais na escola, mas, ao mesmo tempo, demonstravam receios devido às restrições ainda exigidas pelo período de pandemia.

No segundo momento, apesar do tempo restante de aula, decidimos entregar assim mesmo o questionário inicial, pois, devido à última deliberação do estado em que previa a retomada das aulas com a quantidade integral dos alunos em sala, tínhamos muitos alunos, o que auxiliaria o desenvolvimento da pesquisa. Então, entregamos aos alunos o questionário inicial e informamos que deveria ser respondido individualmente, sem conversas ou ajuda dos amigos. Para que não houvesse receio devido ao medo de errar, alertamos que o questionário era um meio de compreendermos como eles pensavam, como explicavam as situações apresentadas em relação ao assunto que iríamos estudar e que não seria corrigido pela professora e sim retomado por eles mesmos nas atividades seguintes. A nota estaria vinculada

⁶⁵ Foi solicitado que a composição dos grupos fosse mantida em todas as aulas, entretanto, não foi possível devido à ausência dos educandos durante as aulas, o que levava a formação de novos grupos.

a participação e o empenho de cada um ao responder à atividade e apresentar com detalhes seu modo de pensar.

Solicitamos então ao entregar o questionário que respondessem nesse momento apenas a primeira questão, no qual foi lida com eles a pedido de um aluno. A primeira questão do questionário inicial está apresentada no Quadro 7.

Quadro 7 – Questão 1 do Questionário inicial

Q1. Certo dia você ao se levantar da cama para ir à escola, caminha descalço do quarto até o banheiro depois, de volta para o quarto. No caminho pisa sobre o tapete ao lado da cama, no piso de madeira do quarto e no piso de azulejo do banheiro. Ao pisar, percebe que o azulejo parece estar mais frio do que o piso de madeira e o tapete.



- A) Como você explicaria essa situação?
- B) Como isso pode acontecer se todos estão no mesmo ambiente?

Fonte: Elaborado pela autora

O objetivo dessa questão foi explorar o conceito do calor através do fenômeno de condutibilidade térmica dos materiais, no qual se remetem as sensações de quente e frio dos materiais através do contato físico. Para auxiliá-los a pensar cognitivamente, não apenas sobre as sensações ocorridas na situação, mas sobre o motivo/causa de estarem acontecendo, reforçamos por meio da leitura conjunta (professora e alunos) e dos questionamentos presente na questão, que todos os pisos se encontram no mesmo ambiente, o que esperávamos que os levasse a concluir que possuem a mesma temperatura, uma vez que poderiam associar que um estaria a uma temperatura mais alta e outro mais baixa devido a presença de um aparelho de ar condicionado, por exemplo, como levantado por um dos alunos. Deste modo, descartamos ainda qualquer influência externa em algum dos ambientes, para que, apenas associassem as interações entre material e contato físico. Em seguida pedimos que apresentassem detalhadamente todos seus pensamentos.

AULA 02: Questionário inicial e texto: “Desenvolvimento histórico do conceito do calor”.

No primeiro momento da aula retomamos o questionário inicial que haviam iniciado na aula anterior, pois alguns alunos não haviam conseguido concluir suas explicações e em seguida demos continuidades às reflexões.

A segunda questão apresentada no questionário foi desenvolvida com base em um conjunto de imagens sobre troca de calor, presente no volume 2, do livro de Física do ensino médio de Martini, *et al.*, (2016, p. 18), apresentado no Quadro 8.

Quadro 8 – Questão 2 do questionário inicial

Q2. Dois recipientes A e B contendo mesma quantidade de água, mas a temperatura diferente, são posicionados conforme representado na imagem abaixo e, é imediatamente colocado sobre eles uma caixa que os mantém isolados do meio externo.



Fonte: Martini, *et al.*, 2016, p.18

- a) Com o passar do tempo, o que acontecerá com a temperatura da água no recipiente A? E no recipiente B?
- b) o que aconteceu entre os recipientes que ocasionou essa mudança na temperatura? Explique, detalhadamente, o seu raciocínio.

Fonte: Elaborado pela autora.

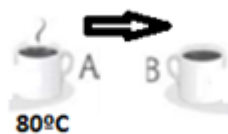
O objetivo dessa questão era levar os alunos a refletirem sobre o conceito de calor, mediante a interação entre os sistemas (ar e água), estando ambos em um espaço fechado, sem a interferência do meio externo. Para auxiliá-los a pensarem sobre a situação e chegarem a uma reflexão mais próxima do conceito, os questionamos sobre o que aconteceria com a temperatura dos líquidos presente em cada recipiente, A e B após um tempo exposto no interior da caixa fechada. A hipótese imaginada era de que pensariam que após um tempo um teria sua temperatura elevada e o outro uma diminuição de temperatura, assim os levamos a pensar no motivo que levou essa mudança de temperatura.

A terceira questão foi adaptada do trabalho de Grings (2014, p. 391), conforme apresentada no Quadro 9.

Quadro 9 – Questão 3 do Questionário inicial

Q3. Uma xícara de café quente (A), a 80°C, é colocada sobre uma mesa na cozinha de uma casa, em um dia em que a temperatura ambiente estava em 20°C. Com o passar do tempo o café fica frio (B). Conforme representado pela imagem abaixo:

temperatura ambiente 20°C



Fonte: Adaptado de Grings, 2014, p.391

a) Em relação a essa situação, como você explicaria, detalhadamente, para um colega, como se deu a diminuição da temperatura do café?

Fonte: Elaborado pela autora.

O objetivo dessa situação foi levá-los mais uma vez a pensarem nas interações entre os sistemas (café-xícara-ambiente) que estariam ocasionando a variação de temperatura, ao qual chamamos de calor. Buscamos então compreender como eles pensam e explicam o efeito da diminuição na temperatura do café. Para isso, após a leitura guiada pela professora e estabelecerem a semelhança do fenômeno com o cotidiano, questionamos sobre como poderíamos explicar a diminuição da temperatura do café, ou seja, o que ocasionou essa variação de temperatura.

A quarta questão utilizada está disposta no Quadro 10.

Quadro 10 – Questão 4 do Questionário inicial

Q4. Um professor, logo no início de sua aula, deixa duas colheres simples, uma de plástico e outra de alumínio, sobre a sua mesa, conforme representa a imagem abaixo:



Fonte: adaptada de iStock

Depois, já no final da aula, ele solicita que cada aluno toque com as mãos as duas colheres e responda se as duas estão na mesma temperatura ou em temperaturas diferentes. Todos os alunos responderam que a colher de alumínio estava em uma temperatura menor, pois, ao ser tocada com as mãos, aparentava estar mais fria.

a) Você concorda com essa explicação dos alunos? Por quê? Explique, detalhadamente, o seu raciocínio.

Fonte: Elaborado pela autora.

Nesta questão, mais uma vez buscamos explorar o conceito de calor exposto através do fenômeno de condutibilidade térmica, no entanto, apresentamos em um novo contexto. Na situação apresentamos a conclusão dos alunos associando a sensação de frio com a diminuição da temperatura, então questionamos sobre a veracidade ou não da resposta apresentada, levando ainda a manifestarem uma explicação para seu posicionamento.

Ao terminarem de responder o questionário indagamos os alunos sobre os fenômenos e variáveis presentes nas situações, buscando por meio de questionamentos levá-los a perceber que a variação de temperatura ou a sensação de quente e frio sentida ao tocar os objetos estão relacionadas ao mesmo fenômeno, provocando uma reflexão e tomada de consciência sobre o conceito do “calor”. No entanto, não nos estendemos muito a fim de não darmos indícios de respostas ou definição, uma vez que nosso intuito era levá-los a construção do conceito de calor através das situações apresentadas.

AULA 03: Leitura do texto: “Desenvolvimento histórico do conceito do calor”

Nesta aula relembramos as reflexões tidas na aula anterior e em seguida entregamos aos alunos o texto “Desenvolvimento histórico do conceito do calor” presente no Apêndice D, no qual orientamos que deveriam realizar uma leitura silenciosa e atenta sobre as informações presentes no texto, caso sentissem necessário fazer anotações no caderno, poderiam fazê-la. Como estratégia de ensino metacognitiva após a leitura os alunos deveriam responder na folha o seguinte questionamento: *após a leitura do texto ficou algo confuso? Se a resposta for afirmativa, destaque a parte que foi mais difícil compreender e explique o que está confuso para você.*

Em sequência abrimos espaço para um diálogo a respeito das diferentes ideias surgidas ao longo da história da ciência a respeito da natureza do calor, buscando levantar indícios sobre a compreensão e interpretação que fizeram com a leitura do texto a respeito das três formas de interpretação do calor e qual delas possuem maior fundamento nos nossos dias atuais. Para iniciar este diálogo questionamos-os a respeito da questão anterior, sobre as dificuldades surgidas na leitura do texto, se alguma palavra ou termo não havia sido compreendida, ou se alguma parte da história havia sido mais difícil.

Nesse momento alguns alunos relataram as palavras “intercambiável” “microtrabalhos” “poros”, e que a última explicação tinha sido um pouco confusa. Nesse momento, então, buscamos por meio de alguns questionamentos pré-estabelecidos orientar nosso diálogo a fim de ajudá-los a melhor compreender o que havia ficado confuso e, ao mesmo tempo, auxiliar a construção das três concepções do calor. As questões pré-estabelecidas orientou o diálogo da professora ao ir destacando cada momento histórico e seus pontos importantes para a compreensão de cada conceito que seria em seguida construído. A aula foi

então concluída tendo como compreensão os três momentos históricos pelo qual a concepção de calor foi construída e reinterpretada.

AULA 04: Problematização, discussão e interpretação sobre o conceito do calor

Dando sequência as compreensões estabelecidas na aula anterior recordamos junto aos alunos as três concepções do calor desenvolvidas ao longo da história da ciência e em seguida apresentamos uma situação-problema envolvendo o conceito do calor. Primeiramente expomos a situação problema de forma narrada e dialogada, a fim de que os alunos pudessem ir construindo a situação e, ao mesmo tempo, retomando suas experiências. Na narrativa contou-se que uma mãe após preparar o leite para seu filho recém-nascido percebe que sua temperatura está muito alta, o que fazer para baixar a temperatura do leite? Nesse momento surgiu algumas ideias, como: esperar um tempo, colocar em um recipiente com água e até misturar com outra porção de leite. Descartando as outras opções, indagamos os alunos qual deve ser a temperatura da água para que ela alcance o objetivo, por que a mãe utiliza a água, e por fim, como explicar a diminuição da temperatura do leite utilizando essa técnica, como ficariam as explicações com base em cada uma das interpretações do calor? Então, na tentativa de esfriar o leite para o filho, coloca a mamadeira no interior de um recipiente com água.

Após lançar o problema, deixamos um tempo para que pudessem pensar e lançar suas ideias, antes que entregássemos as respostas. Nesse momento ouve uma construção conjunta entre alguns alunos onde pela primeira vez surgiu a explicação de que está fluindo calor do leite para a água, em seguida questionamos qual forma do calor essa explicação estaria relacionada, depois de algumas tentativas, chegaram na conclusão que seria calor como um fluido, uma substância, em seguida tentaram enunciar a explicação para o calor como forma de energia, relatando uma transferência de energia do leite para a água, mas tiveram dificuldades em aprofundar a análise microscópica da situação onde as moléculas participam da interação. Após as conclusões entregamos uma folha com a situação problema discutida, contendo uma resposta para cada forma do calor (substância contida nos corpos, forma de energia, nome de um processo), juntamente com três questões de interpretação, foi então pedido para que lessem silenciosamente e de forma atenta cada explicação, buscando perceber as diferenças e os termos usados e em seguida deveriam responder às questões. Após terem lido e respondido às questões, abrimos espaço para o diálogo e interpretação dos modos de se referir a cada forma do calor, cujas questões auxiliaram o processo de interpretação e retomada do conceito.

AULA 05: Abordagem 1: retomada da questão 2 do questionário inicial

Dando sequência ao processo de construção do conceito de calor iniciado na aula anterior, organizamos os alunos em grupo⁶⁶ (com 4 integrantes cada) e em seguida pedimos para que em todas as atividades em conjunto escolhessem alguém para escrever a conclusão do grupo na folha entregue, como também que um integrante ficasse responsável em gravar as discussões e posteriormente encaminhar o áudio a professora.

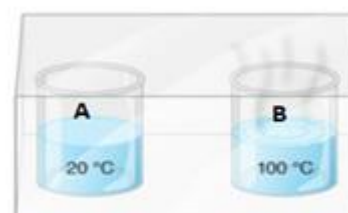
A questão entregue foi a número 2 do questionário inicial, junto a ela foi também entregue o questionário inicial com a resposta de cada integrante do grupo, onde deveriam primeiramente ler em voz alta cada resposta e em seguida cada um, com a ajuda dos demais deveriam justificar com qual das concepções do calor ela se identificava, na sequência deveriam elaborar em conjunto três novas respostas para o mesmo problema, uma abordando os aspectos da teoria do calor como uma substância, outra do calor como uma forma de energia e por fim, do calor como o nome de um processo, conforme apresentado no Quadro 11.

Quadro 11 – Trabalho em grupo 1 questão 2: interpretação calor
TRABALHO EM GRUPO 1

ORIENTAÇÕES:

1. Cada integrante do grupo deve ler em voz alta para os demais sua resposta para **a questão 2** da atividade anterior (questionário 1) que foi entregue ao seu grupo. Após cada um ler a sua resposta tente ver com qual das definições do calor ela mais se aproxima.
2. Agora respondam novamente à questão 2, com a contribuição de todos do grupo anotando suas conclusões.

QUESTÃO 2: Dois recipientes A e B contendo mesma quantidade de água, mas a temperaturas diferentes, são posicionados sobre uma mesa conforme representados na imagem ao lado e, é imediatamente colocado sobre eles uma caixa que os mantém isolados do meio externo.



Fonte: Martini, et al., 2016, p.18

- a) Com o passar do tempo, o que acontecerá com a temperatura da água no recipiente A? E no recipiente B?
- b) O que aconteceu entre os recipientes que ocasionou essa mudança na temperatura? Explique, detalhadamente, o seu raciocínio.

- Apresente uma resposta para a situação 2 ao qual contenha os aspectos da definição do **CALOR COMO UM FLUIDO**.
- Apresente uma resposta para a situação 2 ao qual contenha os aspectos da definição do **CALOR COMO UMA FORMA DE ENERGIA**:
- Apresente uma resposta para a situação 2 ao qual contenha os aspectos da definição do **CALOR COMO O NOME DE UM PROCESSO**:

Fonte: Elaborado pela autora.

⁶⁶ A escolha dos grupos foi realizada anteriormente pela professora, considerando os alunos que estavam frequentando esporadicamente as aulas, concentrando estes no mesmo grupo, para que não ser preciso alterar a composição dos mesmos após formado ao longo das aulas.

Na segunda aula, neste mesmo dia, após o término da atividade, solicitamos que cada grupo lesse em voz alta para a turma sua resposta para o problema, referente a compreensão do calor como um fluido, em seguida por meio do diálogo, refletimos sobre os conceitos e termos usados por cada grupo, buscando auxiliá-los no processo de construção e tomada de consciência de cada concepção do calor. O mesmo diálogo foi tomado para as demais concepções do calor. Ao final de cada uma das discussões foi apresentado a resposta da professora. Como última estratégia metacognitiva, deveriam ler novamente cada resposta dada para o problema, analisando o discutido no diálogo aberto com a sala e, comparando a resposta da professora, deveriam reformular suas repostas caso estivesse errada, inverter ou mudar a concepção do calor caso tivessem trocada, ou ainda complementá-la, caso necessitasse de uma melhor análise conceitual, visando uma melhor representação de cada concepção.

AULA 06: Texto: “Entendendo a sensação de quente e frio de alguns materiais”

Nesta aula buscamos a partir da elaboração de um texto curto explicar por que diferentes objetos possuem diferentes sensações térmicas ao toque, entretanto, aprofundamos a explicação considerando as três concepções do calor: a) um fluido contido nos corpos e intercambiável; b) uma forma de energia e c) o nome convencional de um processo. Para essa abordagem levamos os alunos a sala de vídeo da escola, na qual havíamos deixado duas barras posicionadas sobre uma mesa de aluno, sendo uma de madeira e outra de ferro, também havíamos deixado o ar condicionado da sala ligado 30 min antes da aula. Com os alunos na sala, pedimos que tocassem as duas barras posicionadas na mesa, e falassem sobre a sensação sentida. Como esperado, a conclusão dos alunos era de que a barra de ferro aparentava estar mais fria que a de madeira. Também solicitamos que tocassem outros objetos da sala, como a parte de plástico da cadeira e a de ferro. Então, em sequência, disponibilizamos um termômetro laser digital infravermelho para que pudessem constatar a temperatura. Conferimos a temperatura da sala através do controle do aparelho e aferimos a temperatura de cada objeto, que mostrou estar ambos com o mesmo valor, o que causou admiração pelos alunos.

Neste momento de questionamentos perguntamos aos alunos porque sentiam um material frio enquanto o outro quente, mesmo verificando experimentalmente que ambos estão com a mesma temperatura? Após algumas tentativas sem êxito, entregamos o texto “Entendendo a sensação de quente e frio de alguns materiais” e solicitamos que cada um lesse de forma silenciosa, prestando atenção nos termos e nas explicações.

Após a leitura, aplicamos novamente, como *estratégia de ensino metacognitiva*, o seguinte questionamento: “Após a leitura do texto ficou algo confuso? Se a resposta for afirmativa, destaque a parte que foi mais difícil compreender e explique o que está confuso para você”. Na sequência, por meio de um diálogo em que todas as vozes foram ouvidas, realizamos uma discussão crítica-reflexiva sobre as respostas apresentadas e por meio de uma questão de interpretação e aplicação do conceito previamente respondidas, auxiliamos os alunos na aprendizagem dos conteúdos e conceitos que ainda estavam com dúvidas. Devido o tempo de aula orientamos que duas questões de interpretação e aplicação do conceito presente na sequência do texto fosse respondida em casa.

AULA 07: Análise e discussão da Questão 1 do Questionário Inicial por meio de estratégias de ensino metacognitivas.

Nesta aula recolhemos as atividades dos alunos sobre a interpretação do texto “Entendendo a sensação de quente e frio de alguns materiais” e a aplicação do conceito de condutibilidade térmica, junto as três concepções do calor iniciada na aula anterior. Em sequência orientamos os alunos que formassem os mesmos grupos da atividade 1 e entregamos para cada aluno a questão 1 do questionário inicial com a sua respectiva resposta.

Para iniciar a atividade entregamos ao grupo uma folha com a mesma questão 1 e as seguintes estratégias de ensino metacognitivas: 1) Solicitamos que cada um lesse para os demais membros do grupo a resposta que deu para a questão; 2) Solicitamos que cada um, com a participação dos demais membros do grupo, justificasse com qual concepção de calor a sua resposta se identificava; 3) Solicitamos que os membros do grupo discutissem entre eles e elaborassem, em conjunto, três novas respostas para a questão, considerando a compreensão do calor como: a) um fluido contido nos corpos e intercambiável; b) uma forma de energia e c) o nome convencional de um processo. Conforme o quadro 12:

Quadro 12 – Trabalho em grupo questão 1: interpretação calor

TRABALHO EM GRUPO 2

ORIENTAÇÕES:

1. Cada integrante do grupo deve ler em voz alta para os demais sua resposta para **a questão 1** da atividade anterior (questionário 1) que foi entregue ao seu grupo. Após cada um ler a sua resposta tente ver com qual das definições do calor ela mais se aproxima.
2. Agora respondam novamente à questão 1, com a contribuição de todos do grupo anotando suas conclusões.

QUESTÃO 1: Certo dia você ao se levantar da cama para ir à escola, caminha descalço do quarto até o banheiro e depois, de volta para o quarto. No caminho pisa sobre o tapete ao lado da cama, no piso de madeira do quarto e no piso de azulejo do banheiro. Ao pisar, percebe que o azulejo parece estar mais frio do que o piso de madeira e o tapete. Como isso pode acontecer se todos estão no mesmo ambiente?

- A) Como você explicaria essa situação?
B) Como isso pode acontecer se todos estão no mesmo ambiente?

- Apresente uma resposta para a situação 1 ao qual contenha os aspectos da definição do **CALOR COMO UM FLUIDO**.
- Apresente uma resposta para a situação 1 ao qual contenha os aspectos da definição do **CALOR COMO UMA FORMA DE ENERGIA**:
- Apresente uma resposta para a situação 1 ao qual contenha os aspectos da definição do **CALOR COMO O NOME DE UM PROCESSO**:



Fonte: Elaborado pela autora.

AULA 08: Análise e discussão da Questão 1 e 3 do Questionário Inicial por meio de *estratégias de ensino metacognitivas*.

Dando continuidade à aula anterior, solicitamos aos alunos que formassem os mesmos grupos. Na sequência entregamos para cada grupo a folha com a questão 1 referente a atividade 2 respondida pelos mesmos, demos um tempo de dez minutos para que se organizassem e retomasse as ideias concluídas na aula anterior, orientamos a não modificar suas respostas ou complementar nada nesse momento.

Novamente solicitamos que um dos membros do grupo lesse em voz alta sua resposta para a sala referente a abordagem do calor como um fluido contido nos corpos e intercambiável, e os demais prestassem atenção na resposta de cada grupo. Na sequência, por meio de um diálogo onde todas as vozes foram ouvidas, realizamos uma discussão crítica-reflexiva sobre as respostas apresentadas, auxiliando os alunos na aprendizagem dos conteúdos e conceitos que ainda estavam com dúvidas, por meio de um processo de construção e tomada de consciência de cada concepção do calor. Repetimos essa estratégia de ensino para as demais concepções do calor.

Findado esse momento, entregamos aos alunos uma folha com a resposta da professora e como última estratégia de ensino metacognitiva, orientamos que os alunos lessem novamente cada resposta dada para o problema, analisando o discutido no diálogo aberto com a sala e, comparando a resposta da professora deveriam reformular suas repostas caso estivesse errada,

inverter ou mudar a concepção do calor caso tivessem trocada, ou ainda complementá-la caso necessitasse de uma melhor análise conceitual, visando uma melhor representação de cada concepção.

Assim que os alunos foram terminando a atividade entregamos a cada um dos membros dos grupos a questão 3 do questionário inicial ao qual havia sido respondida na aula 2 e em seguida a mesma questão com as orientações das três estratégias de ensino metacognitiva já utilizadas, ou seja: 1) Solicitamos que cada um lesse para os demais membros do grupo as respostas que deram para as questões; 2) Solicitamos que cada um, com a participação dos demais membros do grupo, justificasse com qual concepção de calor as suas respostas se identificavam; 3) Solicitamos que os membros do grupo discutissem entre eles e elaborassem, em conjunto, três novas respostas para cada questão, considerando a compreensão do calor como: a) um fluido contido nos corpos e intercambiável; b) uma forma de energia e c) o nome convencional de um processo. Conforme Quadro 13:

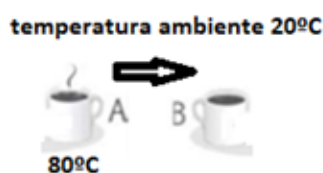
Quadro 13 – Trabalho em grupo questão 3: interpretação calor

TRABALHO EM GRUPO 3

ORIENTAÇÕES:

1. Cada integrante do grupo deve ler em voz alta para os demais sua resposta para **a questão 3** da atividade anterior (questionário 1) que foi entregue ao seu grupo. Após cada um ler a sua resposta tente ver com qual das definições do calor ela mais se aproxima.
2. Agora respondam novamente à questão 3, com a contribuição de todos do grupo anotando suas conclusões.

QUESTÃO 3: Uma xícara de café quente (A), a 80°C , é colocada sobre uma mesa na cozinha de uma casa, em um dia em que a temperatura ambiente estava em 20°C . Com o passar do tempo o café fica frio (B). Conforme representado pela imagem abaixo:



Fonte: Adaptado de Grings, 2014, p.391

a) Em relação a essa situação, como você explicaria, detalhadamente, para um colega, como se deu a diminuição da temperatura do café?

- Apresente uma resposta para a situação 3 ao qual contenha os aspectos da definição do **CALOR COMO UM FLUIDO**.
- Apresente uma resposta para a situação 3 ao qual contenha os aspectos da definição do **CALOR COMO UMA FORMA DE ENERGIA**:
- Apresente uma resposta para a situação 3 ao qual contenha os aspectos da definição do **CALOR COMO O NOME DE UM PROCESSO**:

Fonte: Elaborado pela autora.

AULA 09: Análise e discussão da Questão 3 e 4 do Questionário Inicial por meio de estratégias de ensino metacognitivas.

Iniciando a aula orientamos os alunos a retomarem os mesmos grupos das aulas anteriores, como já sabiam os procedimentos adotados nas aulas anteriores o desenvolvimento da estratégia de ensino metacognitiva foi muito mais rápido.

Com os alunos em grupo entregamos a folha com a resposta do grupo referente a questão 3 concluída na aula anterior e, em seguida, orientamos a leitura de cada grupo e posteriormente abrimos para o diálogo com a sala, por meio de uma discussão crítica-reflexiva sobre as respostas apresentadas, auxiliando os alunos na aprendizagem dos conteúdos, conceitos e termos que ainda tinham dúvidas. Para encerrar a atividade referente a questão 3 aplicamos a última *estratégia de ensino metacognitiva* planejada: 4) solicitamos que um do grupo lesse para os demais a resposta formulada pelo grupo tendo como base cada uma das concepções de calor; 5) Solicitamos que dialogassem entre si analisando novamente suas respostas, tomando como base as discussões e respostas descritas na folha entregue com as resposta da professora, podendo complementá-las, reformulá-las, alterá-las, ou caso necessitassem inverter as respostas para que melhor representassem cada concepção.

Na sequência foi entregue a questão 4 do Questionário Inicial, no qual se seguiu as mesmas estratégias de ensino metacognitivas (1), (2) e (3) descrita nas aulas anteriores, conforme quadro 14.

Quadro 14 – Trabalho em grupo questão 4: interpretação calor
TRABALHO EM GRUPO 4

ORIENTAÇÕES:

1. Cada integrante do grupo deve ler em voz alta para os demais sua resposta para **a questão 4** da atividade anterior (questionário 1) que foi entregue ao seu grupo. Após cada um ler a sua resposta tente ver com qual das definições do calor ela mais se aproxima.

2. Agora respondam novamente à questão 4, com a contribuição de todos do grupo anotando suas conclusões.

QUESTÃO 4: Um professor, logo no início de sua aula, deixa duas colheres simples, uma de plástico e outra de alumínio, sobre a sua mesa, conforme representa a imagem abaixo:



Fonte: adaptada de iStock

Depois, já no final da aula, ele solicita que cada aluno toque com as mãos as duas colheres e responda se as duas estão na mesma temperatura ou em temperaturas diferentes. Todos os alunos responderam que a colher de alumínio estava em uma temperatura menor, pois, ao ser tocada com as mãos, aparentava estar mais fria.

a) Você concorda com essa explicação dos alunos? Por quê? Explique, detalhadamente, o seu raciocínio.

- Apresente uma resposta para a situação 4 ao qual contenha os aspectos da definição do **CALOR COMO UM FLUIDO**.
- Apresente uma resposta para a situação 4 ao qual contenha os aspectos da definição do **CALOR COMO UMA FORMA DE ENERGIA**:
- Apresente uma resposta para a situação 4 ao qual contenha os aspectos da definição do **CALOR COMO O NOME DE UM PROCESSO**:

Fonte: Elaborado pela autora.

AULA 10: Análise e discussão da Questão 4 do Questionário Inicial por meio de estratégias de ensino metacognitivas.

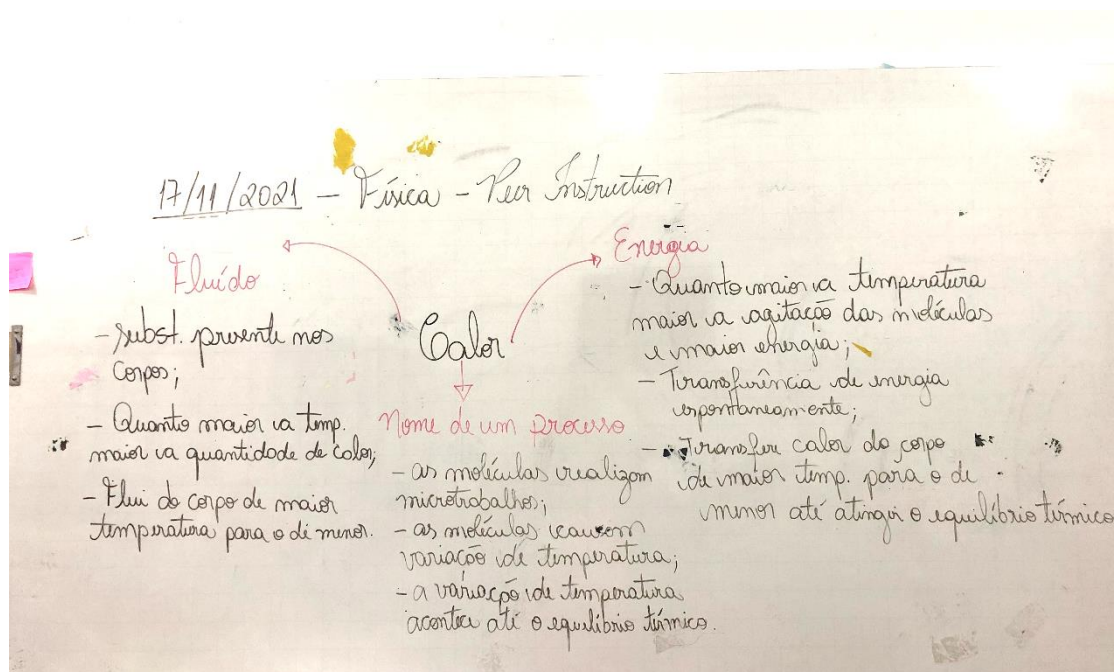
Dando início a aula retomamos com os alunos a última atividade da aula anterior, orientando que organizassem os mesmos grupos. Como o tempo para análise, diálogo e construção da resposta referente a questão 4 foi menor, deixamos mais 15 min para que pudessem concluir as discussões e conclusões iniciadas na aula anterior, de modo a apresentar uma explicação e justificativa para a questão de acordo com cada concepção de calor.

Na sequência, após a concretização da atividade, houve-se uma discussão crítica-reflexiva por meio de um diálogo entre professora e alunos, em que buscou levá-los a apresentarem suas respostas e dúvidas ainda presentes, auxiliando-os na aprendizagem dos conteúdos e conceitos. Por fim, os mesmos foram orientados a reavaliarem suas respostas seguindo as estratégias de ensino metacognitivas 4) e 5).

AULA 11: Análise e Interpretação de duas situações fechadas sobre o conceito de calor por meio do *Peer Instruction*

Dando início a aula retiramos os alunos da sala e levamos-os para a sala de vídeo, por ser um ambiente maior e sem carteiras, onde facilitaria a junção das cadeiras para a formação dos grupos conforme as orientações do *Peer Instruction*. Na sala, antes de iniciarmos a atividade, revisamos junto aos alunos cada uma das concepções do calor. Esta revisão foi desenvolvida por meio do diálogo e através da construção de um mapa mental no quadro branco com as informações levantadas pelos alunos referente a cada concepção do calor, conforme figura 2.

Figura 2 – Mapa Mental desenvolvido através do diálogo com os alunos



Fonte: Elaborado pela autora.

Na sequência apagamos o quadro e entregamos aos alunos uma folha contendo duas situações que evidenciava alguns fenômenos térmicos, tendo como foco a identificação do calor como o nome de um processo. Num primeiro momento os alunos foram orientados a: 6) lerem individualmente a situação 1 (quadro 15) e em seguida assinalarem a resposta que julgassem correta; 7) através dela deveriam elaborar uma justificativa para a escolha a fim de convencer um amigo de que sua resposta é a correta.

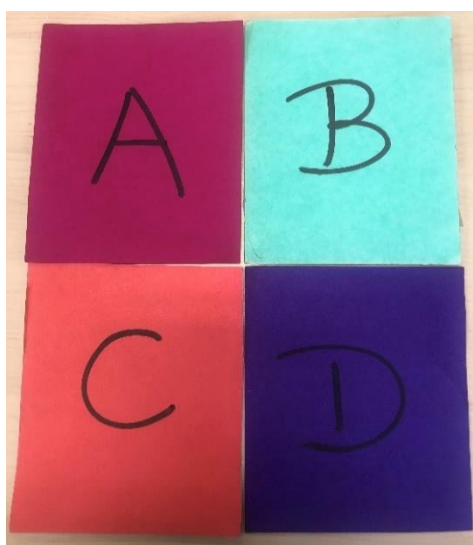
Quadro 15 – Trabalho 5 – Q1: Peer Instruction

TRABALHO 5	
Q1. (CPS-SP adaptada) Ana, após ouvir atentamente uma reportagem sobre “Caminhar para desestressar”, decide seguir essa prática. Assim, caminha 9 km indo de seu trabalho, localizado na região central, até sua residência, localizada na região residencial suburbana. Em que região do percurso ocorrerá o processo de calor de modo mais intenso: a) Na região central. b) Na região rural c) Na região do parque. d) A diferença de temperatura entre as regiões não interfere no processo de calor.	Fonte: Adaptado de Física e Vestibular
Apresente abaixo uma explicação para a resposta escolhida, de modo que possa convencer seu amigo que a sua resposta é a correta.	

Fonte: Elaborado pela autora.

Esta atividade tinha como objetivo levar os alunos a revisitarem o conceito de que quanto maior a variação de temperatura mais intenso é processo ao qual chamamos de calor. Para essa análise deveriam analisar cada percurso identificando o valor da temperatura e relacionando-o com a temperatura média corporal do ser humano de 36°C , através da diferença entre elas. Após este momento, entregamos a cada aluno um conjunto de quatro plaquinhas coloridas com as letras das alternativas conforme figura 3 e explicamos que abríamos para votação, sendo que com o sinal da professora todos deveriam levantar a plaquinha correspondente a alternativa que havia respondido e justificado à questão.

Figura 3 – Placas coloridas usadas na votação *Peer Instruction*



Fonte: Elaborado pela autora.

Com base no percentual de respostas corretas foi possível escolher entre retomar a explicação das concepções do calor e abrir novamente para votação (acertos $< 40\%$), abrir para discussão entre pares (acertos entre 40% e 70%) a partir do agrupamento de alunos em pequenos grupos (2-5 pessoas) dando preferência aos alunos que tenham escolhido respostas diferentes, pedindo que tentem convencer reciprocamente usando as justificativas pensadas anteriormente ao responderem individualmente à questão, após alguns minutos de discussão voltaríamos ao processo de votação e por fim concluiria a questão com a explicação, ou ainda poderíamos escolher prosseguir para a nova situação caso o percentual de acertos fosse maior que 70% , apenas concluindo a questão junto aos alunos (ARAUJO; MAZUR, 2013).

Na sequência, desenvolveu-se da mesma maneira a questão 2, disponibilizada no quadro 16 abaixo, seguindo as orientações 6) e 7) já solicitadas:

Quadro 16 – Trabalho 5 – Q2: *Peer Instruction*

TRABALHO 5	
Q2. Dois blocos do mesmo material e a temperaturas diferentes, conforme imagem, foram deixados no interior de um sistema isolado do meio externo. Após algum tempo o que acontecerá com as temperaturas de A e B?	 Fonte: Adaptada de Grings, 2014, p.393
a) Fluirá calor do bloco A para o bloco B, assim a temperatura de B irá aumentar e de A diminuir até o equilíbrio térmico. b) Ocorrerá uma transferência de calor do bloco B ao bloco A, de modo que B perde energia e A recebe, no entanto, não chegarão ao equilíbrio térmico, pois suas temperaturas estão abaixo de zero. c) não acontecerá nada, pois os blocos não estão em contato e as temperaturas estão abaixo de zero. d) Há uma interação entre as moléculas de B e do ar no interior do sistema, e do ar com as moléculas de A, acarretando uma variação de temperatura em ambas, até o equilíbrio térmico.	
Apresente abaixo uma explicação para a resposta escolhida, de modo que possa convencer seu amigo que a sua resposta é a correta.	

Fonte: Elaborado pela autora.

O objetivo dessa questão era que associassem as reflexões obtidas com a questão 2 do questionário inicial, retomando as interpretações do calor como o nome convencional de um processo, de modo que, por estarem isolados do meio externo, ocorrerá interações apenas entre os dois corpos que se encontram a temperaturas diferentes, assim, as moléculas de ambos os corpos executam microtrabalhos ao interagirem com o ar por estarem distantes entre si, variando a temperatura de ambos os sistemas, até o equilíbrio térmico. No entanto, acreditamos a hipóteses levantada anteriormente é a de que os alunos poderiam recair a concepção de calor como um fluido ao relacionar o fluxo de calor indo de B a A, por estar a uma temperatura maior que A, ou ainda relacionar que apesar da troca de calor não chegariam ao equilíbrio térmico, pois, a quantidade de calor seria muito baixa para provocar tal efeito, ou então associariam que não aconteceria nada, pois ambos os corpos possuem temperaturas inferiores a zero e o calor só é transferido do corpo de maior temperatura.

Durante todo o momento da atividade os alunos tiveram a oportunidade de aplicar diversas estratégias de pensamento metacognitivo, incitando inclusive a motivação para a aprender.

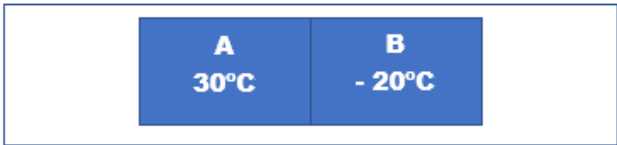
AULA 12: Análise e Interpretação de duas situações fechadas sobre o conceito de calor por meio do *Peer Instruction*

Novamente antes de começar a leitura da situação revisamos junto aos alunos cada uma das concepções do calor e também o conceito de condutibilidade térmica dos materiais, em seguida foi entregue a cada aluno uma cópia da situação 3 que evidenciava alguns

fenômenos térmicos, tendo mais uma vez como foco a identificação do calor como o nome de um processo.

Em um primeiro momento os alunos foram orientados a lerem individualmente a questão 3 (quadro 17) e assinalarem em sequência a resposta correta, posteriormente deveriam descrever uma explicação justificando a escolha a fim de convencer um amigo de sua resposta, como as orientações 6) e 7) descritas na aula anterior.

Quadro 17 – Trabalho 5 – Q3: *Peer Instruction*

TRABALHO 5	
Q3. Dois blocos do mesmo material e a temperaturas diferentes, conforme imagem abaixo, foram deixados no interior de um sistema isolado do meio externo. O que acontecerá com a temperatura dos blocos A e B?	 Fonte: Adaptada de Grings, 2014, p.393
a) Fluirá calor do bloco A para o bloco B, assim a temperatura de B irá aumentar e a de A diminuir, ficando o bloco A com maior quantidade de calor. b) Ocorrerá uma transferência de calor do bloco B ao bloco A, até que ambos alcancem o equilíbrio térmico. c) Por meio do contato as moléculas de A e B realizam microtrabalhos variando a energia de ambos até o equilíbrio térmico. d) Devido o contato entre os blocos, o calor fluirá mais rapidamente do bloco A para o bloco B até atingirem o equilíbrio térmico, ao final o bloco B terá armazenado mais calor.	
Apresente abaixo uma explicação para a resposta escolhida, de modo que possa convencer seu amigo que a sua resposta é a correta.	

FONTE: Elaborado pela autora.

A questão 3 muito parecida com a questão 2 discutida na aula anterior, buscava levar os alunos a retomar as interpretações do calor como o nome convencional de um processo, de modo que, por estarem isolados do meio externo e em contato, ocorrerá interações apenas entre os dois corpos que se encontram a temperaturas diferentes, assim, as moléculas de ambos os corpos executam microtrabalhos ao interagirem entre si variando a temperatura de ambos os sistemas até o equilíbrio térmico, nesse caso os corpos chegarão ao equilíbrio a uma temperatura acima de zero graus Celsius (0°C), diferente do caso anterior.

Após a leitura e a descrição da justificativa, foi aberto a votação por meio de plaquinhas com cores diferentes para cada alternativa. Com base no percentual de respostas corretas foi possível escolher entre retomar a explicação das concepções do calor e abrir novamente para votação (acertos $< 40\%$), ou abrir para discussão entre pares (acertos entre 40%

e 70%) ou ainda prosseguir para a nova situação caso o percentual de acertos fosse maior que 70%, conforme executado na atividade da aula anterior.

Na sequência foi entregue a questão 4 (quadro 18), procedendo as mesmas orientações 6) e 7) das questões anteriores.

Quadro 18 – Trabalho 5 – Q4: Peer Instruction

TRABALHO 5	
Q4. Uma carteira escolar é construída com partes de ferro e partes de madeira. Quando você toca a parte de madeira com a mão direita e a parte de ferro com a mão esquerda, tem a sensação de que o ferro está mais frio, isso se deve a/ao:	 Fonte: Romero, móveis para escritório
a) condutividade térmica, pois o ferro absorve a temperatura do ar mais rápido que a madeira. b) calor específico, pois o ferro absorve o calor da mão de forma muito rápida, portanto, o ao perder calor sentimos o ferro frio. c) dilatação térmica, pois quando o calor flui da mão para o ferro aumenta a quantidade de calor, expandindo o material e fazendo com que sua temperatura diminua. d) condutividade térmica, pois durante a interação entre a mão e o ferro, ocorrerá uma variação de energia interna negativa e mais rápida na mão, cujo cérebro interpreta como fria.	
Apresente abaixo uma explicação para a resposta escolhida, de modo que possa convencer seu amigo que a sua resposta é a correta.	

Fonte: Elaborado pela autora.

Diferente das questões anteriores, buscamos por meio da questão 4 levar os estudantes a utilizarem a compreensão do conceito de condutibilidade térmica associado a concepção de calor como o nome convencional de um processo, onde através da interação entre as moléculas da mão com a superfície do material ocorrerá a realização de microtrabalhos entre os materiais provocando uma variação de energia entre os sistemas, no entanto, nosso cérebro interpreta que quanto mais rápida for essa variação de temperatura teremos a sensação do material estar frio, e vice-versa.

Após a leitura e a descrição da justificativa, foi aberto a votação por meio de plaquinhas com cores diferentes para cada alternativa, em seguida seguimos os mesmos procedimentos adotados nas questões 1, 2 e 3, descritos por Eric Mazur.

AULA 13: Aplicação do questionário final

Nesta aula, visando identificar se, após a aplicação das *estratégias de ensino metacognitivas*, os *invariantes operatórios* dos alunos sobre o conceito do calor modificaram, comparados com aqueles que foram manifestados no questionário inicial, entregamos, novamente, o mesmo questionário inicial, para cada aluno.

No entanto, em relação ao primeiro, solicitamos que cada questão fosse respondida individualmente e considerando o calor como o nome convencional de um processo, conforme pode ser constatado no questionário final disposto no apêndice D.

4.6 PROCEDIMENTO TEÓRICO-METODOLÓGICO DE ANÁLISE DOS DADOS

Ao buscar caminhos para identificar os invariantes operatórios contidos nos esquemas de explicação dos alunos, em que faz parte os “conceitos-em-ação e teoremas-em-ação”, nos deparamos com os trabalhos de Piaget no campo da Epistemologia. Para o psicólogo, cada área em si - Física, Química, Biologia e Matemática – apresenta diferentes epistemologias, isto é, cada uma possui um modo próprio de fazer ciência, desde a criticidade dos princípios, das hipóteses e resultados (PIAGET, 1978), de modo que “[...] não é possível reduzir o conhecimento científico a um esquema epistemológico único [...]” muito menos, “[...] ensinar todas as disciplinas científicas em um mesmo padrão metodológico” (BELLINI, 2007, p. 5).

Neste sentido, de acordo com Piaget (1979a), a Matemática, enquanto ciência diferente da Física, “[...] não recorre à experiência. Sendo puramente dedutiva [...]”⁶⁷ (PIAGET, 1979a, p.13, tradução nossa) ela manifesta-se por meio de mecanismos axiomáticos, que resultam de mecanismos operatórios do pensamento (PIAGET, 1979a), o que implica dizer que “os conhecimentos matemáticos são o produto da atividade do sujeito, porém, [...] não se originam de uma abstração a partir dos objetos, mas de uma abstração a partir da coordenação das ações” (BELLINI, 2007, p. 6). Entretanto,

[...] a Física é baseada na experiência e visa chegar às relações, objetos e eventos como "realmente" são. Mas a experiência é uma ação exercida sobre o objeto e a partir da experiência imediata se exerce uma interação entre ele e o sujeito [...]: conseqüentemente, o duplo problema que o físico deve resolver constantemente consiste em utilizar certas ações do sujeito, mas deduzindo ao mesmo tempo, as relações independentes deste último, chegando a elas com a maior "objetividade" (PIAGET, 1979a, p. 13, tradução nossa).

⁶⁷ Versão original: [...] la matemática no recurre de ningún modo a la experiencia. Al ser puramente deductiva [...] (PIAGET, 1979a, p. 13).

Deste modo, a ação do sujeito sobre o objeto desempenha papel fundamental sobre os acontecimentos na Física, sendo ora a fonte da causalidade, do conhecimento do mundo físico; e ora a coordenação entre essas ações que serão a fonte das futuras operações lógicas-matemáticas. Nesse aspecto, as relações acometidas durante a ação levam a uma “acomodação das ações do sujeito aos dados da experiência e a assimilação do objeto aos esquemas lógico-matemáticos do sujeito” (BELLINI, 2007, p. 8), chamadas de explicações causais. Para Piaget (1978), a explicação causal consiste em:

[...] deduzir as leis por uma composição de transformações operativas, mas pondo em correspondência as sucessivas e ordenadas transformações físicas: a causalidade é, portanto, uma dedução incorporada à experiência, seja ela diretamente (por meio de modelos concebidos como inteiramente adequados), seja por meio de modelos mais ou menos esquematizados (1979b, p. 166, tradução nossa)⁶⁸.

Tomando como base essas considerações, assumimos os seguintes delineamentos a fim de, identificar os conceitos e teoremas-em-ação apresentados pelos alunos:

1º) Utilizamos como composição do material de análise as respostas dos alunos referente ao *Questionário Inicial* (QI) e ao *Questionário Final* (QF), além, das atividades realizadas em grupo e das discussões que propiciaram a construção inicial do conceito de calor

2º) As reflexões que adotaremos como referência sobre como definir calor são aquelas elencadas por Garcia Houcarde e Rodrigues de Avila (1985, p. 192). Ou seja, a explicação física dos fenômenos associados com o “calor” passou por três fases: a) a fase em que o calor era considerado um fluido contido nos corpos e intercambiável, a segunda em que b) O calor é uma forma de energia e a mais recente e aceita hoje considera c) O calor como o nome convencional de um processo.

3º) Identificamos os invariantes operatórios utilizados pelos alunos com base na regra de ação do tipo “se ... então” presente no trabalho de Vergnaud (1977), compreendido através de Piaget (1979b) como uma regra muito utilizada na Física que implica em uma relação de causalidade (relação de causa e efeito). Para tanto, analisamos a ação cognitiva do aluno nas respostas apresentadas nos questionários e durante a realização das atividades em grupo (que

⁶⁸Versão original: “[...] la explicación causal consiste en deducir las leyes por una composición de transformaciones operatorias, pero poniendo en correspondencia las transformaciones físicas sucesivas y ordenadas: la causalidad es, por consiguiente, una deducción incorporada a la experiencia, sea en forma directa (mediante modelos concebidos como enteramente adecuados), sea por intermedio de modelos más o menos esquematizados” (PIAGET, 1979b, p. 166)

tanto pode ser expressa de forma oral, escrita, por meio de desenhos, representações, ou ainda, resolução de exercícios, etc.). Por exemplo, em uma questão que evidência o fenômeno do calor, um aluno respondeu:

“É por conta que o azulejo é um objeto que contém menos calor, diferente do piso de madeira. Um absorve mais calor e o outro não” (A7).

Dessa forma, pela regra de ação do tipo “se ... então” ou relação de causalidade adotada pelo aluno, inferimos o seguinte teorema-em-ação: *“Se o objeto for de madeira, então ele contém/transmite/libera mais calor”*.

4º) Tendo compreensão do teorema-em-ação utilizado, buscamos reconhecer nele qual conceito-em-ação está explícita ou implicitamente presente neste teorema. Lembrando que, em Física, um conceito-em-ação pode ser sintetizado/reconhecido por meio de uma afirmação, como para o exemplo citado, inferimos pela afirmação anterior que o conceito é: *“Os materiais possuem diferentes resistências para ceder/receber o calor”*.

Nas respostas que não foram possíveis identificar as regras de ação do tipo “se... então” ou uma relação de causalidade adotada pelo aluno, as consideramos como respostas de natureza indefinidas, pois não seria possível identificar os teoremas-em-ação e consequentemente os conceitos-em-ação.

5º) Apesar de não ser um de nossos objetivos neste trabalho buscamos em algumas abordagens identificar a presença de elementos metacognitivos utilizados pelos alunos durante as discussões e atividades realizadas em grupo, tendo como base os elementos metacognitivos apresentados e adaptados do estudo de Rosa (2011; 2017) em relação à pessoa, a tarefa, a estratégia, a planificação, monitoração e avaliação. Para auxiliar esse processo buscamos reconhecer nas ações dos estudantes indicativos de manifestações metacognitivas com base nos itens presentes no quadro abaixo:

Quadro 19 – Orientações para análise dos Elementos Metacognitivos manifestados pelo diálogo entre estudantes

Componentes metacognitivos	Elementos metacognitivos	Indicadores para auxiliar a interpretação das falas
Conhecimentos metacognitivos	Pessoa (P)	1) lê para si ou com os colegas destacando o objetivo e opinião sobre a pertinência das informações em relação ao interesse da atividade; 2) organiza suas ações em função de características pessoais e de seus colegas; 3) reconhece o conteúdo ou parte dele e consegue relacionar com conceitos já aprendidos/estudado;

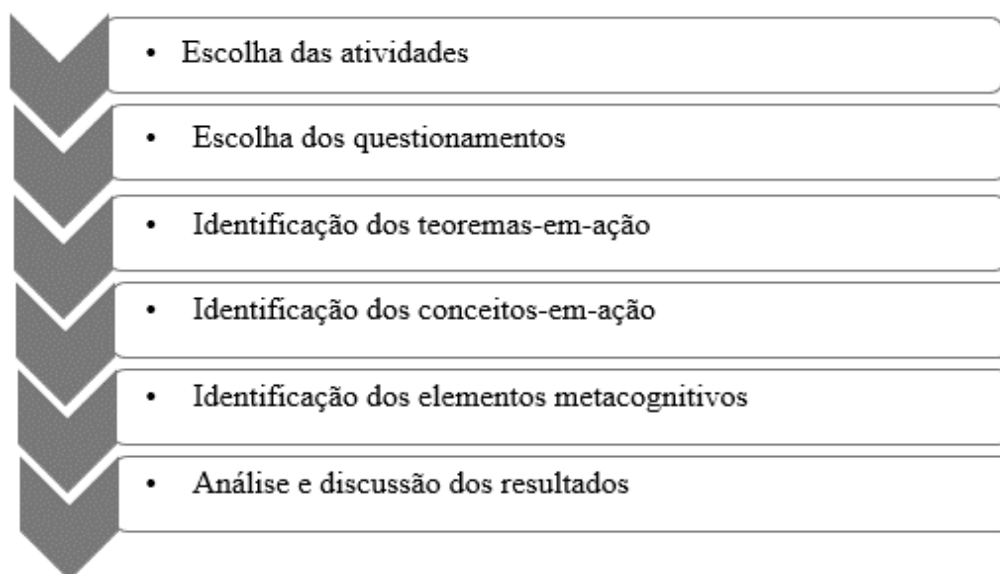
		4) apresenta consciência do objetivo a ser atingido e de que conhecimento precisa para respondê-lo; 5) encontra-se motivado para realizar a atividade, fazendo inferências sobre os conhecimentos em estudo e o modo de realizar a atividade; 6) participa da formulação de hipóteses, contemplando a diversidade de opiniões, analisando, retomando seus conhecimentos e confrontando-os com as colocações de seus colegas; 7) avalia seus conhecimentos em função dos necessários para realizar a atividade.
	Tarefa (T)	8) reconhece suas características pessoais ante às necessárias para a atividade; 9) Reconhece semelhanças entre a atividade e outras já realizadas;
	Estratégias (E)	10) discute com seus colegas a estratégia para realizar a atividade, estabelecendo comparações com outras já efetuadas ou mesmo com as que seus colegas sugerem; 11) avalia a estratégia com seus conhecimentos e de seus colegas, ou mesmo as avalia em termos dos materiais e anotações disponíveis.
Controle executivo e autorregulador	Planificação (PL)	12) planeja as ações tendo como referência seus conhecimentos, a tarefa envolvida e a estratégia a ser utilizada; 13) leva em consideração na organização da atividade as características pessoais e de conhecimento de seus colegas de grupo; 14) tem clareza de por onde começar a atividade e do caminho a ser trilhado para chegar ao objetivo da atividade.
	Monitoração (M)	15) confronta a ação em execução e o objetivo pretendido; 16) participa das decisões do grupo questionando o que está sendo realizado, para revisar as ações executadas, valorizando cada etapa da atividade; 17) sistematiza as informações coletadas tendo em vista a elaboração das conclusões finais da atividade. 18) realiza questionamentos para o grupo para rever se há problemas não previstos inicialmente.
	Avaliação (A)	19) avalia se as conclusões descritas correspondem com o planejado; 20) avalia o resultado em termos de possíveis equívocos ou distorções de conhecimento; 21) apresenta clareza do conhecimento adquirido com a realização da atividade e dos meios que o levaram a chegar a esse conhecimento.

Fonte: Adaptado de Rosa (2017, p. 186-188).

Durante as análises e interpretações das falas os elementos serão representados pelas suas iniciais seguido dos numerais orientativos que proporcionaram a interpretação, por exemplo, M17 – elemento monitoração, orientação 17.

Na Figura 4 apresentamos uma sistematização dos processos desenvolvidos neste trabalho para a obtenção dos dados e realização de cada análise:

Figura 4 – Sistematização do processo de análise para a identificação dos Invariantes Operatórios e Elementos Metacognitivos



Fonte: Adaptado de Cedran (2018).

No próximo capítulo, apresentamos os invariantes operatórios e os elementos metacognitivos identificados nas atividades desenvolvidas pelos estudantes da segunda série do Ensino Médio.

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

Neste capítulo buscamos apresentar os dados coletados ao longo das estratégias de ensino metacognitivas propostas, identificando por meio dos métodos de análise tanto os invariantes operatórios apresentados pelos alunos quanto alguns dos elementos metacognitivos que surgiram durante a realização das atividades sobre o conceito do calor.

Para isso, dividimos a análise em seções, de modo que, em cada uma foi realizada a análise de um conjunto de questões agrupadas pelas estratégias de ensino desenvolvidas, assim, na primeira sessão buscamos identificar por meio da análise os conceitos-em-ação e teoremas-em-ação presentes no questionário inicial, na segunda seção apresentamos alguns elementos metacognitivos surgidos durante a estratégia de ensino de leitura, fundamentais para a construção dos conceitos, na terceira seção os conceitos-em-ação e teoremas-em-ação presentes na segunda aplicação das estratégias de ensino metacognitivas e, na quarta seção os conceitos-em-ação e teoremas-em-ação mobilizados no questionário final, após o desenvolvimento das estratégias de ensino metacognitivas.

5.1 INVARIANTES OPERATÓRIOS MOBILIZADOS NO QUESTIONÁRIO INICIAL – AULA 01 E 02

Nas aulas 01 e 02 buscamos investigar através da aplicação do questionário inicial a compreensão dos estudantes da segunda série do Ensino médio sobre alguns fenômenos térmicos presentes no cotidiano, como: a variação da temperatura dos objetos quando estão em sistemas isolados, abertos e em situações de contato físico e a sensação de quente e frio ao tocar diferentes objetos dispostos no mesmo ambiente.

Desses questionamentos buscamos identificar através de suas justificativas e representações os invariantes operatórios mobilizados ao enfrentarem situações abertas sobre o conceito do calor. Isso, pois, acreditamos assim como Vergnaud (1996, p. 160) que a conduta dos estudantes quando participam de situações abertas são completamente coordenadas por esquemas, sendo assim, faz se importante “[...] a observação dos alunos em situação de resolução de problemas, a análise das suas hesitações e dos seus erros [...]” (VERGNAUD, 1996, p. 160), antes, durante e após o desenvolvimento das atividades, a fim de que possamos perceber suas evoluções conceituais.

Das respostas fornecidas pelos estudantes neste primeiro momento foi possível estabelecer os teoremas-em-ação e os conceitos-em-ação que utilizam para justificar cada

fenômeno abordado nas situações, e para identificá-los e melhor dispô-los durante as conclusões identificaremos os resultados do questionário inicial como QI e a situação 1 utilizada como Q1, compondo o esquema: QI-Q1. Lembrando que a situação 1 e 4 abordam o conceito de calor com base no fenômeno das sensações de quente e frio dos materiais, juntamente com o conceito de condutibilidade térmica, a questão 2 aborda o conceito de calor por meio de um sistema fechado e a questão 3 através da interação com o ambiente e a condutibilidade térmica.

5.1.1 Resultados

Apesar da assinatura de 38 termos no início da pesquisa e 38 respostas para a primeira questão do questionário inicial, as demais questões respondidas na aula seguinte, assim como as demais atividades desenvolvidas em aulas posteriores, contaram com uma variação de respostas devido à ausência esporádica de alunos, mediante o cenário pandêmico que ainda se instaurava. Como já havíamos considerado essa possibilidade por estar acompanhando o fluxo de alunos que frequentavam as aulas quando o regime era quinzenal, não obtivemos prejuízos em relação ao trabalho em grupo, pois haviam sido formados com base no público presente, porém, a análise dos dados se deu apenas àqueles alunos que participaram de todas as atividades aplicadas.

Portanto, para a análise do questionário inicial e as demais aplicações nos pautamos em 21 respostas. A primeira situação a ser analisada está disposta na questão 1 do quadro abaixo:

Quadro 20 – Questionário inicial: Questão 1 (QI – Q1)

QUESTIONÁRIO INICIAL	
Q1. Certo dia você ao se levantar da cama para ir à escola, caminha descalço do quarto até o banheiro e depois, de volta para o quarto. No caminho pisa sobre o tapete ao lado da cama, no piso de madeira do quarto e no piso de azulejo do banheiro. Ao pisar, percebe que o azulejo parece estar mais frio do que o piso de madeira e o tapete.	
	
a) Como isso pode acontecer se todos estão no mesmo ambiente? b) Como você explicaria essa situação?	

Fonte: Elaborado pela autora.

Com essa situação pretendíamos verificar como os estudantes explicam as diferentes sensações de quente e frio originadas pelo contato entre diferentes superfícies e a partir delas

identificar com qual concepção do calor mais se aproximam, ou seja, será que associam essas diferentes sensações pela quantidade de calor/temperatura que cada material possui, conforme representado na concepção de calor como uma substância presente nos corpos, ou pela absorção da temperatura/calor do ambiente devido o contato entre eles, uma forma de energia transferida devido à diferença de temperatura entre os corpos, ou ainda alguma das respostas aproximam-se da compreensão citada por Garcia Houcarde e Rodrigues de Avila (1985), cujo calor é o nome de um processo, por meio de uma análise microscópica dos fenômenos. Os conceitos-em-ação e teoremas-em-ação mobilizados por meio da análise das respostas dos alunos para a questão 1 (Quadro 7) encontram-se descritas no Quadro 21.

Quadro 21 – Invariantes Operatórios mobilizados pelos alunos, referente a Questão 1 (Q1 – Q1)

Exemplos de justificativas	Teoremas-em-ação (inferidos)	Conceitos-em-ação (inferidos)	Outros alunos que apresentaram justificativas semelhantes
<i>“É por conta que o azulejo é um objeto que contém menos calor, diferente do piso de madeira. Um absorve mais calor e o outro não” (A7)</i>	Se o objeto for de madeira, então ele contém/transmite/libera mais calor.	Calor e frio são substâncias contidas no ambiente que são absorvidas/cedidas de forma diferente pelos materiais, aumentando ou diminuindo sua temperatura, respectivamente.	A5; A9; A11; A35; A38
<i>“É que o azulejo segura o frio e já a madeira imagino que por ser forte e resistir o frio e calor, então ela não deixa o frio entrar, aí quando você coloca um tapete quentinho, fofo ele não deixa de uma vez o frio entrar” (A36).</i>	Se dois corpos de diferentes materiais estão em contato com o ambiente, então absorvem calor e frio de forma diferente.		A2, A13; A17; A20; A23; A28; A31; A32; A37;
<i>“O piso de azulejo é o único que absorve a temperatura do ambiente. Então, acontece essa diferença de temperatura, o piso de madeira e o tapete não absorve temperatura” (A28).</i>			
<i>“O pé absorveu a temperatura da madeira e do tapete, fazendo parecer que o piso estivesse mais frio” (A18).</i>	Se o corpo absorve/transmite mais calor que outro, então ao tocarmos sentimos os objetos quentes.	Calor é uma substância contida nos objetos que pode ser cedida/recebida e a temperatura é a sensação da medida da quantidade de calor.	A10; A22; A29

Fonte: Elaborado pela autora

Na Questão 2 (Q1 – Q2) utilizamos a análise de dois recipientes contendo volumes idênticos de água, porém com temperaturas distintas, posicionados no interior de uma caixa, distantes entre si e isolados do meio externo. Com a situação pretendíamos verificar como os alunos descreviam o que poderia acontecer com a temperatura dos recipientes no sistema

fechado, como esperávamos que relatassem uma modificação em ambas as temperaturas, então nosso segundo questionamento foi o que ocasionaria essa mudança de temperatura, conforme expressa no Quadro 22.

Quadro 22 – Questionário inicial: Questão 2 (QI – Q2)

Q2. Dois recipientes A e B contendo mesma quantidade de água, mas a temperatura diferente, são posicionados conforme representado na imagem abaixo e, é imediatamente colocado sobre eles uma caixa que os mantém isolados do meio externo.



Fonte: Martini, et al., 2016, p.18

- a) Com o passar do tempo, o que acontecerá com a temperatura da água no recipiente A? E no recipiente B?
b) o que aconteceu entre os recipientes que ocasionou essa mudança na temperatura? Explique, detalhadamente, o seu raciocínio.

Fonte: Elaborado pela autora.

Tendo como base algumas concepções de alunos presentes na literatura, acreditávamos que algumas das respostas estaria voltada a uma diminuição de temperatura do corpo B e no aumento da temperatura em A, devido uma troca de calor entre eles, ou seja, o mais próximo da concepção de calor como fluido. Os invariantes operatórios identificados nas respostas dos alunos, referente a questão 2(QI-Q2) encontram-se no Quadro 23:

Quadro 23 – Invariantes Operatórios mobilizados pelos alunos, referente a questão 2 (QI – Q2)

Exemplos de justificativas	Teoremas-em-ação (inferidos)	Conceitos-em-ação (inferidos)	Outros alunos que apresentaram justificativas semelhantes
<i>Vai chegar um momento em que o A e o B vão ficar com a mesma temperatura. O que ocasionou a mudança de temperatura foi a caixa, porque ela irá manter suas temperaturas iguais. (A11)</i>	Se dois corpos de diferentes temperaturas são isolados do meio externo, então, com o tempo, eles trocarão calor apenas entre si até ficarem com a mesma temperatura.	Calor é uma substância contida nos objetos que pode ser cedida ou recebida, aumentando ou diminuindo a temperatura, respectivamente.	A30 (9,5%)
<i>A água do recipiente A vai acabar esquentando e a do B vai dar uma esfriada. O recipiente B vai soltar uma espécie de vapor quente e acaba afetando o ambiente e vai acabar esfriando. (A7)</i>	Se dois corpos de diferentes temperaturas são isolados do meio externo, então, com o tempo, o corpo com maior temperatura perde calor, se esfriando, e o de menor temperatura ganha calor, ficando mais quente.		A2; A5; A31; A10; A22. (29%)

O A vai manter porque ele está em um ambiente fechado, então continua com a mesma temperatura. O B vai diminuir porque a caixa está fechada, então vai esfriar. (A17)	Se dois corpos de diferentes temperaturas são isolados do meio externo, então, com o tempo, o corpo com maior temperatura perde calor, se esfriando, e o de menor temperatura não sofre alteração.	Calor é uma substância contida nos objetos quentes que pode ser cedida, diminuindo a sua temperatura.	A18; A32; A35; A36. (23,5%)
Como o recipiente A foi abafado a temperatura vai subir, e no B por já estar com a temperatura alta e foi abafado provavelmente vai manter esta temperatura. (A13)	Se dois corpos de diferentes temperaturas são isolados do meio externo, então, com o tempo, o corpo com menor temperatura ganha calor, se esquentando, e o de maior temperatura não sofre alteração.	Calor é uma substância contida no ambiente que pode ser recebida pelos objetos mais frios, aumentando a sua temperatura.	(5%)
Com o passar do tempo elas ficarão com a mesma temperatura mesmo que antes estavam diferentes. (A20)		Indefinido	A9; A23; A28; A29; A37; A38 (33%)

Fonte: Elaborado pela autora

Na questão 3 (QI – Q3), analisamos as respostas dos alunos, buscando identificar de que forma explicam a diminuição da temperatura do café deixado em uma xícara sob a mesa e com qual concepção mais se aproxima. Nossas hipóteses eram que relacionariam a diminuição de temperatura devido à presença do ambiente ou do material da xícara, mas além desta buscamos compreender se, as justificativas estavam mais próximas à interpretação do calor como substância ou forma de energia (Quadro 24).

Quadro 24 – Questionário inicial: Questão 3 (QI – Q3)

Q3. Uma xícara de café quente (A), a 80°C, é colocada sobre uma mesa na cozinha de uma casa, em um dia em que a temperatura ambiente estava em 20°C. Com o passar do tempo o café fica frio (B). Conforme representado pela imagem abaixo:

temperatura ambiente 20°C



a) Em relação a essa situação, detalhadamente, para um colega, temperatura do café?

Fonte: Adaptado de Grings, 2014, p.391

como você explicaria, como se deu a diminuição da

Fonte: Elaborado pela autora.

Os invariantes operatórios identificados nas respostas dos alunos, referente a questão 3(QI-Q3) encontram-se no Quadro 25, sendo que, três alunos não responderam:

Quadro 25 – Invariantes Operatórios mobilizados pelos alunos, referente a questão 3 (QI – Q3)

Exemplos de justificativas	Teoremas-em-ação (inferidos)	Conceitos-em-ação (inferidos)	Outros alunos que apresentaram justificativas semelhantes
<i>A temperatura ambiente modificou a temperatura do café, até causar o equilíbrio térmico (A18).</i>	Se o ambiente possui uma baixa temperatura, então o café/xícara absorvem o frio, ficando com a mesma temperatura	A massa de ar de um ambiente externo tem uma capacidade ilimitada de ceder/receber calor, sem alterar a sua temperatura, e de impor a sua temperatura nos objetos que entram em contato com ela.	A2; A13; A20; A22; A38 (24%)
<i>“Pelo fato de a xícara estar aberta, pois se o café estivesse em uma garrafa térmica permaneceria quente” (A31).</i>	Se o café quente entra em contato com o ar ambiente, então ele esfria		(5%)
<i>“É que por estar em temperatura diferentes e as xícaras serem menor que a mesa, então o frio da mesa vai passando para a xícara, até que as duas fiquem com a mesma temperatura” (A36).</i>	Se houver diferença de temperatura, então o corpo mais frio cede frio		(5%)
<i>“A diminuição se deu por causa das moléculas que estavam na xícara de café, elas foram saindo e indo para o ar ambiente, com isso, fica frio o café” (A29).</i>	Se o café ceder temperatura então se esfria	O calor é transferido do corpo de maior temperatura para o de menor	A5; A10; A11; A17; A37 (29%)
<i>“O café vai ficar quente por muito tempo, então com o passar do tempo ele vai esfriar” (A23).</i>		Indefinido	A9; A28; A35 (19%)

Fonte: Elaborado pela autora.

A questão 4 (QI – Q4) semelhante à questão 1 buscamos analisar como os alunos explicam a sensação de frio sentida ao tocar dois materiais diferentes, sendo estes diferentes da questão 1. O posicionamento do estudante da situação poderia levá-los a confirmarem a justificativa, então buscamos identificar como justificam a aparente diferença de temperatura e se utilizam as mesmas justificativas de antes, pois considerávamos como hipótese que por terem compreensões que metais são condutores de eletricidade, estas frases poderiam aparecer em suas justificativas, mas buscamos, além disso, verificar com qual expressão do calor mais se assemelham suas conclusões (Quadro 26).

Quadro 26 – Questionário inicial: questão 4 (QI – Q4)

Q4. Um professor, logo no início de sua aula, deixa duas colheres simples, uma de plástico e outra de alumínio, sobre a sua mesa, conforme representa a imagem abaixo:



Fonte: adaptada de iStock

Depois, já no final da aula, ele solicita que cada aluno toque com as mãos as duas colheres e responda se as duas estão na mesma temperatura ou em temperaturas diferentes. Todos os alunos responderam que a colher de alumínio estava em uma temperatura menor, pois, ao ser tocada com as mãos, aparentava estar mais fria.

a) Você concorda com essa explicação dos alunos? Por quê? Explique, detalhadamente, o seu raciocínio.

Fonte: Elaborado pela autora.

Os invariantes operatórios identificados nas respostas dos alunos, referente a questão 4 (QI-Q4) encontram-se no Quadro 27, sendo que, três alunos não responderam.

Quadro 27 – Invariantes Operatórios mobilizados pelos alunos, referente a questão 4 (QI – Q4)

Exemplos de justificativas	Teoremas-em-ação (inferidos)	Conceitos-em-ação (inferidos)	Outros alunos que apresentaram justificativas semelhantes
<i>“Sim, porque o alumínio é um material mais propenso a absorver o frio ou o calor do ambiente” (A11).</i>	Se o objeto for metálico ele absorve tanto o frio quanto o calor do ambiente, então sentimos ele frio ou quente	Os materiais possuem diferentes resistências para ceder/receber o calor.	A5; A13; A17; A18; A28; A29; A32; A36; A37; A38 (52%)
<i>Sim, o alumínio absorve mais calor que o plástico, por isso o alumínio fica mais frio. Por isso que os alunos sentiram frio (A20)</i>	Se o objeto for metálico ele tende a absorver mais calor do ambiente, então sentimos ele frio		A2; A23; A35 (19%)
<i>Sim, o plástico absorve melhor o calor do que o alumínio (A9).</i>	Se o objeto for de plástico, ele irá absorver o calor e, então, sentiremos ele quente		(5%)
<i>Não, a temperatura é a mesma, mas a sensação térmica faz parecer diferente. (A10)</i>		Indefinido	A22 (10%)

Fonte: Elaborado pela autora

5.1.2 Análise e discussão dos resultados

Dentre as respostas, verifica-se que os teoremas-em-ação que norteiam as observações e explicações dos alunos tem a predominância do contato entre os corpos, uma vez que descrevem que, devido o contato entre corpos de diferentes temperaturas, ocorre uma transferência de calor, ou pode-se medir o calor contido nos corpos, desta forma, é possível perceber a incidência da compreensão do calor como uma substância presente nos corpos, ou no próprio ambiente que consegue modificar apenas a temperatura de corpos frios, o que remete-se a uma visão teórica do calórico.

Estas conclusões são perceptíveis em todas as quatro questões, na primeira, por exemplo, fica evidente uma compreensão entre os alunos de que os materiais possuem diferentes resistências ou capacidades em absorver calor, logo, ao explicar suas regras causais percebe-se, por exemplo, duas compreensões, o calor frio e o calor quente, no qual alguns materiais tendem a absorver o frio e outros o calor. Tal concepção resulta da ideia de que o calor e o frio sejam atributos de substâncias e materiais, ou seja, um corpo quente possui calor enquanto um corpo frio possui frio (SANTOS, 2010). Nas palavras de A36 a madeira e o tapete são quentinhos, *“fofinho ele não deixa de uma vez o frio entrar”*, ou seja, absorvem apenas o calor. Já o azulejo segundo A32 absorve o frio que é uma substância contida também no ambiente dependendo de suas condições, como a umidade. Para outros ainda, materiais como o azulejo tende a absorver menos calor do que objetos como a madeira ou o tapete, por isso, ao tocarmos cada um, podemos medir essa quantidade de calor, através da sensação térmica (frio e quente).

A essas explicações inferimos apenas o conceito-em-ação: Calor e frio são substâncias contidas no ambiente que são absorvidas/cedidas de forma diferente pelos materiais, aumentando ou diminuindo sua temperatura, respectivamente.

Na situação 2 inferimos três conceitos-em-ação e quatro teoremas-em-ação servindo de sustentação para a compreensão do fenômeno. 38% (8 alunos) demonstraram compreender que o fato de um ambiente estar fechado/isolado, impede a troca de calor, no entanto, compreendem que na situação a caixa mantém a temperatura do corpo B que já está alta e cede calor aos corpos de temperaturas inferiores aumentando seus valores, como observado na fala abaixo:

“A” vai aumentar essa temperatura, B vai manter essa temperatura. Como o recipiente A foi abafado a temperatura vai subir, e no B por já estar com a

temperatura alta e foi abafado provavelmente vai manter esta temperatura (A13)

Ou seja, compreende-se que o calor está contido no ambiente e tem, relação direta com suas temperaturas, assim estando A e B presentes no mesmo espaço e, o A por ter temperatura inferior absorve o calor liberado por B no interior da caixa, logo, por estar fechada ambos absorvem esse calor, aumentando sua temperatura sem que a temperatura de B se altere. A essa compreensão, inferimos o seguinte conceito-em-ação: *calor é uma substância contida no ambiente que pode ser recebida pelos objetos mais frios, aumentando a sua temperatura.* E a regra de causalidade observada considera que: *se dois corpos de diferentes temperaturas são isolados do meio externo, então, com o tempo, o corpo com menor temperatura ganha calor, se esquentando, e o de maior temperatura não sofre alteração.*

Já 24% (5 alunos) apesar de considerarem a caixa fechada isolando o meio interno, compreendem que o isolamento mantém a temperatura dos corpos inferiores e diminui a temperatura dos corpos a temperaturas maiores, ou seja, compreendem mesmo implicitamente que o corpo de maior temperatura perde calor. Desta análise compreendemos o seguinte teorema-em-ação: *se dois corpos de diferentes temperaturas são isolados do meio externo, então, com o tempo, o corpo com maior temperatura perde calor, se esfriando, e o de menor temperatura não sofre alteração.* Logo, o conceito mobilizado é de que: *calor é uma substância contida nos objetos quentes que pode ser cedida, diminuindo a sua temperatura.*

Estas concepções também já foram evidenciadas em outros trabalhos como em Santos (2010) - O calor existe apenas nos corpos quentes; Silva (1995) - Calor como propriedade dos corpos quente e frio como propriedade contrária; calor associado a temperaturas altas; Macedo e Soussan (1986) - Calor e temperatura designam um estado quente; Valadares (1995) - O calor é um fluido que transita de uns corpos para outros; Vazquez Diaz (1987) - O frio é o oposto (também a ausência) do calor.

Entretanto, em outras respostas, 38% (8 alunos) compreendem que, com o passar do tempo, as temperaturas de ambos os recipientes serão iguais, demonstram uma melhor compreensão e explicação dos seus pensamentos, onde percebem que os dois corpos trocam calor entre si, de modo que após um tempo chegam ao equilíbrio térmico, sendo que neste processo, o corpo de maior temperatura cede calor, portanto, perde calor, diminuindo sua temperatura. Ou seja, entendem que existe uma relação entre os corpos que favorece essa mudança de temperatura, o contato é o principal motivo para que um corpo absorva ou transmita

calor. Neste sentido, mais uma vez tem-se que o calor é uma substância, um fluido contido nos corpos.

O que corresponde ao aspecto descritivo do fenômeno, entretanto, com relação às explicações causais, quando os invariantes operatórios são mobilizados, as justificativas, quase na sua totalidade, apoiam-se na concepção do calor como uma substância. No caso das respostas classificadas como indefinidas, segundo Oliveira, *et al*, (2011), a ausência dos invariantes operatórios nem sempre representa que o aluno não soube explicar, isso acontece por que quando o sujeito age em alguma situação precisa organizar seus esquemas, construir uma representação para o fenômeno, selecionar conceitos pertinentes, planejar as etapas e a própria ação para assim obter conclusões e propor respostas. No entanto, esse processo é complexo, uma vez que nem sempre os conceitos encontrados apresentam-se sólidos em suas estruturas cognitivas, dessa forma, os alunos têm dificuldade em tornar explícito os seus pensamentos de causalidade.

Estas mesmas análises podem ser verificadas nas respostas das questões 3 (3 alunos não responderam) e 4, quando, por exemplo, os alunos explicam que:

“Pelo fato de a xícara estar aberta, pois se o café estivesse em uma garrafa térmica permaneceria quente” (A31).

“O ambiente estava frio então a xícara colocada no ambiente em baixa temperatura vai ficando fria também” (A20).

Ou seja, compreendem que os corpos quentes possuem calor, enquanto os frios possuem frio, e essa quantidade de calor é passada reciprocamente, modificando suas temperaturas, pois, os corpos possuem capacidades diferentes de absorver calor.

Com essa mesma ideia, na questão 4, percebemos que 76% (16 alunos) compreendem que o material de que os corpos são feitos influenciam na absorção de calor, ou seja, apresentam resistências diferentes. Portanto, inferimos o seguinte conceito-em-ação: *Os materiais possuem diferentes resistências para ceder/receber o calor.*

Nesse sentido, destes alunos, 52% acreditam que materiais metálicos absorvem tanto o frio quanto o calor, portanto, podem aparentar frio ou quente, como a aluna A36 que além de apresentar essa ideia demonstra por meio de sua explicação que os materiais metálicos absorvem com mais facilidade o calor ou o frio, diferente do plástico A36- *“Sim, porque a colher de alumínio deixava a temperatura entrar, tanto faz o frio ou o quente, já que a de*

plástico fica fechada ali no canto dela, em uma temperatura, nem quente, nem fria, não deixa a temperatura entrar para si mesma”. Ou seja, o que evidencia, a compreensão de calor como uma substância presente nos corpos e indestrutível que “preencheria os poros” dos corpos e se escoaria de um corpo mais quente para um corpo mais frio.

Outros ainda, corroboram dessa mesma opinião e ainda acrescentam que isso se justifica por esses materiais serem térmicos, como nas falas de: A13- *Sim, porque o alumínio mantém sempre a temperatura menor por ele ser térmico; e A32- O alumínio tem a função de deixar por bastante tempo a água mais fria e a quente por mais tempo, causada pelo ar, conforme o clima as duas vão estar em temperaturas diferentes.*

As experiências cotidianas parecem influenciar as explicações, pois na tentativa de explicar os fenômenos os alunos buscam exemplos do seu cotidiano, ou melhor, Vergnaud (*apud* MOREIRA, 2004) menciona que a aquisição do conhecimento é moldada pelas primeiras situações que os estudantes puderam dominar, ou seja, que foram compreendidas e geraram significados, no entanto, existe uma lacuna entre os invariantes operatórios construídos nesses processos pelas situações dominadas ao interagir com o meio e os invariantes operatórios que constituem de fato o conhecimento científico. Por isso,

“Quando um estudante se depara com situações que dão sentido ao conceito, essa informação entra em interação com a estrutura dos conhecimentos-em-ação dos esquemas que cada estudante dispõe. Assim, suas respostas serão uma aproximação de sua estrutura conceitual e variarão de acordo com seu nível de desenvolvimento conceitual” (GRINGS; CABALLERO; MOREIRA, 2006, p. 464)

Retomando, outros alunos (19%) consideram que materiais metálicos apenas absorvem calor e por isso apresentam-se frios e ainda uma aluna considera que plásticos é que possuem essa capacidade de absorver calor, por isso apresentam-se quentes. Para dois estudantes não foi possível identificar o conceito-em-ação e seus teoremas.

Assim, a partir dos conceitos-em-ação e teoremas-em-ação mobilizados em todas as questões pelos alunos, podemos elencar as principais características que embasam as suas concepções alternativas sobre o conceito de calor:

- É uma substância que todo objeto possui;
- Quanto mais calor um objeto possuir, maior será a sua temperatura;
- Quanto menos calor um objeto possuir, menor será a sua temperatura;
- Pode ser transmitido de um corpo para outro;

- Os materiais possuem diferentes resistências para ceder/receber o calor;
- O calor pode ser cedido/recebido pelo contato.

Essas características também foram encontradas em diferentes trabalhos que se debruçaram sobre as concepções alternativas do conceito de calor, tais como Cervantes (1987), Amaral e Mortimer (2001) e Köhnlein e Peduzzi (2002).

Em complemento ao que essas pesquisas trazem, analisando esses resultados à luz dos três conjuntos que compõem um conceito, segundo Vergnaud (1993), podemos afirmar que o conjunto das invariantes em que se baseia a operacionalidade dos esquemas apresentados pelos alunos, sobre o conceito de calor, é consequência do conjunto das situações que deram sentido ao conceito pelos alunos, e, também, do conjunto das formas de linguagem que permitiram representar simbolicamente o conceito, suas propriedades, as situações e os procedimentos de tratamento, que, até o momento de aplicação do questionário, os alunos vivenciaram no dia-a-dia.

Também incluímos o ensino formal como uma das fontes dessas concepções, pois elas são reforçadas pelos livros didáticos e, por consequência, pelos docentes, quando, em poucas palavras, afirmam que o calor não é uma substância, mas, a todo momento, utilizam expressões criadas no contexto do calórico para analisarem os fenômenos térmicos, tais como:

Quando dois ou mais **corpos cedem**, ou **absorvem** quantidades iguais de **calor**, a **variação de temperatura por eles sofrida** é, em geral, diferente uma da outra [...] (GASPAR, 2000, p. 310, grifo nosso).

[...] A **passagem do calor cessa ao ser atingido o equilíbrio térmico**, isto é, quando as temperaturas se igualam [...] (RAMALHO JUNIOR, FERRARO; SOARES, 2007, p. 47, grifo nosso).

Essas afirmações induzem e reforçam as concepções alternativas dos alunos sobre o calor (GOMES, 2012). Neste contexto, esses invariantes operatórios não serão alterados se as situações associadas com esse conceito, que estão presentes tanto no cotidiano quanto na escola, não forem ressignificadas pelos alunos. De acordo com Garcia Houcarde e Rodrigues de Avila (1985, p. 192, grifo nosso, tradução nossa):

A explicação física dos fenômenos associados com o <<calor>> passou por três fases: a) o calor é um fluido contido nos corpos e intercambiável. b) o calor é uma forma de energia e c) **o calor é o nome convencional de um processo**.

Dessa forma, é natural que, sem a ação mediadora do professor, os invariantes operatórios mobilizados pelos alunos se enquadrem dentro da primeira fase da explicação física dos fenômenos associados com o calor. Logo, é preciso, oferecer aos alunos condições para eles tomarem consciência das três fases pelas quais a explicação física dos fenômenos associados com o calor passou, bem como criar oportunidades, por meio da metacognição, para eles se tornarem agentes ativos no processo de construção de novos invariantes operatórios sobre esse conceito.

5.2 ELEMENTOS METACOGNITIVOS EVIDENCIADOS PELA ESTRATÉGIA DE ENSINO METACOGNITIVAS

Apesar de não ser um dos objetivos desse trabalho, buscamos percorrer essa investigação a fim de verificar quais elementos metacognitivos surgiram durante a aplicação das estratégias de ensino metacognitivas, mais precisamente em dois momentos, durante os diálogos professora e alunos referente a leitura e discussão do texto histórico “Desenvolvimento histórico do conceito do calor” e a aplicação da situação de interpretação do leite, e durante as discussões em grupo referente a segunda aplicação da questão 2.

Para análise tomamos como referência as categorias do elemento conhecimento do conhecimento, vinculado as variáveis pessoa, tarefa, estratégia, planificação, monitoramento e avaliação, presentes no Quadro 19, das quais nos possibilitaram inclusive verificar as possíveis contribuições das atividades e estratégias utilizadas para a construção conceitual do calor e tomada de consciência dos estudantes sobre cada uma das três concepções: a) o calor é um fluido contido nos corpos e intercambiável. b) o calor é uma forma de energia e c) o calor é o nome convencional de um processo.

5.2.1 Resultados

A categoria “conhecimento do conhecimento” compreende os elementos referente a pessoa, a tarefa e a estratégia. O elemento metacognitivo pessoa está relacionado ao autoconhecimento, ou o conhecimento que o sujeito tem de si, de seus conhecimentos, do quanto compreendeu de uma leitura, de como melhor, compreende um conteúdo, de seu conhecimento em relação ao outro, enfim, de suas características pessoais, ou melhor, daquilo que influencia a atividade cognitiva do indivíduo. É perceptível nas atividades quando os alunos relatam lembrar que estudaram um conteúdo, de como foi dito, e até quando reconhecem que não prestou muita atenção, que não leu, ou que fez anotações da aula.

Ao analisar os dados, evidenciamos o elemento metacognitivo pessoa quando os estudantes retomaram em suas estruturas cognitivas aquilo que sabiam sobre o conteúdo, quando conseguiram identificar o assunto do texto, das questões em relação a conhecimentos que já possuíam, ou os necessários para desenvolver a atividade proposta, convergindo com o indicador de elemento metacognitivo **P4**- Apresenta consciência do objetivo a ser atingido e de que conhecimento precisa para respondê-lo;

Observam-se indícios desse elemento quando A9 expressa, qual o assunto do texto lido: [...] *o texto fala sobre o calor, como os cientistas pensavam ser o calor*. Ou ainda quando A11 se reporta aos demais alunos do grupo alertando que estão fugindo do objetivo proposto pela atividade:

A11: Pessoal, esperem! (A estudante lê para o grupo) [O que aconteceu entre os recipientes que ocasionou essa mudança na temperatura? Explique, detalhadamente, o seu raciocínio] olha gente, primeiro temos que responder, explicar a definição da questão 2 como um fluido! Então, qual das nossas respostas que se encaixa na definição de calor como fluido? Qual a ideia do calor como fluido?

A11: Eu acho que primeiro temos que lembrar a ideia de calor como fluido. Alguém lembra?

Essa característica também é perceptível na fala de A18, quando relembra a fala da professora para retomar o objetivo pretendido da atividade que era apresentar uma explicação para a questão com base na concepção de calor como energia: *Então, mas eu lembro que a professora falou na explicação histórica que a diferença de calor como fluido para energia é... tipo assim, antigamente os cara lá falavam que estava no corpo, que todos tinham calor, e de energia, não está no corpo, pode ser o ambiente, porque é as moléculas que se movimentam* (A18).

A aluna A16 dialogando sobre o objetivo da atividade demonstra ter compreendido a proposta e, ao mesmo tempo, avalia o conhecimento que precisa para resolvê-la e percebe que não lembra o conceito já estudado: *A16: Agora temos que dar uma resposta para a situação 2 que contenha as características do calor como fluido. Eita! Eu já não lembro mais como explica calor como fluido! E as outras vocês lembram, como energia e processo? Porque eu falei na última aula, não lembro mais.*

Ao lerem suas respostas para os demais integrantes do grupo conforme solicitado na atividade deveriam também analisar com qual das concepções ela se relacionava, A11 avalia

seus conhecimentos apresentados na resposta confrontando com o conteúdo estudado a fim de verificar com qual se próxima, nesse momento analisa seu conhecimento e também os dos outros integrantes: *Então a minha está mais para uma forma de energia, e o A13 não explicou!* Como também pode ser analisado na fala de A28: *deixa eu ver no texto... vocês leram? Olha, eu entendi que no calor como fluido, o calor é uma substância abundante nos corpos quentes... “vixi” eu errei tudo, troquei todas.* O que se assemelha aos indicadores **P7**: avalia seus conhecimentos em função dos necessários para realizar a atividade; e **P6**: participa da formulação de hipóteses, contemplando a diversidade de opiniões, analisando, retomando seus conhecimentos e confrontando-os com as colocações de seus colegas.

No diálogo dos alunos A38 e A27 também podemos observar o indicador **P6**, quando um avalia a explicação do outro dando argumentos para a elaboração e conclusão da resposta da atividade:

A27: *então o B vai passar energia para o A, espontaneamente...*

A38: *onde você achou isso.... Ah! É isso mesmo! Mas temos que dar os exemplos, né? Falando do corpo A e do B.*

A27: *Então transfere calor espontaneamente, ou seja, o corpo B cede calor espontaneamente.*

A38: *Então o corpo com maior temperatura vai transferir calor para o corpo de menor, o de menor só vai ganhar... deixa eu ver mais... tá certo cede calor.*

Em relação ao indicador **P1** - lê para si ou com os colegas destacando o objetivo e opinião sobre a pertinência das informações em relação ao interesse da atividade; podemos destacar a fala de A11 já citada acima, como também de A17, quando lê a questão 2 e destaca o objetivo da letra a):

A17: *Dois recipientes A e B contendo mesma quantidade de água, mas a temperatura diferente, são posicionados conforme representado na imagem abaixo e, é imediatamente colocado sobre eles uma caixa que os mantém isolados do meio externo.*

a) com o passar do tempo, o que acontecerá com a temperatura da água no recipiente A? E no recipiente B? O QUE ACONTECERÁ?

Durante as discussões do texto “Desenvolvimento histórico do conceito do calor”, a aluna A18 participa da elaboração dos conceitos lendo para os demais colegas da sala partes do texto, destacando o conceito pertinente a informação solicitada pela professora sobre o que seria o calórico, o que haviam compreendido: A18: *[uma quantidade mensurável, que se difunde do corpo mais quente para o mais frio, até ser distribuído, de forma que se atinja um estado de*

equilíbrio]. A aluna A22 também participa do momento apresentando seu entendimento, confrontando com as colocações da colega: A22: *Não! Professora, não era que o calor era uma substância presente nos corpos? Que era armazenada nos poros?*

Ainda neste diálogo, após a compreensão do calor como um fluido, A10 apresenta percepção sobre o conceito/conteúdo discutido através da participação, reflexão e a diversidade de opiniões expostas: A10: *Então, intercambiável é quando ele flui de um corpo para o outro!*

Momentos antes, quando a professora organiza as primeiras ideias sobre a concepção de calor, A8 interage relacionando o assunto com suas experiências e conhecimentos já adquiridos: A8: *professora, eu já vi em um vídeo que eles descobriram o fogo por causa de um raio que caiu em uma árvore*. Converging com o indicador **P3** - Reconhece o conteúdo ou parte dele e consegue relacionar com conceitos já aprendidos/estudado;

Voltando ao desenvolvimento da atividade em grupo, A11 reconhece a partir do diálogo com outro integrante do grupo características pessoais em relação às atividades propostas e manifesta sua ação perante o grupo: A18: *A11 por que você não escreve?* A11: *Porque eu gosto de falar, de elaborar!* Indo de encontro com o indicador **P2** - organiza suas ações em função de características pessoais e de seus colegas;

Nas falas descritas percebemos que o elemento metacognitivo pessoa apresenta-se bastante utilizado pelos estudantes, encontrando-se inclusive bastante motivados para o desenvolvimento das atividades, pois a todo momento relembram o conteúdo, avaliam seus conhecimentos e dos outros colegas, reconhecem suas características, e manifestam *insights* em contribuição as hipóteses e conhecimentos expressos.

Os conhecimentos relacionados a variável tarefa diz respeito a identificação pelo sujeito dos aspectos da mesma, suas exigências, o alcance, extensão, bem como as condições que faz dela ser mais fácil ou difícil que outra, ou seja, algumas são mais fáceis de serem lembradas e outras mais difíceis por demandarem mais tempo e mais elementos (FLAVELL; WELLMAN, 1977). Segundo Flavell (1979) esse elemento é um tanto complexo de ser acessado, pois se relaciona a uma ordem de pensamento que muitas vezes não é explicitada pelo aluno. Pelas análises percebemos em alguns momentos de diálogos falas que indicam esse elemento, como A7 ao ler que deveria apresentar uma explicação para o calor como o nome convencional de um processo: A7: *Nossa! Está muito difícil. Eu não entendo física*, e A17: *Do processo é mais*

fácil... vamos responder ele primeiro, depois perguntamos para a professora da energia. O que converge ao indicador T8.

Flavell, Miller e Miller (1999) e Biazus (2021) nos relembram que as situações já vivenciadas ou próximas ao sujeito são mais fáceis de serem lembradas e recuperadas da estrutura cognitiva, porém, situações distantes do convívio do estudante ou novas carecem de mais esforços para serem recuperadas, e algumas vezes podem até não ser, é o que acontece com a concepção de calor como o nome de um processo, por ser um conceito novo aos alunos e distantes de suas ações e vocabulários são mais difíceis serem formulados. Entretanto, segundo Flavell (1976) esse elemento é crucial para o desenvolvimento cognitivo do estudante, e a aprendizagem, bem como para poder desenvolver a tarefa proposta, pois faz parte do processo de tomada de consciência, em que se deve reconhecer as exigências da tarefa a ser executada e os requisitos necessários para realizá-la. A identificação dessas variáveis o ajuda a buscar relações entre atividades já realizadas e assuntos já estudados, buscando relações entre os elementos pertinentes, caso isso não aconteça pode se sentir incapaz ou desmotivado para realizá-la, prejudicando a compreensão do novo.

Nesse sentido encontramos a resposta de A17 e A11 quando busca uma forma de explicar o problema utilizando a concepção de calor como uma forma de energia, mesmo após terem considerado difícil falar sobre essa concepção. A alternativa usada por elas foi buscar relações com atividades já realizadas, como a questão do leite ao ser esfriado pela mãe, discutido na aula anterior, relacionado ao indicador T9:

A17: Gente! Olha, na questão diz que os potes estão isolados dentro da caixa, então, não é o calor do ambiente que influencia... tem que ser alguma coisa dentro que vai transferir o calor, mas não dele. [Podemos dizer que durante o aquecimento do leite... LEITURA DO TEXTO] Entendeu? A transferência então tem que ser entre o ambiente da caixa... Então, pode ser o calor da caixa. Mas se é uma troca de temperatura com o ambiente tem que se entre os potes, não é? Eles estão abertos ou fechados dentro da caixa?

A11: Então a temperatura de A vai aumentar porque as moléculas do B transferem energia. [Calor como energia é o calor em trânsito, energia essa que é transferida de um corpo ou sistema mediante a diferença de temperatura entre eles, ou seja, o calor passa espontaneamente do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura... LEITURA DO TEXTO].

Deste modo, esse elemento contribui para que a retomada de pré-requisitos seja efetivada, demonstrando que as experiências pessoais obtidas no passado não podem ser esquecidas, pelo contrário, precisam ser ativadas, para subsidiar as próximas (ROSA, 2011).

Já os conhecimentos relativos à estratégia, estão relacionados ao meio de se obter a aprendizagem, como, o que precisa ser feito e quais caminhos seguir, ou seja, o que está em discussão é a maneira como a atividade será desenvolvida, muito próxima à planificação, porém está vinculada ao conhecimento do sujeito sobre seus conhecimentos. Nela se manifesta o reconhecimento pessoal em relação ao caminho a que seguir e o estabelecimento de comparações entre ações já executadas, incluindo a avaliação de equipamentos e materiais. No diálogo entre as alunas A18 e A11 sobre o desenvolvimento da explicação do calor como fluido, surge o indicador **E11** (avalia a estratégia com seus conhecimentos e de seus colegas, ou mesmo as avalia em termos dos materiais e anotações disponíveis.), onde a aluna A18 retomada o material para defender suas ideias:

A18: Mas, no fluido o corpo de maior temperatura não fornece calor para o corpo de menor temperatura?

A11: Não...fluido transporta energia.

A18: Não, claro que não! Por isso que flui, ele flui de um para o outro. O calor de um para o outro.

A11: (consulta o material))

A18: Para explicar a estratégia utilizada pela mãe.... ((continua a leitura silenciosa)) Assim ao colocar a mamadeira em contato com a água acontecerá UMA TROCA DE FLUIDOS, OU SEJA, O CALOR DO CORPO MAIS QUENTE PARA O CORPO MAIS FRIO!

Na categoria “controle executivo e autorregulador” o elemento planificação refere-se ao planejamento, previsão das etapas a serem seguidas e avaliação das estratégias selecionadas para se atingir os resultados da ação, ou seja, aqui se faz importante uma discussão antes do início da atividade sobre os procedimentos a executar. Segundo Rosa (2011, p. 225):

Neste elemento são enquadradas manifestações dos estudantes relativas a: organização de suas ações ou participação na organização do grupo, considerando seus conhecimentos, aqueles necessários para a atividade, as características de seus companheiros, o tipo de tarefa e a estratégia a ser realizada; ao planejamento da ação e à distribuição das atividades, verificando do que dispõe e o que será necessário para atingir o objetivo; a apresentação de clareza de entendimento da atividade, de como realizá-la e do que será preciso para isso.

Em nossos dados evidenciamos apenas a distribuição de ações aos integrantes no início da atividade manifestada por A11 e A17, após terem lido cada resposta dada para a questão 2 em relação ao questionário inicial, o que se aproxima do indicador **PL13**:

A11: Ou seja, nenhuma se encaixa, vamos ter que escrever então. A17 você pode escrever? Você escreve melhor.

A17: Tá bom! Mas vocês me ajudam. Já que nenhuma das nossas respostas é como um fluido, temos que colocar uma como um fluido.

Esse elemento foi o mais difícil analisar e o que teve menos incidência de evocações. Esse fator se explica porque os alunos não possuem o hábito ou habilidade de pensar em estratégias antes de resolver um problema, eles iniciam de imediato, explicando, escrevendo ou calculando. Essa consideração foram levantadas por Rosa (2011) em seu estudo, tendo como base as considerações de Chi, Glaser e Rees (1982), Larkin (1983) e Souza e Fávero (2002), de que existe uma diferença entre estudantes que possuem facilidade de aprendizagem (*experts*) em relação aos que apresentam dificuldades (*novatos*), tais estudos apontam que os experientes sempre analisam a situação-problema em relação aos termos dos conceitos físicos envolvidos, planejam estratégias e constantemente monitoram sua ação em relação ao objetivo proposto; enquanto os novatos lançam-se de imediato, buscando uma solução, pouco analisando a situação do ponto de vista físico (ROSA, 2014).

Apesar de não encontrarmos evidências nas falas dos alunos, consideramos que o indicador **PL14** - tem clareza de por onde começar a atividade e do caminho a ser trilhado para chegar ao objetivo da atividade, está presente nas ações dos sujeitos mesmo que implicitamente, pois demonstram clareza dos objetivos para concluir a atividade, e os caminhos que precisam executar, demonstrando iniciativa para desenvolver a atividade e buscar caminhos para isso.

A monitoração representa a aquisição de informação durante a atividade, por meio de uma revisão dos processos de pensamento, ao qual envolve decisões sobre a tarefa, como está sendo a execução, os progressos obtidos ou a necessidade de recomeçar. É uma etapa muito importante para que o estudante avalie se os procedimentos adotados estão se encaminhando para conclusão da atividade conforme o objetivo proposto. Esse elemento metacognitivo retoma o objetivo e o planejamento, ao controle ativo da ação e dos conhecimentos envolvidos e à organização dos dados coletados, verificando se há equívocos de conhecimentos de uma maneira contínua (ROSA, 2011).

Identificamos pelas falas alguns indícios desse elemento nas falas de A18, quando confronta a ação em execução e o objetivo pretendido (**M15**), observada: A11: *Isso! Como os dois corpos tem calor, vão atingir o equilíbrio térmico.* A18: *Espera! Eu acho que não é só isso.* Também pode ser verificado nas palavras de A22: *Calma... bom... O calor vai do leite para a água, daí ele perde calor e diminui sua temperatura, a água fica mais quente e o leite esfria.*

No diálogo de A27 com A38 também surge alguns indícios:

A38: *Ah tá! Entendi...Então oh! O corpo B vai transferir calor pro A e vai ficar mais frio, e o A vai transferir pro B e ficar mais quente. Concluindo: As duas temperaturas dos corpos vão se igualar, mas porquê...?*

A27: *vai haver uma transferência de energia, quem que cede calor? Porque no texto fala que o leite cede, mas o leite vai estar frio, não é?*

Segundo Flavell (1979) a monitoração tem grande proximidade com as experiências metacognitivas, por isso, no decorrer de uma tarefa os estudantes podem apresentar lampejos momentâneos de incerteza ou frustração, fazendo com que revejam suas ações. Brown (1978 *apud* MAMAN; QUARTIERI; NEIDE, 2022) também menciona a importância da monitoração na aprendizagem, pois representa a revisão de conhecimentos à medida que novos (conhecimentos) estão sendo construídos, permitindo que os alunos avaliem se estão ou não no caminho certo para atingir o objetivo na construção do conhecimento.

O último elemento dessa categoria é a avaliação, ao qual tem por objetivo verificar se os estudantes entenderam os procedimentos adotados para chegar ao resultado, se compreendem o resultado e se o resultado concorda com o objetivo do estudo (ROSA, 2011). Segundo a autora, avaliar “representa uma das situações mais significativas da aprendizagem em Física, identificada com a possibilidade de transferir os novos conhecimentos a situações diferentes das que originaram a sua construção” (ROSA, 2011, p. 231).

As falas a seguir evidenciam a presença do elemento avaliação em dois momentos durante a execução da atividade. A28 faz uma avaliação após as leituras individuais sobre as respostas apresentadas por cada integrante do grupo para o questionário inicial, e após terem verificado a dissonância entre elas faz um questionamento avaliando novamente as posições dos integrantes em relação ao objetivo da atividade:

A28: *A gente leu, e viu que as respostas são diferentes. E aí o que vocês acham a temperatura vai ficar igual ou muda? Diminui ou aumenta? Avaliação20*

A22: *Concluindo: gente, ficou assim: Como estão em um recipiente isolado, o calor flui de um corpo para o outro, acontece troca de fluido. Como energia, um está com temperatura maior que o outro, por conta da transferência de energia os dois atingem o equilíbrio térmico. Como processo, ocorre microtrabalhos devido às vibrações das moléculas e uma interação até que atingem o equilíbrio térmico. É isso mesmo?*

A fala de A22, é uma revisão das conclusões finais do grupo referente as três concepções do calor para a questão 2. Nas falas percebemos os indicadores **AV19** - avalia se as conclusões descritas concordam com o planejado; e **AV20** - avalia o resultado em termos de possíveis equívocos ou distorções de conhecimento.

Assim, com base nos dados apresentados e analisados aqui fica evidente que as estratégias de ensino metacognitivas utilizadas, relacionadas aos questionamentos, leitura, trabalho em grupo foram importantes, pois levaram os alunos a refletirem sobre suas ideias, escolhas, retomando seus conhecimentos e comparando com os demais colegas, contribuindo para o processo de tomada de consciência e consequentemente a melhora do pensamento cognitivo e aprendizagem.

De acordo com Quinn e Wilson (1997), como também Biazus (2021) a compreensão da leitura, apresenta um papel muito especial para a metacognição, pois nela o aluno é levado a refletir sobre os conhecimentos apresentados, como compreendem e o que devem fazer em seguida, o que lhes permitirão uma melhor reflexão sobre o que compreenderam ou sobre os erros que cometeram. Desta forma, “A metacognição na compreensão da leitura pressupõe ativos em oposição a aprendizagem passiva” (KOCH; ECKSTEIN, 1991; DIGISI; YORE, 1992; GARCIA-ARISTA; CAMPANARIO; OTERO, 1996; HENNESSEY, 2003 *apud* BIAZUS, 2021, p. 83).

Portanto, consideramos que o desenvolvimento da atividade de leitura, diálogos e estratégias de ensino tenha sido crucial para o desenvolvimento de habilidades metacognitivas, ainda que não possamos inferir sobre seus possíveis resultados. No entanto, fica evidente, que os benefícios e ganhos para os alunos são vários, entre eles, a consciência e controle do que sabe e se compreendeu com o texto e do que ainda precisa saber, além da aptidão para desenvolver novas estratégias, agir e expor suas ideias em grupo, gestão do tempo, no qual o ajuda a desprender esforços e a desenvolver outras atividades, melhora na compreensão, interpretação, escrita e leitura, além de fortalecer áreas já desenvolvidas e estruturadas, entre outras. E além de tudo, elimina a sensação de que aprender é para poucos, como diz Vergnaud, aprender está além de ser um direito de todos, mas deve ser visto como uma capacidade que todos têm e não apenas para alguns.

5.3 INVARIANTES OPERATÓRIOS MOBILIZADOS NA SEGUNDA APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO INICIAL

Após a aplicação das estratégias de ensino metacognitivas iniciadas nas aulas anteriores (Aula 02 e 03) ao qual utilizamos as ferramentas de leitura e diálogos para a construção conceitual das concepções do calor, iniciamos um processo de retomada das três concepções

através da utilização das quatro questões presentes no questionário inicial e por meio da abordagem de novas estratégias de ensino metacognitivas.

As questões foram trabalhadas individualmente aula por aula, iniciando a Aula 05 com a Questão 2 (Q1 - Q2) referente ao estudo do calor ao se analisar a variação de temperatura sofrida por dois corpos no interior de um sistema fechado e nas aulas seguintes após a compreensão do conceito de condutibilidade térmica dos materiais a Questão 1 (Aula 07 e 08), Questão 3 (Aula 08 e 09) e Questão 4 (Aula 09 e 10).

Buscamos com as questões e as estratégias de ensino utilizadas identificar os invariantes operatórios que haviam sido mobilizados, construídos ou reconstruídos pelos estudantes da segunda série do Ensino Médio, cujas análises de cada uma das questões voltaram-se apenas as explicações relacionadas ao entendimento do calor como c) o nome convencional de um processo.

5.3.1 Resultados

Para a análise dos invariantes operatórios referente a questão 2 (Quadro 28), que foi a primeira situação trabalhada através das estratégias de ensino metacognitivas, buscamos identificar por meio das regras de causalidade quais teoremas-em-ação foram formulados pelos estudantes e estão fazendo parte de seus esquemas junto aos conhecimentos já existentes e com qual concepção do calor de fato estão relacionadas, buscando inferir possíveis conceitos-em-ação. Assim como nas intervenções anteriores, analisamos apenas as respostas de 21 alunos que participaram de todas as aulas, estando alocados em grupos de 2 a 4 integrantes.

Quadro 28 – Segunda aplicação da questão 2 do questionário inicial com base nas estratégias de Ensino Metacognitivas

TRABALHO EM GRUPO 1	
ORIENTAÇÕES:	
1. Cada integrante do grupo deve ler em voz alta para os demais sua resposta para a questão 2 da atividade anterior (questionário 1) que foi entregue ao seu grupo. Após cada um ler a sua resposta tente ver com qual das definições do calor ela mais se aproxima.	
2. Agora respondam novamente à questão 2, com a contribuição de todos do grupo anotando suas conclusões.	

QUESTÃO 2: Dois recipientes A e B contendo mesma quantidade de água, mas a temperaturas diferentes, são posicionados sobre uma mesa conforme representados na imagem ao lado, é imediatamente colocado sobre eles uma caixa que os mantém isolados do meio externo.



Fonte: Martini, et al., 2016, p.18

a) Com o passar do tempo, o que acontecerá com a temperatura da água no recipiente A? E no recipiente B?

b) O que aconteceu entre os recipientes que ocasionou essa mudança na temperatura? Explique, detalhadamente, o seu raciocínio.

- Apresente uma resposta para a situação 2 ao qual contenha os aspectos da definição do **CALOR COMO UM FLUIDO**.
- Apresente uma resposta para a situação 2 ao qual contenha os aspectos da definição do **CALOR COMO UMA FORMA DE ENERGIA**:
- Apresente uma resposta para a situação 2 ao qual contenha os aspectos da definição do **CALOR COMO O NOME DE UM PROCESSO**:

Fonte: Elaborado pela autora.

O objetivo dessa questão e das estratégias utilizadas era fazer com que os alunos tomassem consciência das variáveis e características de cada uma das concepções do calor, distinguindo-as em suas explicações a fim de fortalecer seus esquemas para uma melhor construção conceitual do calor. Esperávamos que os alunos considerassem a vibração das moléculas e a interação entre os sistemas (ar e água) como ponto de partida para um primeiro avanço em seus esquemas. Os conceitos e os teoremas-em-ação mobilizados pelos estudantes encontram-se no Quadro 29.

Quadro 29 – Invariantes Operatórios mobilizados pelos alunos na segunda aplicação da Questão 2

Exemplos de justificativas	Teoremas-em-ação (inferidos)	Conceitos-em-ação (inferidos)	Outros alunos que apresentaram justificativas semelhantes
A temperatura irá variar uma da outra, como no corpo B está a 100°C a temperatura irá mudar para o corpo A, dividindo o aumento da energia de suas moléculas, forma de processo. (G1/G5/G8/G9/G10)	Se dois corpos de diferentes temperaturas são isolados do meio externo, então, com o tempo, o corpo com maior temperatura diminui a sua energia, se esfriando, e o de menor temperatura aumenta a sua energia, ficando mais quente.	Calor é uma grandeza física associada com a variação da energia e da temperatura dos corpos.	A5; A7; A10; A11; A13; A17; A18; A28; A29; A31; A23; A32; A36; A37; A38. (71%)

<i>Como as moléculas vibram de forma diferente, quando se interagem, ocorrem microtrabalhos, até que atinjam o equilíbrio térmico. (G3/G7)</i>	Se dois corpos de diferentes temperaturas são isolados do meio externo, então, com o tempo, por meio da interação entre as suas moléculas, ocorrerão microtrabalhos até que se atinja o equilíbrio térmico.	Calor é uma grandeza física associada com a interação entre as moléculas de corpos com diferentes temperaturas e com o conjunto de microtrabalhos que ocorrem nesta situação até que se atinja o equilíbrio térmico.	A2; A9; A20; A22; A30; A35. (29%)
--	---	--	--------------------------------------

Fonte: Elaborado pela autora.

As questões 1, 3 e 4, foram inseridas após a aula em que se desenvolveu a atividade investigativa experimental, de leitura e discussão dialogada sobre a condutibilidade térmica dos materiais, desta forma nosso intuito era levar os alunos a associarem o conceito de que as moléculas presente em cada material possui capacidades diferentes de se interagirem, assim, entre as que há maior interação molécula-molécula, chamamos de condutores e onde as moléculas interagem menos entre si, chamamos de maus-condutores, ou isolantes, com as expressões utilizadas na concepção de calor como o nome de um processo.

Na questão 1, apresentada no Quadro 30, buscamos identificar através das justificativas a compreensão do conceito de condutibilidade térmica dos materiais atrelada a cada uma das concepções do calor, além de, identificar por meio delas os invariantes operatórios construídos ao longo das estratégias de ensino que estão auxiliando a interpretação de cada fenômeno físico. A questão evidenciava o toque em diferentes pisos e as sensações de quente e frio provocadas, como questionamento os alunos deveriam explicar porque temos diferentes sensações se os pisos estão no mesmo ambiente.

Quadro 30 – Segunda aplicação da questão 1 do questionário inicial com base nas Estratégias de Ensino Metacognitivas

TRABALHO EM GRUPO 2	
ORIENTAÇÕES: 1. Cada integrante do grupo deve ler em voz alta para os demais sua resposta para a questão 1 da atividade anterior (questionário 1) que foi entregue ao seu grupo. Após cada um ler a sua resposta tente ver com qual das definições do calor ela mais se aproxima. 2. Agora respondam novamente à questão 1, com a contribuição de todos do grupo anotando suas conclusões.	
QUESTÃO 1: Certo dia você ao se levantar da cama para ir à escola, caminha descalço do quarto até o banheiro e, depois, de volta para o quarto. No caminho pisa sobre o tapete ao lado da cama, no piso de madeira do quarto e no piso de azulejo do banheiro. Ao pisar, percebe que o azulejo parece estar mais frio do que o piso de madeira e o tapete. Como isso pode acontecer se todos estão no mesmo ambiente?	

- C) Como você explicaria essa situação?
D) Como isso pode acontecer se todos estão no mesmo ambiente?
- Apresente uma resposta para a situação 1 ao qual contenha os aspectos da definição do **CALOR COMO UM FLUIDO**.
 - Apresente uma resposta para a situação 1 ao qual contenha os aspectos da definição do **CALOR COMO UMA FORMA DE ENERGIA**:
 - Apresente uma resposta para a situação 1 ao qual contenha os aspectos da definição do **CALOR COMO O NOME DE UM PROCESSO**:

Fonte: Elaborado pela autora.

No Quadro 31 apresentamos os teoremas-em-ação e conceitos-em-ação mobilizados durante as discussões em grupo e que puderam ser identificados em suas conclusões escritas:

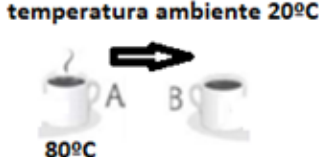
Quadro 31 – Invariantes Operatórios mobilizados pelos alunos na segunda aplicação da questão 1

Exemplos de justificativas	Teoremas-em-ação (inferidos)	Conceitos-em-ação (inferidos)	Outros alunos que apresentaram justificativas semelhantes
<i>Conforme pisamos no piso de azulejo o calor do nosso corpo passará ao piso, fazendo o calor do nosso corpo ficar menos intenso e já o piso de madeira ficará mais intensa, tendo a sensação do piso estar mais frio. (G7/G1/G8)</i>	Se tocarmos dois corpos de materiais diferentes que estão no mesmo ambiente e o corpo perder calor de forma mais rápida, então, sentiremos o material frio.	A condutibilidade térmica está associada a facilidade com que o calor é transferido entre corpos de diferentes materiais, assim quanto mais fácil e rápida for essa variação sentiremos o corpo frio e vice-versa.	A5; A7; A10; A23; A30; A31; A35; A36. (38%)
	Se tocarmos dois corpos de materiais diferentes que estão no mesmo ambiente e o corpo perder calor lentamente, então, sentiremos o material quente.		
<i>O piso de azulejo vai estar mais frio que o piso de madeira porque devido uma interação entre as moléculas do pé com o piso irá ocorrer o conjunto de microtrabalhos e variando a energia de forma mais rápida. (G9/G3/G5/G10)</i>	Se tocamos diferentes materiais a mesma temperatura, então, devido à interação entre as moléculas, ocorrerá a realização de microtrabalhos variando a temperatura e a energia de ambos os sistemas.	A condutibilidade térmica está associada a maneira com que as moléculas de corpos de diferentes materiais se interagem e com o conjunto de microtrabalhos que ocorrem nesta situação variando sua energia e temperatura.	A2; A9; A11; A13; A17; A18; A20; A22; A28; A29; A32; A37; A38. (62%)
	Se a variação de temperatura ocasionada pela interação entre as moléculas de corpos de materiais diferentes for mais rápida, então, mais fria é a sensação que se tem.	A sensação de frio sentida deve-se a variação de temperatura e energia interna de forma rápida e negativa entre nossa mão/pé e o objeto.	

Fonte: Elaborado pela autora.

Na questão 3 apresentada no Quadro 32, nosso objetivo foi identificar os invariantes operatórios mobilizados pelos estudantes ao explicar o porquê/causa do café se esfriar ao ser deixado na xícara. Para a análise verificamos como utilizam a compreensão do calor como o nome de um processo para explicar a situação, ao qual requer ainda a compreensão da condutibilidade térmica.

Quadro 32 – Segunda aplicação da questão 3 do questionário inicial com base nas Estratégias de Ensino Metacognitivas

TRABALHO EM GRUPO 3	
ORIENTAÇÕES: 1. Cada integrante do grupo deve ler em voz alta para os demais sua resposta para a questão 3 da atividade anterior (questionário 1) que foi entregue ao seu grupo. Após cada um ler a sua resposta tente ver com qual das definições do calor ela mais se aproxima. 2. Agora respondam novamente à questão 3, com a contribuição de todos do grupo anotando suas conclusões. QUESTÃO 3: Uma xícara de café quente (A), a 80°C, é colocada sobre uma mesa na cozinha de uma casa, em um dia em que a temperatura ambiente estava em 20°C. Com o passar do tempo o café fica frio (B). Conforme representado pela imagem abaixo:  temperatura ambiente 20°C 80°C Fonte: Adaptado de Grings, 2014, p.391 a) Em relação a essa situação, como você explicaria, detalhadamente, para um colega, como se deu a diminuição da temperatura do café? • Apresente uma resposta para a situação 3 ao qual contenha os aspectos da definição do CALOR COMO UM FLUIDO. • Apresente uma resposta para a situação 3 ao qual contenha os aspectos da definição do CALOR COMO UMA FORMA DE ENERGIA: • Apresente uma resposta para a situação 3 ao qual contenha os aspectos da definição do CALOR COMO O NOME DE UM PROCESSO:	

Fonte: Elaborado pela autora.

Esperávamos que conseguissem pensar nas interações entre os sistemas (café-xícara-ambiente) tendo como base a realização de microtrabalhos entre as moléculas como causa para a variação de temperatura, ao qual chamamos de calor. Buscamos então compreender como eles pensam e explicam o efeito da diminuição na temperatura do café após o aprofundamento das três concepções e das estratégias de ensino metacognitivas. No Quadro 33 apresentamos os resultados encontrados:

Quadro 33 – Invariantes Operatórios mobilizados pelos alunos, referente a segunda aplicação da questão 3

Exemplos de justificativas	Teoremas-em-ação (inferidos)	Conceitos-em-ação (inferidos)	Alunos que eram componentes dos grupos
<i>Acontece uma variação de energia do café para xícara e o ambiente. (G1)</i>	Se o café tem maior temperatura, então, ele transfere calor para a xícara e o ambiente variando a energia.	Calor é uma grandeza física associada com a variação da energia e da temperatura dos corpos.	A5; A7; A10; A23; (19%)
<i>Acontece microtrabalhos entre as moléculas do café e a xícara, ocorrendo variação de energia até que alcancem o equilíbrio térmico. (G3/G8/G7)</i>	Se dois corpos de diferentes materiais e temperaturas estão em contato, então, suas moléculas interagem realizando microtrabalhos e variando suas energias até o equilíbrio térmico.	Calor é uma grandeza física associada com a interação entre as moléculas de corpos de materiais diferentes e com diferentes temperaturas e com o conjunto de microtrabalhos que ocorrem nesta situação variando suas energias até que se atinja o equilíbrio térmico.	A2; A9; A20; A22; A30; A31; A35; A36; (38%)
<i>No caso o café quando está quente as moléculas ficam mais agitadas, ao entrar em interação com as moléculas do ambiente o café ficará mais frio, devido à perda de velocidade das moléculas contidas no café. (G5/G9/G10)</i>	Se as moléculas de dois corpos de diferentes temperaturas se interagem e realizam microtrabalhos então, a de maior temperatura diminui a agitação das moléculas e consequentemente sua temperatura.	Calor é uma grandeza física associada com a interação entre as moléculas de corpos com diferentes temperaturas e com o conjunto de microtrabalhos que ocorrem nesta situação variando suas energias e temperaturas.	A11; A13; A17; A18; A28; A29; A32; A37; A38. (43%)

Fonte: Elaborado pela autora.

Na questão 4 apresentada no Quadro 34, utilizamos da situação descrita em uma sala de aula onde se propunha a análise da justificativa levanta por um aluno ao tocar duas colheres de materiais diferentes deixadas sobre a mesa, a partir das respostas foi possível identificar os invariantes operatórios mobilizados a respeito da compreensão sobre a condutibilidade térmica dos materiais e a compreensão do calor como o nome de um processo.

Quadro 34 – Segunda aplicação da questão 4 do questionário inicial com base nas Estratégias de Ensino Metacognitivas

TRABALHO EM GRUPO 4
ORIENTAÇÕES: 1. Cada integrante do grupo deve ler em voz alta para os demais sua resposta para a questão 4 da atividade anterior (questionário 1) que foi entregue ao seu grupo. Após cada um ler a sua resposta tente ver com qual das definições do calor ela mais se aproxima. 2. Agora respondam novamente à questão 4, com a contribuição de todos do grupo anotando suas conclusões. QUESTÃO 4: Um professor, logo no início de sua aula, deixa duas colheres simples, uma de plástico e outra de alumínio, sobre a sua mesa, conforme representa a imagem abaixo:



Fonte: adaptada de iStock

Depois, já no final da aula, ele solicita que cada aluno toque com as mãos as duas colheres e responda se as duas estão na mesma temperatura ou em temperaturas diferentes. Todos os alunos responderam que a colher de alumínio estava em uma temperatura menor, pois, ao ser tocada com as mãos, aparentava estar mais fria.

a) Você concorda com essa explicação dos alunos? Por quê? Explique, detalhadamente, o seu raciocínio.

- Apresente uma resposta para a situação 4 ao qual contenha os aspectos da definição do **CALOR COMO UM FLUIDO**.
- Apresente uma resposta para a situação 4 ao qual contenha os aspectos da definição do **CALOR COMO UMA FORMA DE ENERGIA**:
- Apresente uma resposta para a situação 4 ao qual contenha os aspectos da definição do **CALOR COMO O NOME DE UM PROCESSO**:

Fonte: Elaborado pela autora.

Esperávamos que os alunos conseguissem estabelecer as semelhanças com a questão 1 discutida nas aulas anteriores, bem como associassem a sensação de frio devido às interações entre as moléculas dos dois sistemas (mão-colher, alumínio) que realizam microtrabalhos e provoca a variação de energia interna negativa reconhecida pelo cérebro como frio. No Quadro 35 apresentamos os invariantes operatórios identificados:

Quadro 35 – Invariantes Operatórios mobilizados pelos alunos, referente a segunda aplicação da questão 4

Exemplos de justificativas	Teoremas-em-ação (inferidos)	Conceitos-em-ação (inferidos)	Alunos que eram componentes dos grupos
<i>Tanto com a colher de alumínio quanto a colher de plástico acontecerá uma variação de energia e temperatura até ambas alcançarem o equilíbrio térmico, absorvendo o calor da sala (G3/G5/G8)</i>	Se dois corpos de diferentes materiais e temperaturas iguais estão em contato com o ambiente, então, absorvem calor variando suas temperaturas e energias até o equilíbrio térmico.	Calor é uma grandeza física associada com a variação da energia e da temperatura dos corpos.	A2; A9; A11; A13; A17; A18; A20; A22; A31; A36 (48%)
<i>Não. O que acontece é uma diminuição na energia de vibração das moléculas. Isso se explica, pois, as moléculas da mão ficam em contato com as moléculas da colher e realiza microtrabalhos que varia a energia e por isso sentimos ela mais fria (G1/G7/ G9).</i>	Se as moléculas da mão interagem com as moléculas da colher realizando microtrabalhos, então, temos a sensação de frio devido à variação de energia interna negativa na mão.	A sensação de frio sentida deve-se a variação de temperatura e energia interna de forma rápida e negativa entre nossa mão/pé e o objeto.	A5; A7; A10; A23; A29; A30; A32; A35 (38%)

<i>Não concordamos, porque para isso ocorrer, iria precisar de uma interação entre as duas colheres. Mas como as duas estão na mesma temperatura isso é impossível (G10)</i>	Se dois corpos de materiais diferentes possuem as mesmas temperaturas, então não há variação de temperatura e energia entre os sistemas.	A sensação de quente e frio só é sentida devido à variação de temperatura e energia de forma rápida ou lenta entre as moléculas de dois sistemas de diferentes temperaturas.	A28; A37; A38 (14%)
--	--	--	------------------------

Fonte: Elaborado pela autora.

5.3.2 Análise e discussão dos resultados

Após o desenvolvimento das estratégias de ensino metacognitivas orientadas para a questão 2 (Aula 05), percebemos que todos os alunos apresentaram evoluções em relação às respostas identificadas no questionário inicial, em que se evidenciava a compreensão de calor como um fluido, o que é um forte indício de que, aos poucos, a visão microscópica dos fenômenos térmicos estava sendo compreendida. A partir da análise das respostas podemos inferir dois teoremas-em-ação e dois conceitos-em-ação emergindo de suas justificativas.

A maioria dos alunos (15 alunos - 71%) demonstraram associação entre o movimento das partículas do corpo com a temperatura, rompendo com uma visão apenas macroscópica da situação, no entanto, ainda compreendem a variação de temperatura percebida entre dois sistemas devido a uma transferência de energia entre as moléculas que se interagem, ou seja, demonstram um processo de transição entre a concepção de calor como forma de energia e calor como o nome convencional de um processo, observadas pela intercepção das visões macroscópica do calor e a visão microscópica, como se verifica na resposta do grupo G10 - “A água que está no copo B vai evaporar mais rápido por que as moléculas vibram mais e passa calor para o copo A que está a temperatura menor, ou seja, a temperatura vai mudar”.

Nesta mesma análise incluem as respostas dos grupos G5 e G1 evidenciados abaixo. Entretanto, apesar de mencionarem a variação de energia e temperatura devido à transferência de energia entre as moléculas, ao apresentarem a noção de equilíbrio térmico associam apenas a temperatura iguais entre os corpos, ou seja, apenas a análise macroscópica.

Nos corpos A e B acontecerá uma variação de energia e temperatura até que ambas alcancem o equilíbrio térmico, fiquem na mesma temperatura. (G5)

O corpo A e B estão isolados em diferentes temperaturas, o corpo B irá diminuir a vibração de suas moléculas e o A aumentar até atingirem o equilíbrio térmico. (G1)

Desta forma, compreendemos que o seguinte teorema-em-ação parece organizar a compreensão física de calor desses alunos:

“Se dois corpos de diferentes temperaturas são isolados do meio externo, então, com o tempo, o corpo com maior temperatura diminui a sua energia, se esfriando, e o de menor temperatura aumenta a sua energia, ficando mais quente”.

Esta concepção de energia vai de encontro com algumas definições encontradas em livros de física e na própria literatura quando relatam que: “Quando dois sistemas macroscópicos, a diferentes temperaturas, são postos em interação térmica (exclusivamente), denomina-se calor a energia líquida que se transfere do sistema inicialmente a mais alta temperatura para o sistema inicialmente a mais baixa temperatura” (VAZQUEZ DIAZ, 1987 *apud* CINDRA; TEIXEIRA, 2004, p. 178), ou ainda, que “[...] A passagem do calor cessa ao ser atingido o equilíbrio térmico, isto é, quando as temperaturas se igualam [...]” (RAMALHO JUNIOR, FERRARO; SOARES, 2007, p. 47, grifo nosso).

Para a mesma questão, 6 alunos (29%) demonstram terem se apropriado da visão microscópica do calor ao reportarem ao movimento das moléculas de forma diferente em cada material e que devido à interação entre elas e a realização de microtrabalhos acarreta o equilíbrio térmico, explicação que vai de encontro a concepção do calor como o nome convencional de um processo, discutidas no capítulo 2 (DOMÉNECH, 2000; DOMÉNECH, *et al.*, 2003; GOMES, 2012; GARCIA HOUCARDE; RODRIGUES DE AVILA, 1985), ao qual podemos destacar o seguinte conceito-em-ação:

“Calor é uma grandeza física associada com a interação entre as moléculas de corpos com diferentes temperaturas e com o conjunto de microtrabalhos que ocorrem nesta situação até que se atinja o equilíbrio térmico”.

Para este conceito, constatamos entre as respostas dos dois grupos que a regra de causalidade utilizada pelos alunos para justificar o problema segue a compreensão de que “*Se dois corpos de diferentes temperaturas são isolados do meio externo, então, com o tempo, por meio da interação entre as suas moléculas, ocorrerão microtrabalhos até que se atinja o equilíbrio térmico*”. Um ganho bastante expressivo é de que todos os alunos conseguiram compreender que seja utilizando a concepção de calor como uma forma de energia, ou o nome convencional de um processo, a variação de temperatura não acontece apenas pelo contato físico entre os corpos, mas também a distância, diferente do teorema-em-ação encontrado nas

investigações de Grings, Caballero e Moreira (2006) de que só *“ocorre transferência de calor quando os corpos estão encostados”*(GRINGS; CABALLERO; MOREIRA, 2006, p. 469).

Após o desenvolvimento da estratégia de ensino abrimos um momento para apresentação e discussão das respostas levantadas pelos grupos, por meio dela foi possível comparar as concepções formuladas e verificar sua pertinência em relação a cada uma das três concepções do calor, em sequência de volta aos grupos foram orientados a reavaliarem suas respostas. Esse momento de retomada fez com que os alunos percebessem a falta de informações em algumas respostas e até mesmo o distanciamento delas com a concepção do calor como o nome convencional de um processo. Após esse momento o G9 apresentou a seguinte explicação: *“As temperaturas irão variar, devido à vibração de suas moléculas, como os corpos estão no recipiente aberto ocorrerá uma interação das moléculas com a água, com isso, ocorre uma variação de energia, fazendo diminuir a temperatura do corpo B e o aumento do A”*.

Na aplicação da primeira e quarta questão, os alunos deveriam retomar o conceito de condutibilidade dos materiais para que pudessem explicar a sensação de quente e frio ao tocar/pisar em superfícies ou objetos de materiais diferentes, associando a variação de energia interna negativa ocasionada pelo contato da mão/pé cuja temperatura é maior, com as moléculas do objeto. Vale ressaltar que a inserção dessas questões veio após um longo processo de leitura, estratégias de ensino e discussão sobre o conceito de condutibilidade térmica e a análise e inserção de explicações utilizando ao conceito as três concepções de calor.

Em relação à questão 1 inferimos quatro teoremas-em-ação e três conceitos-em-ação. Os grupos G1, G7 e G8 (38% dos alunos) apresentaram a ideia de calor como um fluido ao associarem a sensação de frio devido à transferência de calor do nosso corpo ao piso de azulejo que por ser um melhor condutor absorve mais rapidamente o calor fazendo com que o “calor do corpo” fique menos intenso. A essa concepção identificamos dois teoremas-em-ação que mostraram estar estruturando seus esquemas, sendo:

- **Se** tocarmos dois corpos de materiais diferentes que estão no mesmo ambiente e o corpo perder calor de forma mais rápida, **então**, sentimos o material frio.
- **Se** tocarmos dois corpos de materiais diferentes que estão no mesmo ambiente e o corpo perder calor lentamente, **então**, sentimos o material quente.

Revisando a literatura, nos deparamos com alguns excertos apresentados por Marcet (1817) a respeito da sensação de quente e frio dos materiais ao serem tocados:

Sentimos a lareira e a mesa mais frios que o tapete ou o livro porque esses últimos não são tão bons condutores de calor como os primeiros. Calórico encontra uma passagem mais fácil ao longo do mármore e da madeira do que ao longo do couro e da lã; os dois primeiros, portanto, absorvem o calor mais rapidamente de sua mão, e, conseqüentemente, dão-lhe uma forte sensação de frio do que os dois últimos, apesar de estarem todos eles realmente à mesma temperatura (MARCET, 1817, p. 71, tradução nossa).

Para a questão 4 muito semelhante a essa, os grupos G1, G5 e G8 (38% dos alunos) reportam uma variação de energia e temperatura como consequência da interação entre as moléculas do ar e das colheres, porém, recaem a compreensão de que esta variação de energia estaria relacionada a absorção de calor da sala pela colher de alumínio. O que nos faz compreender o seguinte teorema-em-ação: *“Se dois corpos de diferentes materiais e temperaturas iguais estão em contato com o ambiente, então, absorvem calor variando suas temperaturas e energias até o equilíbrio térmico”*.

Destes teoremas compreendemos o seguinte conceito-em-ação: “A condutibilidade térmica está associada a facilidade com que o calor é transferido entre corpos de diferentes materiais, assim, quanto mais fácil e rápida for essa variação sentiremos o corpo frio e vice-versa”. Nestas respostas observamos a presença de uma análise macroscópica da situação, onde os alunos fizeram referência a sensação de frio e quente devido apenas a perda de energia da mão para as superfícies.

Esta concepção, apesar de um pouco distante dos propósitos deste trabalho, revela uma evolução em relação às concepções apresentadas no questionário inicial e para a segunda aplicação da questão 2 (Q2) que requeria o mesmo conceito, como também pode ser encontrada na literatura, ensinada nos cursos de física, inclusive não muito distante das definições trazidas pelos autores de livro didáticos, ao qual apresentam a ideia de calor como energia, mais deixa indícios da teoria do calórico, ou seja, uma interpretação macroscópica da situação. Por exemplo, no livro de Máximo e Alvarenga (2000) temos a seguinte resposta para a questão 1:

Quando tocamos em uma peça de metal e em um pedaço de madeira, ambos em um mesmo ambiente, isto é, ambos à mesma temperatura, o metal nos dá a sensação de estar mais frio do que a madeira. Isto ocorre porque, sendo o metal um condutor térmico melhor do que a madeira, haverá uma maior transferência de calor de nossa mão para a peça metálica do que para o pedaço de madeira (MÁXIMO; ALVARENGA, 2000, p. 120, grifo nosso).

Assim como exposto, “os autores estabelecem uma ligação entre a “quantidade de calor que se tem na mão” e a sua temperatura. Quanto mais rápido se perde essa quantidade de calor, mais rápido a temperatura decresce” (GOMES, 2012, p.1065). Também podemos perceber que o conceito da condutibilidade térmica aliado a junção das concepções de calor não foi muito bem compreendido pelos grupos G1 e G8, que embora tenham manifestado uma evolução dos conceitos em relação à questão 1, ainda continuam com uma visão macroscópica dos fenômenos térmicos.

Retomando a análise da primeira questão, evidenciamos que treze alunos (62%) apresentaram concepções mais próximas da concepção do calor como o nome de um processo, ao associarem a vibração das moléculas, suas interações e a variação rápida de energia como condição para a sensação de frio, o que pode ser verificada nas conclusões de G10.

É a Condução térmica, acontece um conjunto de microtrabalhos quando pisamos no azulejo, na madeira e tapete, daí como o azulejo é condutor a variação de temperatura é mais intensa, por isso sentimos frio, será o processo de calor (G10).

A essas justificativas identificamos dois teoremas-em-ação: 1) Se tocamos diferentes materiais a mesma temperatura, então, devido à interação entre as moléculas, ocorrerá a realização de microtrabalhos variando a temperatura e a energia de ambos os sistemas. 2) Se a variação de temperatura ocasionada pela interação entre as moléculas de corpos de materiais diferentes for mais rápida, então, mais fria é a sensação que se tem.

Estes dois teoremas-em-ação nos permitiram inferir dois conceitos-em-ação:

- A condutibilidade térmica está associada a maneira com que as moléculas de corpos de diferentes materiais se interagem e com o conjunto de microtrabalhos que ocorrem nesta situação variando sua energia e temperatura.
- A sensação de frio sentida deve-se a variação de temperatura e energia interna de forma rápida e negativa entre nossa mão/pé e o objeto.

As respostas apresentadas vão de encontro as discussões presentes no trabalho de Doménech (2000), Garcia Houcarde e Rodrigues de Ávila (1985) e também nossas considerações e conclusões apresentadas após o desenvolvimento da atividade, ou seja:

Ao tocarmos qualquer material ocorrerá devido à diferença de temperatura entre nossa mão e o objeto, um conjunto de microtrabalhos, realizados pelas moléculas ao nível

microscópico, o que causará a mesma variação de energia interna em módulo, na mão e no objeto. No entanto, como inicialmente a mão está a uma temperatura maior, do que, por exemplo, o seu livro didático deixado sobre a sua mesa de estudos, ou a maçaneta da porta, a mão terá uma variação de energia interna negativa. Analisando cada material após o contato, e como as partículas de cada objeto possuem configurações e interações diferentes, a variação de energia interna será mais rápida em um objeto do que no outro. O nosso cérebro interpreta, por mecanismos ainda desconhecidos pela ciência, que, quanto mais rápido houver uma variação de energia interna negativa de nossa mão ao tocar um determinado objeto, mais fria é a sensação que se tem.

Vergnaud revela a partir de suas experiências que os adolescentes entre a faixa etária de treze a dezesseis anos, como também adultos, apresentam grande dificuldade em compreender as combinações de relações envolvendo grandezas positivas e negativas, o que compete com a concepção de que quando se perde alguma coisa e preciso subtrair. Assim temos que a adição é entendida como um incremento e a subtração como um decréscimo (VERGNAUD, 2003; VERGNAUD, 1990; GRINGS; CABALLERO; MOREIRA, 2006). Talvez essa seja um dos empecilhos para que os alunos consigam associar a concepção de calor como o nome de um processo a condutibilidade, ou seja em compreender essa variação de energia interna negativa.

Na questão 3 (Q3) ainda por meio das estratégias de ensino metacognitivas, foi abordado o conceito de calor analisado pela interação entre dois sistemas físicos, a interação com o ambiente em um sistema aberto e com a xícara onde o café estava exposto. Após realizarem a análise de suas respostas iniciais referente ao questionário inicial iniciaram-se as discussões para formulação de uma resposta para a questão tendo como base cada uma das concepções do calor. O grupo *G1* demonstra a partir de suas justificativas uma concepção estruturada na compreensão de calor como um fluido ao relatar que: “*Acontece uma variação de energia do café para xícara e o ambiente*”. Inferimos essa ideia, pois ao interpretar essa variação de energia que relatam do café para a xícara fica a ideia de que associação a uma transferência de energia entre o corpo de maior temperatura (café) para o de menor (ambiente e xícara), contudo, não apresentaram outra justificativa ou complemento para que pudéssemos inferir outros valores, ou não souberam expressar-se corretamente.

Assim, desta justificativa inferimos o seguinte teorema-em-ação: “Se o café tem maior temperatura, então, ele transfere calor para a xícara e o ambiente variando a energia”, e para o mesmo o conceito-em-ação de que o “Calor é uma grandeza física associada a transferência de

calor entre dois sistemas de diferentes temperaturas causando variação da energia e da temperatura dos corpos”.

Os grupos G3, G8 e G7 (8 alunos – 38%) manifestaram a justificativa de que o café se esfria na xícara, pois “Acontece microtrabalhos entre as moléculas do café e a xícara, ocorrendo variação de energia até que alcancem o equilíbrio térmico”. Ou seja, para os mesmos a interação molécula-molécula acontece apenas entre o café e a xícara devido o contato entre os dois sistemas, não considerando também a interação com o ambiente. Entretanto, estabelecem uma análise microscópica do fenômeno com aspectos que se configuram uma concepção de calor como o nome de um processo.

Nesta análise inferimos o teorema-em-ação que “Se dois corpos de diferentes materiais e temperaturas estão em contato, então, suas moléculas interagem realizando microtrabalhos e variando suas energias até o equilíbrio térmico”. Com base neste teorema compreendemos que os alunos associam o calor a “[...] uma grandeza física associada com a interação entre as moléculas de corpos de materiais diferentes e com diferentes temperaturas e com o conjunto de microtrabalhos que ocorrem nesta situação variando suas energias até que se atinja o equilíbrio térmico”.

Em todas as análises percebemos a incidência do conceito de equilíbrio térmico nas explicações dos alunos, porém sua incidência ao ser utilizado pelo aluno é apenas macroscópica, ou seja, em relação à igualdade entre as temperaturas de dois sistemas físicos, desta forma, Rozier e Viennot (1991) salientam com base em seus estudos, que o conceito de equilíbrio térmico também se configura como um dos conceitos mal compreendidos pelos estudantes, pois não entendem o significado do estado estacionário de um sistema a partir de uma análise ou ponto de vista microscópico, o que nos deixa um alerta para os conceitos a serem trabalhados para melhor auxiliar esse processo de construção do conceito de calor como o nome de um processo.

E como último teorema identificado, os grupos G5, G9 e G10 (9 alunos - 43%) analisam e justificam suas concepções tendo como base a interação entre o café e o ambiente, onde dela as moléculas de ambos os sistemas se interagem de modo que “[...] o café ficará mais frio, pela perda de velocidade das moléculas contidas no café”. Assim inferimos que para estes alunos “Se as moléculas de dois corpos de diferentes temperaturas se interagem e realizam microtrabalhos então, a de maior temperatura diminui a agitação das moléculas e

consequentemente sua temperatura”, e compreendemos o seguinte conceito-em-ação: “Calor é uma grandeza física associada com a interação entre as moléculas de corpos com diferentes temperaturas e com o conjunto de microtrabalhos que ocorrem nesta situação variando suas energias e temperaturas”.

Em relação à última estratégia desenvolvida, em que se pedia por que ao se considerar o "calor como o nome de um processo", não é correto utilizar os termos: - "[...] o pé transmitindo calor [...]"; - "[...] cedendo calor para o corpo A [...]"; - "[...] contato da temperatura das moléculas [...]"; - "[...] absorção de calor por parte da colher [...]"; - "[...] um corpo passa calor para o outro [...]"; - "[...] o piso de madeira absorve melhor o calor [...]"; - "[...] possui mais calor [...]"; - "[...] possui menor calor [...]". Podemos perceber que durante as atividades poucos grupos responderam, ao final, porém, a grande maioria conseguiu perceber que os conceitos não condizem com a análise microscópica da situação, relatando que:

Não é correto utilizar quando cede calor, quando absorve calor, possui mais calor, e possui menos calor. Pelo fato de que isso não ocorre no calor como o nome de um processo. Eu acho que o certo seria que o nosso pé transmite calor pelo fato de as moléculas estarem agitadas. E o piso de madeira absorve melhor o calor (G7 – Q1).

Porque no calor, como o nome de um processo, não ocorre transferência de energia, e sim um conjunto de microtrabalhos entre as moléculas. (G1 – Q2)

O termo transferir, ceder, absorver e passar calor está relacionado ao calor como energia e fluido, enquanto processo é uma variação entre as moléculas. (G1 – Q3)

Não é correto, porque no processo existe a vibração das moléculas e essas moléculas realizam um conjunto de microtrabalhos, fazendo com que a energia varie, até chegarem no equilíbrio térmico. (G9 -Q2)

Pois não é possível ser transmitido o calor de seu corpo para outro e sim as moléculas ficam em constante movimento e quando um corpo é menor tem mais facilidade de ela entrar dentro dele (G8 – Q4).

Porque o calor como o nome de um processo é associado a energia de vibração das moléculas devido à interação entre elas. (G3 – Q4)

Concluindo esta etapa de análises, acreditamos que as estratégias de ensino trabalhadas nesse segundo momento tenham contribuído para uma possível melhora e evolução dos conceitos de calor apresentados pelos estudantes, em que podemos destacar a abordagem de uma visão microscópica dos fenômenos térmicos relacionando a interação entre as moléculas que vibram no interior dos materiais e provocam o conjunto de microtrabalhos, fazendo variar suas temperaturas e energias.

Nesse aspecto, a Teoria dos Campos Conceituais se mostrou importante não somente para entendermos o campo conceitual de calor, mas mostrou-se um potente referencial teórico para a análise dos invariantes operatórios que estão estruturando as concepções e esquemas dos estudantes e podem estar servindo de obstáculo a uma aprendizagem de fato significativa.

Mas também estamos cientes de que ainda há muito o que se fazer, pois alguns alunos ainda possuem dificuldades em diferenciar as duas últimas concepções (energia e processo). Entretanto, compreendemos que o processo não é simples, ainda mais porque a tomada de consciência envolve sucessivos processos de percepção, avaliação, reflexão, pensamento, experiências, planejamento, monitoração e avaliação do conhecimento, ou seja, requer muito da ação do sujeito sobre suas próprias estruturas cognitivas, mas acreditamos que as intervenções aqui descritas e analisadas possa contribuir para uma tomada de consciência de cada concepção de calor, de modo que se apropriem e as utilize de modo consciente quando e onde precisarem.

5.4 INVARIANTES OPERATÓRIOS MOBILIZADOS NA TERCEIRA APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO INICIAL

Neste terceiro momento buscamos identificar os invariantes operatórios que ainda estão sendo utilizados pelos estudantes após o desenvolvimento das estratégias de ensino metacognitivas, dessa forma, aplicamos novamente as mesmas quatro questões do questionário inicial, no entanto, solicitamos que nesse momento respondem apenas com base na concepção de calor como o nome convencional de um processo.

Para facilitar o processo de análise e compreensão dos dados analisados iremos nos referir a cada questão com o código: Questão 1 (Q1) referente ao questionário final (QF) – (Q1 – QF).

5.4.1 Resultados

O questionário final foi novamente analisado com base nos 21 alunos que participaram regularmente das aulas. Da mesma forma que o questionário inicial, nesse momento solicitamos que respondessem individualmente cada uma das quatro questões apresentando uma justificativa para cada situação. A primeira questão abordada foi a questão 1 (Q1-QF), sobre a sensação de quente e frio sentida ao tocar diferentes materiais, apresentada no Quadro 18. Os

conceitos e os teoremas-em-ação mobilizados pelos estudantes estão dispostos no Quadro 36. Das 21 respostas analisadas, um aluno não respondeu.

Quadro 36 – Invariantes Operatórios mobilizados pelos alunos, referente a terceira aplicação da questão 1

Exemplos de justificativas	Teoremas-em-ação (inferidos)	Conceitos-em-ação (inferidos)	Outros alunos que apresentaram justificativas semelhantes
<i>Por que as moléculas de cada piso estão em agitação diferente do corpo, quando pisamos em qualquer um deles as moléculas realizam microtrabalhos mudando a temperatura, como o azulejo é um condutor a mudança de temperatura é mais rápida e por isso sentimos frio. (A13).</i>	Se tocarmos diferentes materiais de diferentes temperaturas, então, as moléculas de ambos os corpos realizam microtrabalhos variando a temperatura,	A interação entre as moléculas de dois corpos de diferentes temperaturas provoca a variação de temperatura devido o conjunto de microtrabalhos.	A2; A5; A11; A17; A20; A22; A28; A29; A30; A31; A32 (57%)
	Se o material é condutor, então a variação de temperatura entre os corpos será mais intensa e sentimos frio.	A sensação de frio sentida deve-se a variação de temperatura e energia interna de forma rápida e negativa entre nossa mão/pé e o objeto.	
<i>Como são materiais diferentes, absorvem calor de forma diferente também. Ao pisar nos pisos as moléculas da mão que vibram mais intensamente irão ceder essa energia que irá carregar outras moléculas do piso (A35)</i>	Se tocarmos dois corpos de diferentes materiais e temperaturas, então, as moléculas do corpo de maior temperatura, cedem energia as de menor temperatura deixando a sensação de frio.	Cada material conduz/absorve calor de forma diferente	A36; A37; A38 (19%)
		Calor é uma energia provocada pelo aumento da vibração das moléculas de um corpo que sendo transferido de um corpo a outro altera a temperatura e a vibração das moléculas.	
<i>Pelo material dos pisos, o azulejo é um condutor de calor maior do que o piso de madeira e o tapete (A23)</i>		Indefinido	A7; A10; A18; (19%)

Fonte: Elaborado pela autora.

A segunda questão analisada foi a questão 2 (QF-Q2) relacionada a mudança de temperatura de dois recipientes contendo mesmas quantidades de água a diferentes temperaturas no interior de um sistema fechado, apresentada no quadro 22. No Quadro 37 encontram-se os teoremas e conceitos-em-ação mobilizados pelos estudantes.

Quadro 37 – Invariantes Operatórios mobilizados pelos alunos na terceira aplicação da questão 2

Exemplos de justificativas	Teoremas-em-ação (inferidos)	Conceitos-em-ação (inferidos)	Outros alunos que apresentaram justificativas semelhantes
----------------------------	------------------------------	-------------------------------	---

<i>Se os dois corpos estão isolados do meio externo, então as moléculas do corpo A e B realizarão microtrabalhos, ou seja, as moléculas que estão lá dentro vão interagir, então depois de um certo tempo, vão chegar a uma certa temperatura igual, atingindo o equilíbrio térmico. (A5).</i>	Se dois corpos de diferentes temperaturas são isolados do meio externo, então, com o tempo, por meio da interação entre as suas moléculas, ocorrerão microtrabalhos até que se atinja o equilíbrio térmico.	Calor é uma grandeza física associada com a interação entre as moléculas de corpos com diferentes temperaturas e com o conjunto de microtrabalhos que ocorrem nesta situação até que se atinja o equilíbrio térmico.	A9; A13; A18; A20; A22; A23; A29; A31; A37 (48%)
<i>Os recipientes estão isolados no mesmo lugar, as moléculas do corpo B passará para o corpo A até que se mantenham em equilíbrio térmico. (A30)</i>	Se dois corpos de diferentes temperaturas são isolados do meio externo, então, com o tempo, o corpo com maior temperatura perde calor, se esfriando, e o de menor temperatura ganha calor, ficando mais quente.	Calor é uma substância contida nos objetos que pode ser cedida ou recebida, aumentando ou diminuindo a temperatura, respectivamente.	A32; A35; A38 (19%)
<i>As moléculas do corpo B estão mais agitadas do que a do corpo A, então vai haver uma transferência de energia do corpo B para o ar e depois para o corpo A, a temperatura do corpo B diminui pois, está transferindo energia para o corpo A, essa transferência ocorre até eles atingirem o equilíbrio térmico. (A28)</i>	Se dois corpos de diferentes temperaturas são isolados do meio externo, então, com o tempo, as moléculas do corpo de maior temperatura transferem energia diminuindo sua vibração e as moléculas do corpo de menor temperatura aumenta a vibração de suas moléculas.	Calor é uma energia provocada pelo aumento da vibração das moléculas de um corpo que sendo transferido de um corpo a outro altera a temperatura e a vibração das moléculas.	A11 (9%)
<i>Ocorrerá uma variação de temperatura no corpo B que tem maior vibração das moléculas e no corpo A, cuja variação das moléculas é mais lenta, mas ao fim atingem o equilíbrio térmico. (A17)</i>		Indefinido	A2; A7; A10; A36. (24%)

Fonte: Elaborado pela autora.

A terceira questão analisada foi a questão 3 (QF-Q3) relacionada a diminuição de temperatura do café deixado na xícara sobre a mesa, apresentada no Quadro 22. No quadro 38 apresentamos os resultados obtidos:

Quadro 38 – Invariantes Operatórios mobilizados pelos alunos na terceira aplicação da questão 3

Exemplos de justificativas	Teoremas-em-ação (inferidos)	Conceitos-em-ação (inferidos)	Outros alunos que apresentaram justificativas semelhantes
-----------------------------------	-------------------------------------	--------------------------------------	--

<i>Porque ocorre microtrabalhos causando variação de energia entre a temperatura do café e a temperatura do meio ambiente, porque a temperatura do ambiente está menor que a temperatura do café, consequentemente ocorre microtrabalhos entre o café e o ar do meio ambiente que está mais frio, assim alcançando o equilíbrio térmico. Acontece microtrabalhos também entre as moléculas da xícara, porque depois de um tempo a xícara fica quente também. (A22)</i>	Se há uma interação entre as moléculas de corpos de diferentes temperaturas, então, as moléculas realizam microtrabalhos variando a temperatura e a energia até o equilíbrio térmico.	Calor é uma grandeza física associada com a interação entre as moléculas de corpos com diferentes temperaturas e com o conjunto de microtrabalhos que ocorrem nesta situação até que se atinja o equilíbrio térmico.	A2; A5; A13; A17; A18; A20; A23; A28; A30; A37 (52,5%)
	Se o corpo possuir maior temperatura, então, a interação ocorre entre as moléculas do corpo de maior temperatura e o de menor.	Quanto maior a temperatura maior será a energia de vibração de suas moléculas	
		A interação ocorre entre o corpo de maior temperatura e o corpo de menor temperatura através da realização de microtrabalhos entre as moléculas.	
<i>Como a temperatura está fria a 20°C as moléculas de fora irão se encontrar com as moléculas do café a 80°C e o café irá ceder calor, onde sua temperatura irá abaixar entrando no equilíbrio térmico (A20)</i>	Se o corpo possuir menor temperatura, então, a interação ocorre entre as moléculas do corpo de menor temperatura e o de maior.	A interação entre as moléculas de dois corpos de diferentes temperaturas provoca a variação de temperatura.	A11; A29; A31; A35; A36 (28,5%)
	Se corpos de diferentes temperaturas se interagem, então, o de maior temperatura transfere calor para o de menor até o equilíbrio térmico.	Calor é a transferência de energia do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura.	
<i>A xícara de café entra em contato com a temperatura do ar e deu uma variação nos sistemas. (A10)</i>		Indefinido	A32; A37; A38 (19%)

Fonte: Elaborado pela autora.

A Questão 4 (QF-Q4) apresentada no Quadro 26, menciona a afirmação dada por um aluno de que ao tocar duas colheres, uma de alumínio e outra de plástico deixadas sobre a mesa de uma sala de aula, a de alumínio estava a uma temperatura menor, pois ao ser tocada aparentava mais fria. Os invariantes operatórios mobilizados nela em relação ao conceito de condutibilidade térmica dos materiais encontram-se disposto no Quadro 39:

Quadro 39 – Invariantes Operatórios mobilizados pelos alunos na terceira aplicação da questão 4

Exemplos de justificativas	Teoremas-em-ação (inferidos)	Conceitos-em-ação (inferidos)	Outros alunos que apresentaram justificativas semelhantes
----------------------------	------------------------------	-------------------------------	---

<i>Devido à condutividade térmica. O metal tem maior condutividade térmica que o plástico, assim quando eles entram em contato, a gente sente que o metal é mais frio que o plástico. Se tocarmos na mesa e no metal ele estará mais frio, essa sensação é porque ocorre microtrabalhos entre as moléculas da nossa mão e das colheres quando entra em contato, variando a temperatura, assim quando a gente sente frio ou quente, é porque nosso cérebro interpreta essa variação de forma diferente, mesmo estando com a mesma temperatura (A22)</i>	Se dois corpos de diferentes materiais e temperaturas estão em contato, então, suas moléculas interagem realizando microtrabalhos e variando suas energias.	Calor é uma grandeza física associada com a interação entre as moléculas de corpos de materiais diferentes e com diferentes temperaturas e com o conjunto de microtrabalhos que ocorrem nesta situação variando suas energias.	A2; A5; A10; A18; A28; A23; A29; A31; A37 (48%)
	Se as moléculas da mão interagem com as moléculas da colher realizando microtrabalhos e variando a energia dos sistemas, então, temos a sensação de quente e frio.	A sensação de frio sentida deve-se a variação de temperatura e energia interna de forma rápida e negativa entre nossa mão/pé e o objeto.	
<i>Porque o alumínio conduz melhor a temperatura, logo, quando ele entra em contato com a mão que suas moléculas estão mais agitadas ele ganha calor super rápido e já a de plástico demora a ganhar calor.(A13)</i>	Se tocarmos um material metálico, cujos corpos estão com diferentes temperaturas, então, as moléculas do corpo de maior temperatura perde calor deixando a sensação de frio e as de menor temperatura ganha calor.	Quanto maior a temperatura, maior a vibração das moléculas e maior a energia do sistema.	A11; A17; A20; A29; A30; A32; A35 (38%)
	Se a variação de temperatura ocasionada pela interação entre as moléculas de corpos de materiais diferentes for mais rápida, então, o corpo ganha calor.	Calor é a transferência de energia entre corpos de diferentes temperaturas.	
<i>Porque o alumínio é um melhor condutor térmico e por essa maneira que ele está com a temperatura menor do que a de plástico. (A23)</i>		Indefinido	A11; A38 (14%)

Fonte: Elaborado pela autora.

5.4.2 Análise e discussão dos resultados

Analizando os dados obtidos por cada aluno ao responderem novamente o questionário inicial, porém, agora buscando apresentar uma explicação para as questões com base na concepção de calor como o nome convencional de um processo, percebemos nas respostas apresentadas para a questão 1(Quadro 36) dois conjuntos de repostas, que nos levam a duas concepções do calor, o calor como uma forma de energia e o nome convencional de um

processo. Por exemplo, A22 cita que: *Tem a ver com a condutividade de cada superfície, por isso cada um tem uma sensação diferente, com essa condutividade, ocorre a variação de energia, devido os microtrabalhos entre nosso pé que está em contato com o piso.* Tanto A22 quanto os outros onze alunos (57% de alunos) demonstram uma compreensão mais aprofundada da concepção de calor como o nome de um processo, pois, em suas falas, destacam a variação de energia e temperatura de dois corpos após o contato, tendo como regra de causa e efeito a interação entre duas superfícies de diferentes materiais que realizam microtrabalhos, ou seja, fazem uma análise microscópica sobre o fenômeno.

Destas respostas inferimos dois conceitos-em-ação: 1) A interação entre as moléculas de dois corpos de diferentes temperaturas provoca a variação de temperatura devido o conjunto de microtrabalhos; 2) A sensação de frio sentida deve-se a variação de temperatura e energia interna de forma rápida e negativa entre nossa mão/pé e o objeto.

Ouros 19% também apresentam em suas respostas uma visão onde se analisa o comportamento das moléculas no interior dos objetos (microscópica), no entanto, considera-se uma visão ainda em construção, possuindo aspectos da compreensão de calor como uma forma de energia: *Como são materiais diferentes, absorvem calor de forma diferente também. Ao pisar nos pisos, as moléculas da mão que vibram mais intensamente irão ceder essa energia que irá carregar outras moléculas do piso* (A35). Contudo, é importante ressaltar que em comparação a mesma questão 1 respondida na aplicação do questionário inicial é possível perceber uma evolução entre os conceitos utilizados. Neste momento após a aplicação das estratégias de ensino, percebemos que os alunos conseguiram compreender, classificar cada uma das concepções do calor e, inclusive, elaborar respostas envolvendo a análise microscópica, cujo conceito-em-ação evidenciado foi de que “*Cada material conduz/absorve calor de forma diferente*” e que “*Quanto maior a temperatura, maior a vibração das moléculas e maior a energia do sistema*”.

Em relação às respostas apresentadas para a questão 2 (Quadro 37), temos que 48% (10 alunos) apresentaram em suas explicações a mobilização de invariantes operatórios relacionados com a compreensão do calor como o nome convencional de um processo. Nas explicações cujos invariantes operatórios não puderam ser determinados, 24% (5 alunos), o termo “vibração das moléculas” aparece, o que remete a uma tentativa de compreensão microscópica do fenômeno, porém não há nenhuma informação quanto à causalidade do processo, já em 9% (2 alunos) é possível perceber uma compreensão microscópica do fenômeno

apesar de ainda apresentarem os termos “transferir calor” e remeter-se a diminuição de temperatura devido a essa transferência. Mesmo assim, em relação às concepções iniciais, estas respostas indicam que as atividades potencializaram novas apropriações conceituais por meio de teoremas e conceitos-em-ação, enriquecendo o campo conceitual do calor e que mais tarde possibilitarão a apropriação da compreensão de calor como o nome convencional de um processo.

No entanto, 19% (4 alunos) voltaram a utilizar os invariantes operatórios relacionados com a compreensão do calor como um fluido. Vergnaud (1996) assim com outros autores tendo como base os resultados de trabalhos presentes na literatura, como o de Grings, Caballero e Moreira (2006, p. 464), por exemplo, reforçam que o processo de “construção do conhecimento não é um processo linear, ao contrário, apresenta avanços e retrocessos, continuidades e rupturas”, isso, pois, “os conceitos não se desenvolvem sós, mas adquirem significados através das relações que estabelecem com outros conceitos” (NOVAK; GOWIN *apud* GRINGS; CABALLERO; MOREIRA, 2006, p. 464), deste modo, as concepções prévias são determinantes no desenvolvimento e domínio de um campo conceitual, entretanto, esse domínio não acontece com apenas uma aula, uma atividade, ou alguns meses, mas em alguns anos, ao longo dos anos e mediante a um conjunto de situações (PALMERO; MOREIRA, 2004; GRINGS; CABALLERO; MOREIRA, 2006).

Em relação às respostas apresentadas no Quadro 38 para a terceira Questão, também percebemos dois conjuntos de respostas, uma em que expressam a compreensão de calor como o nome convencional de um processo e outra de calor como uma forma de energia. Em relação à concepção de calor como o nome de um processo, 52,5% dos alunos (11 alunos) demonstram ter compreendido as principais características dessa concepção, conseguindo distingui-la das demais, quando ressalta que: *Porque ocorre microtrabalhos causando variação de energia entre a temperatura do café e a temperatura do meio ambiente, porque a temperatura do ambiente está menor que a temperatura do café, consequentemente ocorre microtrabalhos entre o café e o ar do meio ambiente que está mais frio, assim alcançando o equilíbrio térmico. Acontece microtrabalhos também entre as moléculas da xícara, porque depois de um tempo a xícara fica quente também.* (A22).

Nesse sentido, dois teoremas-em-ação foram evidenciados: 1) Se o corpo possuir maior temperatura, então, a interação ocorre entre as moléculas do corpo de maior temperatura e o de menor; e 2) Se há uma interação entre as moléculas de corpos de diferentes temperaturas, então,

as moléculas realizam microtrabalhos variando a temperatura e a energia até o equilíbrio térmico. O primeiro teorema nos deixa uma inquietação em relação à compreensão da aluna, se compreende que a interação é mútua entre os dois sistemas ou se nesse aspecto ainda confunde com a concepção de calor como forma de energia, onde ocorre transferência de energia do corpo de maior temperatura para o de menor.

Na sequência, 28,5% (6 alunos) mencionam uma análise microscópica da situação, no entanto, ainda estão guiados pela concepção de calor como forma de energia, ao citarem a transferência de calor do corpo de maior temperatura ao de menor: *Como a temperatura está fria a 20°C as moléculas de fora irão se encontrar com as moléculas do café a 80°C e o café irá ceder calor, onde sua temperatura irá abaixar entrando no equilíbrio térmico* (A20). Pelas respostas inferimos dois conceitos em ação: 1) *A interação entre as moléculas de dois corpos de diferentes temperaturas provoca a variação de temperatura; e 2) Calor é a transferência de energia do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura.* Das respostas apresentadas, 4 alunos (19%) manifestaram uma compreensão parcial do fenômeno em relação à concepção do calor como o nome convencional de um processo, nela citam em alguns momentos que ocorrerá uma variação de energia, porém, sem apresentar a causa, ou ainda, relatam a interação entre o café e o ar sem aprofundar suas explicações, por esse motivo classificamos como indefinido, pois não conseguimos compreender se analisam o fenômeno em relação aos microtrabalhos desenvolvidos pelas moléculas (análise microscópica) ou em relação à transferência de calor entre as moléculas (análise macro e microscópica).

Na análise da questão 4 cujas respostas se encontram no Quadro 39, também destacamos a presença das duas concepções do calor: calor como uma forma de energia e como o nome convencional de um processo. Através das respostas percebemos que os alunos conseguiram primeiramente compreender o conceito de condutibilidade térmica dos materiais, pois, em todas as respostas se reportam a ele, entretanto, as causas para a sensação de frio sentida ao tocar a colher de alumínio são mencionadas por meio de análises diferentes, por exemplo, 8 alunos (38%) apesar de apresentarem noções de que acontece uma interação entre as moléculas e que devido a elas, aconteça a variação de temperatura, destacam a transferência de energia entre os corpos de diferentes temperaturas, referente a compreensão de calor como uma forma de energia.

Já 48% (10 alunos) manifestam terem compreendido dois teoremas importantes sobre a concepção de calor como o nome convencional de um processo: 1) *Se dois corpos de diferentes*

materiais e temperaturas estão em contato, então, suas moléculas interagem realizando microtrabalhos e variando suas energias; e 2) Se as moléculas da mão interagem com as moléculas da colher realizando microtrabalhos e variando a energia dos sistemas, então, temos a sensação de quente e frio. Em relação a esses teoremas, alguns alunos mencionaram ainda que essa sensação está relacionada a uma interpretação realizada pelo cérebro de forma diferente.

Assim como já mencionamos, segundo Vergnaud (2003), os alunos apresentam grande dificuldade em compreender as combinações de relações envolvendo grandezas positivas e negativas, dessa forma, a compreensão de que o nosso cérebro interpreta por mecanismos ainda desconhecidos pela ciência, que, quanto mais rápido houver uma variação de energia interna negativa de nossa mão ao tocar um determinado objeto, mais fria é a sensação que se tem, pode levar um tempo ou ainda necessitar de um conjunto muito maior de situações.

Dessas respostas, três alunos (14%) ainda manifestam dificuldades em explicitarem seu conhecimento ou ainda em compreender a concepção de calor como o nome convencional de um processo e diferenciá-la das demais. Em relação às respostas que não puderam ser analisadas com maior profundidade por não serem explícitas, Moreira (2002) nos alerta em relação à importância do professor nesse processo de mediação, haja visto que é através do processo de explicitação do conhecimento implícito, que os teoremas-em-ação e os conceitos-em-ação podem se tornar verdadeiros teoremas e conceitos científicos, ou seja, uma explicação tida como verdadeira pelo aluno que é verbalizada pode ser debatida pelo professor, pelos colegas podendo tornar-se verdadeiros teoremas, entretanto, uma proposição tida como verdadeira de maneira totalmente implícita, não.

Logo, com os resultados apresentados ao longo desse processo de análise, foi possível perceber uma consequente evolução conceitual entre as respostas dos alunos se comparada as respostas referente a primeira aplicação do questionário inicial, nesse momento eles manifestam uma compreensão microscópica do fenômeno apesar de ainda apresentarem os termos “transferir calor” e remeter-se a diminuição de temperatura devido a essa transferência. Mesmo assim, em relação às concepções iniciais, estas respostas indicam que as atividades potencializaram novas apropriações conceituais por meio de teoremas e conceitos-em-ação, enriquecendo o campo conceitual do calor e que mais tarde possibilitarão a apropriação da compreensão de calor como o nome convencional de um processo.

Também é importante reavaliar todo o processo de construção considerando o envolvimento, diálogos e reflexões desses estudantes ao longo das atividades, no qual utilizamos das estratégias de ensino metacognitivas, uma vez que a identificação dos invariantes operatórios não é algo simples, por isso é necessário analisar um conjunto muito mais amplo de situações da mesma classe (GRINGS; CABALLERO; MOREIRA, 2006).

Dessa maneira, ao analisarmos alguns diálogos durante as atividades em grupo por meio dos áudios, por exemplo, A32 apresentava bastante dificuldade de interação e expor sua opinião, assim como os demais estudantes do grupo, ao longo das atividades foi possível notar um diálogo mais extenso, exemplos do cotidiano, além de um maior vocabulário conceitual sobre o calor. Ao ser questionada porque não se utiliza os termos “perder calor” “ceder calor” ao se referir ao calor como o nome convencional de um processo, A32 menciona aos integrantes do grupo que “no processo existe a vibração das moléculas”, e complementa junto a resposta de A29 que “as moléculas interagem e realizam um conjunto de microtrabalho”, em resposta a outra questão aparece a interpretação de que ocorre uma interação entre as moléculas, no entanto, ainda utiliza o termo “absorve mais a temperatura”. Isso mostra que, ao mesmo tempo, em que se constrói novos conceitos e enriquece seu campo conceitual, possui dificuldade em organizar os conhecimentos já existentes e classificá-los em concepções diferentes.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao término de nossa escrita, não temos a pretensão de apresentar resoluções definitivas, fechar questões. Contudo, há algumas reflexões que a pesquisa nos proporcionou que gostaríamos de compartilhar.

Com relação à resposta ao problema de pesquisa, que norteou nosso trabalho e o objetivo esperado por este estudo (apresentar por meio de alguns invariantes operatórios mobilizados pelos alunos da segunda série do Ensino Médio as contribuições originadas pela aplicação de Estratégias de Ensino Metacognitivas), podemos elencar quatro contribuições que se destacaram na utilização das estratégias de ensino metacognitivas para trabalhar com os invariantes operatórios sobre o conceito de calor, de alunos da segunda série do Ensino Médio, a saber: 1) possibilitar a tomada de consciência de cada aluno sobre qual era a sua compreensão do conceito de calor; 2) possibilitar que cada aluno verificasse sobre quais aspectos a sua concepção se diferenciava dos demais colegas; da professora e das outras formas de compreender o calor, que foram apresentadas; 3) dar oportunidade para cada aluno verificar o que precisava ser modificado na sua concepção para conseguir analisar determinado fenômeno térmico e expressar o que estava acontecendo de outras formas; 4) criar condições para cada aluno ter ciência de seus principais equívocos e obstáculos quando era solicitado a analisar determinado fenômeno térmico de acordo com determinada compreensão do calor.

Não foi o nosso objetivo realizar uma análise pormenorizada e sistemática dos três principais componentes da metacognição (conhecimentos metacognitivos; controle executivo e autorregulador; autopoiese), mas, pelas atividades executadas e pelos resultados encontrados, podemos dizer que as estratégias de ensino metacognitivas empregadas potencializaram o uso desses componentes pelo aluno auxiliando-o a enriquecer (ampliar) o seu campo conceitual do calor.

Nesse sentido, reitera-se que ambas as teorias (Metacognição e Teoria dos Campos Conceituais) complementam-se no sentido de que buscam a tomada de consciência como fator principal para a ativação tanto dos conhecimentos prévios, esquemas, invariantes operatórios, das estruturas cognitivas, quanto dos componentes metacognitivos (conhecimento do conhecimento, controle executivo e autorregulador, e autopoiese), ou seja, a metacognição, tem a função de conscientizar o aluno sobre seus conhecimentos e competências, ou que precisam ser adquiridas, da qual podem ser desenvolvidas por meio de estratégias de ensino ou

aprendizagem, fornecidas mediante guias orientativos durante o desenvolvimento das atividades ou através do diálogo pelo professor. Assim, uma vez conscientes de seus conhecimentos e estratégias metacognitivas, o estudante terá maior facilidade em atuar sobre as situações dispostas em seu contexto escolar, sobretudo em aulas de física, melhorando aspectos como a compreensão e interpretação de significados, além da verbalização de seus esquemas e invariantes operatórios, do qual foi nosso interesse nessa pesquisa.

Desta forma, compreendemos que o processo de ensino-aprendizagem vai além da simples utilização de práticas pedagógicas e teorias de ensino, cujos conceitos e estratégias estão explícitos e formalizados, mas da intervenção de práticas onde os processos de aprendizagem recorram às estruturas cognitivas para que os conhecimentos implícitos possam tornar-se conscientes e verbalizáveis, sendo que só assim teremos condições de “localizar e estudar continuidades e rupturas entre conhecimentos do ponto de vista de seu conteúdo conceitual” (VERGNAUD, 1990, p. 133), e consequentemente possibilitar aos estudantes condições para evoluírem e ainda para poderem de forma autônoma buscar sua melhor forma de aprender.

Portanto, o desenvolvimento tanto da metacognição quanto da TCC depende desses intercâmbios, entre a tomada de consciência e a verbalização em cada situação, para ocorrer a ligação entre os aspectos afetivos e metacognitivos e entre eles e a evocação dos invariantes operatórios, pois, [...] se me dou conta de que tenho mais dificuldade para aprender A do que B; se compreendo que devo verificar C antes de aceitá-lo como verdade (fato); [...] se eu estiver consciente de que não estou seguro que o experimentador realmente quer que eu faça [...]; (FLAVELL, 1976, p. 232), entre outras séries de tomada de consciência, o aluno poderá recorrer a estas estratégias em qualquer contexto e estendê-la para qualquer tipo de transação cognitiva, melhorando sua compreensão, interação e ação, seja no ambiente escolar como na vida cotidiana.

Ou seja, a atividade de tomada de consciência enriquece os conhecimentos metacognitivos e influenciam os processos cognitivos que serão postos em ação em uma situação semelhante ou em uma nova situação (LAFORTUNE; SAINT-PIERRE, 1996), da mesma forma, as emoções podem influenciar os processos metacognitivos, pois abrangem desde aspectos comportamentais sejam eles positivos ou negativos, às operações conscientes ou inconscientes, e inclusive semanticamente equivaler a outras expressões, “como a afetividade, a inteligência interpessoal, a inteligência emocional; a cognição social; a

motivação, a conotação, o temperamento e a personalidade do indivíduo” (FONSECA, 2016, p. 366).

Uma das principais dificuldades surgidas para se ensinar o conceito de calor no Ensino Médio foi em encontrar exemplos de situações, no cotidiano e nos livros didáticos, para as quais poderíamos realizar análises que contemplassem a compreensão do calor como o nome convencional de um processo. Desse modo, a alternativa que encontramos foi aproveitar as situações que alguns fenômenos térmicos já são apresentados tradicionalmente, mostrando aos alunos como compreendê-los de três diferentes formas.

Acreditamos que as situações no qual os estudantes foram levados a resolver, possibilitaram a evocação de seus conhecimentos prévios e esquemas, levando-os a descobrir relações, objetivos, explorar o conceito, levantar hipótese e a verificar, buscando chegar a uma solução. Entretanto, é preciso darmos atenção aos aspectos conceituais dos esquemas e à análise conceitual das situações, dais quais devem ser elaboradas indo além da ativação dos esquemas disponíveis, mas, sobretudo, de modo a levá-los a desestabilização, reconstrução, e acomodação, algo que não surge apenas com uma situação, mas um conjunto de situações familiares e novas (variedade), que requerem experiência, representações e maturidade.

Deste modo, compreendemos que seja preciso um conjunto muito mais amplo de situações para ser possível definir uma regularidade nas respostas dos alunos e se obter afirmações mais conclusivas (GRINGS; CABALLERO; MOREIRA, 2006), na esperança de uma mudança conceitual, no entanto, podemos destacar como pesquisadora e também professora que alcançamos uma evolução conceitual, mas, muito além da evolução dos invariantes operatórios analisados no questionário final, os áudios nos permitiram identificar uma evolução no processo de construção do conhecimento, a partir da interação e envolvimento dos alunos nas atividades e durante o trabalho em grupo (fator marcante após o período pandêmico), por meio de diálogos mais extensos, criticidade e levantamento de hipóteses, do desenvolvimento e utilização de estratégias de aprendizagem cognitiva e metacognitiva, da autonomia para construir o conhecimento, além da tomada de consciência de suas concepções e da concepção mais aceita cientificamente.

Sendo assim, acreditamos ter iniciado com os alunos, por meio das estratégias de ensino metacognitivas, a construção de novos invariantes operatórios necessários para a compreensão dos processos microscópicos envolvidos nos fenômenos físicos associados com o calor, isso

pois, sendo a epistemologia da física diferente da epistemologia da matemática, fica a dúvida sobre a possibilidade de se completar a classificação de todas as situações possíveis para a eficaz compreensão de um campo conceitual na Física, assim como “[...] a possibilidade de se encerrar, de modo definitivo, quaisquer campos conceituais [...]” (CARVALHO, 2022, p.107).

Sobre o ensino desse conceito, concordamos com Zemansky (1970), quando ele afirma que a análise dos fenômenos térmicos, sem citar os conceitos de energia interna, interação e trabalho, por serem considerados difíceis de serem explicados, é incompleta e não contribui para uma compreensão científica adequada dos mesmos. Seguindo o mesmo raciocínio do autor, uma das sugestões para se pensar em trabalhos futuros sobre o estudo da termodinâmica, é dar mais ênfase aos conceitos de energia interna, calor, trabalho e também equilíbrio térmico, focando a atenção dos alunos às análises moleculares, dando atenção principal inicialmente ao conceito de energia e na sequência temperatura, trabalho e calor.

Portanto, esperamos ter fornecido novos elementos para contribuir com as pesquisas que tenham a temática do calor como seu objeto de estudo, acreditando que estes ensaios possam possibilitar uma transição mais adequada e frutífera entre a Física do cotidiano e os conhecimentos térmicos científicos a qual se insere a Física térmica elementar. Principalmente com os estudos desta temática e às relacionadas com a metacognição e a Teoria dos Campos Conceituais.

Referências:

AMARAL, E. M. R. do.; 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, 2001. Disponível em: <<https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4154>>. Acesso em: 26 mai. 2022.

ARAÚJO, A.O. de. **O perfil conceitual de calor e sua utilização por comunidades situadas**. 2014. 223f. Tese (Doutorado) - Educação: conhecimento e inclusão social em educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Educação, Belo Horizonte, 2014.

ARAÚJO, A.T. de. **Conceitos de calor e temperatura sob a ótica do momento pedagógico de problematização inicial**. 2015. 212f. Dissertação (Mestrado) - Pós-graduação em química, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015.

ARAÚJO, I.S.; MAZUR, E. Instrução pelos colegas e ensino sob medida: uma proposta para o engajamento dos alunos no processo de ensino-aprendizagem de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 30 n. 2, 2013. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2013v30n2p362>>. Acesso em: 08 jan. 2023.

BALDINATO, J. O. **A química segundo Michael Faraday: um caso de divulgação científica no século XIX**. 2009. 139 f. Dissertação (Mestrado Interunidades em Ensino de Ciências) - Instituto de Física, Instituto de Química, Instituto de Biociências, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

BALDOW, R.; MONTEIRO JUNIOR, F. N. Os Livros Didáticos de Física e Suas Omissões e Distorções na História do Desenvolvimento da Termodinâmica. **ALEXANDRIA Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 3, n. 1, p. 3-19, 2010.

BASSALO, J. M. A crônica do calor: Termometria. **Revista de Ensino de Física**, v. 13, p.135-161, 1991.

BASSALO, J. M. **A crônica do calor**. In: BASSALO, J. M. Crônicas da Física: tomo 3. Belém: Universitária UFPA, 1992. p. 849-933.

BARNETT, M. K. The development of the concept of heat I. **The Scientific Monthly**, New York, v. 62, n. 2, 1946. p. 165-172.

_____. The development of thermometry and the temperature concept. **Osiris**, New York, v. 12, p. 269-341, 1956.

BARROS, J. A. R. B. *et al.* As teorias de Guy Brousseau e Gerard Vergnaud como auxílio em uma intervenção matemática. In: IV Colóquio Internacional Educação e Contemporaneidade, 2010. Disponível em: <http://www.univasf.edu.br/~ana.queiroz/html/vergnaud.html>>. Acesso em: 15 set., 2022.

BARAIS, A.W.; VERGNAUD, G. **Students' conceptions in physics and mathematics: biases and helps**. In Caverni, J.P., Fabre, J.M. and Gonzalez, M. (Eds.). Cognitive biases. North Holland: Elsevier Science Publishers. pp. 69-84, 1990.

BELLINI, M. Epistemologia da biologia: para se pensar a iniciação ao ensino das ciências biológicas. **Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos**, Brasília, v. 8, n. 218, 2007.

BELLUCCI JÚNIOR, J. A.; MATSUDA, L. M. Construção e validação de instrumento para avaliação do Acolhimento com Classificação de Risco. **Rev Bras Enferm**, Brasília, v. 65, n. 5, p. 751-757, 2012.

BOGDAN, R.; BIKLEN, S., **Investigação Qualitativa em Educação – uma introdução à teoria e aos métodos**. Porto: Porto Editora. 1994.

BONI, K. T.; LABURÚ, C. E. Conceitualização e metacognição em Ciências e matemática: pressupostos teóricos de um instrumento analítico. **Revista de Educação em Ciências e Matemática, Amazonia**, Edição Especial Metacognição, v.14 (29), 2018. p.177-192.

BORUCHOVITCH, E. Estratégias de aprendizagem e desempenho escolar: considerações para a prática educacional. **Psicologia Reflexão e Crítica**, v.12, n.2, 1999.

BRASIL. Ministério da Educação. **PCN + Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Ciência da Natureza, Matemática e suas tecnologias**. Ministério da Educação/Secretaria da Educação Média e Tecnológica. Brasília: MEC, 2002. Disponível em:<http://www.sbfisica.org.br/arquivos/PCN_FIS.pdf>. Acesso em: 17 de jan. 2021

BRASIL, **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+)**. Ciências da Natureza e Matemática e suas tecnologias. Brasília: MEC, 2006.

BRASIL, Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Ensino Médio. Homologada pela Portaria nº 1.570, publicada no D.O.U. de 21/12/2018, 2018. Disponível em:https://abmes.org.br/arquivos/documentos/BNCC_EnsinoMedio_embaixa_site.pdf. Acesso em: 23 jan. 2020.

BIAZUS, M.de O. **Estratégias Metacognitivas no Ensino de Física: análise de uma intervenção didática no Ensino Médio**. 2021. 277f. Tese (doutorado em Educação – Universidade de Passo Fundo), Passo Fundo, 2021. Disponível em:<<http://tede.upf.br/jspui/handle/tede/2223>>.

BECKER, F. O que é construtivismo? In: ALVES, M. L.; DURAN, M. C. G.; BORJA, A. de; TOLEDO, C. de; MATTOS, M. G. (Org.). **Idéias: Construtivismo em revista**. São Paulo, SP: FDE, 1993, p. 87-93.

BROWN, S. The caloric theory of heat. **American Journal of Physics**, College Park, v. 19, p. 367-373, 1951.

BROWN, A. L. **Theories of memory and the problems of development: activity, growth and knowledge**. 1977.

_____. Knowing when, where, and how to remember: a problem of metacognition. In: GLASER, Robert (Ed.). **Advances in instructional psychology**. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, v. 1., 1978. p. 77-165.

_____. **Metacognition, executive control, self-regulation, and other more mysterious mechanisms**. In: WEINERT, Franz E.; KLUWE, Rainer H. (Eds.). **Metacognition, motivation and understanding**. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 1987. p. 65-116.

- CABALLERO, M. C. **La progresividad del aprendizaje significativo de conceptos**. Textos de Apoio do Programa Internacional de Doutorado em Ensino de Ciências da Universidade de Burgos/UFRGS, 5, p.137-154, 2003.
- CARDWELL, D. S. L. **James Joule: a biography**. Manchester: Manchester University Press, 1989.
- CARMO, L. A. C. **Perspectivas Históricas e Experimentais no Desenvolvimento da Equivalência Calor-Energia**. 1999. Dissertação (Mestrado em Ensino das Ciências) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2000.
- CARVALHO, B. C. de. **Análise Histórica do conceito de calor nos trabalhos de Joule e a transposição didática do equivalente mecânico do calor nos livros didáticos de Física**. 2016. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2016.
- CARVALHO, B. C. de. **Um estudo dos Invariantes operatórios mobilizados por estudantes da terceira série do Ensino Médio sobre a dualidade Onda-Partícula**. 2022. 187f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2022.
- CARRASCOSA, J.; GIL, D. Concepciones alternativas en mecánica. Dinámica: Las fuerzas como causa del movimiento. Selección de cuestiones elaboradas para su detección y tratamiento. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 10, n. 3, p. 314-328, 1992.
- CARVALHO, A. M. P. de; SASSERON, L. H. Ensino e aprendizagem de Física no Ensino Médio e a formação de professores. **Estudos Avançados**, 32(94), p.43-55, 2018. Disponível em:< <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/152655>>. Acesso em: ago. 2021.
- CARVALHO, A. M. P. de.; *et al.* **Ciências no ensino fundamental: o conhecimento físico**. São Paulo: Scipione, 2007.
- CARVALHO JÚNIOR, G.D. de.; AGUIAR JUNIOR, O.G. de. Os Campos Conceituais de Vergnaud como ferramenta para o planejamento didático. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.25, n.2, 2008. p.207-227.
- CASTIGNANI, A. **Sadi Carnot e o desenvolvimento inicial da termodinâmica clássica**. 1999. 172 f. Dissertação (mestrado em História da Ciência) – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 1999.
- CASTRO, R.S. **História e Epistemologia da Ciência: Investigando as suas contribuições num curso de Física de segundo grau**. 1993. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências: modalidade Física) – Instituto de Física, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- CEDRAN, D. P. **O processo de conceitualização da estequiometria: um estudo à luz da Teoria dos Campos Conceituais**. 2018. 389 f. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Matemática) – Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e a Matemática, Centro de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2018.
- CERON, I.N.; *et al.* **Os desafios da pesquisa social na pós-graduação**. Cadernos da Fucamp, v.19, n.37, p.80-94. 2020
- CERVANTES, A. “Los conceptos de Calor y Temperatura: una revisión bibliográfica”. **Enseñanza de las Ciencias**, v.5, n.1, p.66-70, 1987.
- CINDRA, J. L.; TEIXEIRA, O. P. B. Uma discussão conceitual para o equilíbrio térmico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Guaratinguetá, v. 21, 2004a. p. 176-193.

_____. Calor e temperatura e suas explicações por intermédio de um enfoque histórico. In: MARTINS, R. A. et al. (eds.). **Filosofia e história da ciência no Cone Sul: 3º Encontro**. Campinas: AFHIC, 2004b. p. 240-248.

COVALEDA, R.; MOREIRA, M. A.; CABALLERO, M. C. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 8, n. 2, p. 722-744, 2009.

CHI, M. T.; GLASER, R.; REES, E. **Expertise in problem solving**. In: STERNBERG, Robert J. (Ed.). *Advances in the psychology of human intelligence*. v. 1. Hillsdale, N.J.: Erlbaum, 1982.

CHI, M.T.; *et al.* Self-explanations: How students study and use examples in learning to solve problems. **Cognitive Science**, v. 13, 1989. p. 145-182.

CHICÓRA, T. **Uma Estratégia de ensino Metacognitiva: Contribuições para o perfil conceitual de força de licenciandos em Física**. 2018. 125f. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências e em Matemática) – Pós-Graduação em Educação em Ciências e em Matemática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

CLEMENT, J. Student's preconceptions in introductory mechanics. **American Journal of Physics**, v. 50, n. 1, p. 66-71, 1982.

CLEMENT, L.; DUARTE, D.A.; FISSMER, S.F. Concepções espontâneas em Física: Calouros de um curso de Licenciatura. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v.3, n.2, 2010. p.76-97. Disponível em:< <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbect/article/view/704>>. Acesso em: 24 ago. 2022.

CLEOPHAS, M. das G.; FRANCISCO, W. Metacognição e o ensino e aprendizagem das ciências: uma revisão sistemática da literatura (RSL). **AMAZÔNIA - Revista de Educação em Ciências e Matemáticas**, v.14, n.29, 2018.

DARSIE, M. M. P. 1999. Perspectivas Epistemológicas e suas Implicações no Processo de Ensino e de Aprendizagem. Cuiabá, Uniciências, v3: 9-21.

DAVIS, C.; NUNES, M.M.R.; NUNES, C. A.A. Metacognição e sucesso escolar: articulando Teoria e prática. **Cadernos de Pesquisa**, v. 35, n. 125, p. 205-230, maio/ago. 2005.

DOMÉNECH, J. L. **L'ensenyament de l'energia en l'edució secundària: anàlisi de les dificultats i una proposta de millora**. 2000. 317 f. Tese (Doutorado) - Departament de Didàctica de Les Ciències Experimentals i Socials, Universitat de València, València, 2000.

DOMÉNECH, J. L; *et al.* La enseñanza de la energía: una propuesta de debate para un replanteamiento global. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 20, n. 3, p. 285-311, 2003.

DREHER, S. A. S. **As estratégias metacognitivas de alunos em processo de alfabetização: uma reflexão sobre o aprender do aluno e o ensinar do professor**. 2009. Dissertação (Mestrado em Educação). Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 2009.

DRIVER, R.; EASLEY, J. Pupils and paradigms: a review of literature related to concept development in adolescent science students. *Studies in Science Education*, **Leeds**, v. 5, n. 1, p. 61-84, 1978.

DRIVER, R.; RUSSELL, T. **An investigation of the ideas of heat, temperature and change of state of Children aged between 8 and 14 years**. University of Leeds and Chelsea College. London, 1982.

EL-HANI, C. N.; BIZZO, N. M. V. Forma de construtivismo: mudança conceitual e construtivismo contextual. **Ensaio**, v. 4, n. 1, p. 2-25, 2002.

ENGEL, C.; DRIVER, R. Secondary students' conceptions of the conduction of heat: bringing together scientific and personal views. **Physics Education**, 20, 1985. p. 176-182.

ERICKSON, G. L. Children's conceptions of heat and temperature. **Science Education**, v. 63, n. 2, p. 221-230, 1979.

_____. Children's viewpoints of heat: a second look. **Science Education**, v. 64, n. 3, p. 323-336, 1980.

EINSTEIN, A.; INFELD, L. **A evolução da Física**. Tradução de Giasone Rebuá. 4. ed. Rio de Janeiro: Zahar, 1980. 237p.

FERNANDES, R. C. A.; MEGID NETO, J. Modelos Educacionais em 30 pesquisas sobre práticas pedagógicas no ensino de ciências nos anos iniciais da escolarização. **Investigações em Ensino de ciências**, v. 17, n. 3, p. 641-662, 2012. Disponível em: <<https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/175/119>>. Acesso em: jul. 2022.

FEYNMAN, R. P. **Física em 12 lições**. Tradução: Ivo Korytowski. Rio de Janeiro: Ediouro, 2005.

FONSECA, V. da. Importância das emoções na aprendizagem: uma abordagem neuropsicopedagógica. **Revista Psicopedagogia**, v. 33, n. 102, p. 365-384, 2016.

FOX, R. **The caloric theory of gases: from Lavoisier to Regnault**. Oxford: Oxford University Press, 1971.

FIGUEIRA, A. C. M.; ROCHA, J. B. T. Investigando as concepções dos estudantes do ensino fundamental ao superior sobre ácidos e bases. **Revista Ciências & Ideias**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 1, p. 1-21, 2011.

FLICK, U. **Introdução à pesquisa qualitativa**. Tradução: Joice Elias Costa. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

FLICK U. Triangulation. Oelerich G, Otto H-U, editors. *Empirische Forschung und Soziale Arbeit*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften; 2011. p. 323-328.

FLICK, U. **Introdução à metodologia de pesquisa**: um guia para iniciantes. Tradução: Magda Lopes. Porto Alegre: Penso, 2013.

FLAVELL, J.H. Metacognitive aspects of problem solving. In: L.B. Resnick (Ed) **The nature of intelligence**. Hildale, NJ: Lawrence Erlbaum. pp 231-235. 1976.

_____. Metacognition and cognitive monitoring: a new area of cognitive – developmental inquiry. **American Psychologist**, v. 34, n. 10, p. 906-911, 1979.

_____. Speculation about the nature and development of metacognition. In: **Metacognition, Motivation and Understanding**. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1987.

FLAVELL, J. H.; MILLER, P. H.; MILLER, S. A. **Desenvolvimento cognitivo**. Tradução de Cláudia Dornelles. 3. ed. Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 1999.

FLAVELL, J. H.; WELLMAN, H. M. **Metamemory**. In: KAIL, Robert V.; HAGEN, John W. (Eds.). Perspectives on the development of memory and cognition. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 1977, p. 3-33.

GARCIA HOUCARDE, J. L.; RODRIGUES DE AVILA, C. Preconcepciones sobre el calor en 2º de B.U.P. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 3, n. 3, p. 188-193, 1985.

GASPAR, A. **Física: Ondas, Óptica, Termodinâmica**. 1. ed., v. 2. São Paulo: Ática, 2000

GIL, A.C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 1995.

GIBBS, G. **Análise de dados qualitativos**. 1ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2009, 99p.

GOMES, L. C. **Concepções alternativas e divulgação: análise da relação entre força e movimento em uma revista de popularização científica**. 2008. 126f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência e o Ensino de Matemática) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.

_____. **Representação social dos autores dos livros didáticos de física sobre o conceito de calor**. 2012. 199f. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência e a Matemática) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012.

GOLDENBERG, M. **A arte de pesquisar**. Rio de Janeiro: Record, 1997.

_____. **A arte de pesquisar: como fazer pesquisa qualitativa em ciências sociais**. Rio de Janeiro: Record, 2004.

GUNSTONE, R.F. Constructivism and metacognition: theoretical issues and classroom studies. In: Duit, R. (Ed.). **Proceedings of an international workshop held at the University Bremen**. Bremen: March 4 – 8. Kiel: Inst. Für die Pädagogik der Naturwissenschaften an der Univ., 1991, p. 129 – 140.

GRAVINA, M.H.; BUCHWEITZ, B. Mudanças nas Concepções alternativas de estudantes relacionadas com eletricidade. **Revista Brasileira de Ensino de física**, 16(1-4), 1994.

GRECA, I. M.; MOREIRA, M. A. Além da Detecção de Modelos Mentais dos Estudantes: uma proposta representacional integradora. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 31-53, 2002. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/568/360>.

GRINGS, E. T. O.; CABALLERO, C.; MOREIRA, M. A. Possíveis indicadores de invariantes operatórios apresentados por estudantes em conceitos da Termodinâmica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 463-471, 2006. Acesso em: <http://www.scielo.br/pdf/rbef/v28n4/a09v28n4.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2022.

GRINGS, E. T. de O.; CABALLERO, C.; MOREIRA, M. A. Avanços e Retrocessos dos alunos no campo conceitual da Termodinâmica. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**. Vol.7, nº1, 2008.

GRINGS, E.T.de O. **Introdução de conceitos da Termodinâmica através da resolução de situações e análise da conceitualização à luz da Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud**. 2014. 511p. Tese (Doutorado) - Universidade de Burgos, Burgos, 2014.

HARRES, J.B.S. Um teste para detectar concepções alternativas sobre tópicos introdutórios de ótica geométrica. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.10, n.3: p.220-234, 1993.

HOBBSAWM, E. **Da Revolução Industrial Inglesa ao Imperialismo**. Tradução: Donaldson Magalhães Garschagen. 6. ed. Rio de Janeiro: Forense, 2011.

HOOPE, E. **Histoire de la Physique**. Paris: Payot, 1928

HOLLOWAY, I. **Basic Concepts for Qualitative Research**. In: Basic Concepts for Qualitative Research. Blackwell Science, Ltd, Oxford, UK., 1999.

JEWETT JUNIOR, J. W. Energy and the confused student IV: a global approach to energy. **The Physics Teacher**, v. 46, n. 4, p. 210-217, 2008.

JOULE, J. P. **The scientific papers of James Prescott Joule**. London: The Physical Society of London, 1884.

KÖHNLEIN, J. F. K; PEDUZZI, S. S. Um estudo das concepções alternativas sobre calor e temperatura. **Revista Brasileira de Investigação em Educação em Ciências**, v.2, n.3, 2002, p.84-96.

KÖHNLEIN, J. F. K. **Um estudo sobre as concepções alternativas de calor e temperatura**. 2001. 83f. Monografia (Especialização em Ensino de Física) – Centro de Ciências Físicas e Matemática. Florianópolis, 2001. Disponível em:<<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/105335>>. Acesso em: 08 jan.2023.

KRAUSE, J. C.; SANTOS, A. V.; SANDRI, H. (2012). Concepções alternativas sobre Física Básica dos professores da rede pública da região de Santo Ângelo-RS. In: II SIMPÓSIO DE ENSINO DE FÍSICA E MATEMÁTICA, 2012, Santa Maria, RS. **Anais...** Santa Maria: Unifra, p. 35-46.

KRAUSE, J. C.; SCHEID, N. M. J. Concepções alternativas sobre conceitos básicos de física de estudantes ingressantes em curso superior da área tecnológica: um estudo comparativo. **Espaço Pedagógico**, Passo Fundo: v.25, n.2, 2018, p. 227-240. Disponível em:<www.upf.br/seer/index.php/rep>. Acesso em: 30 mar. 2022.

LABURU, C.E.; SILVA, D.; CARVALHO, A.M.P. Analisando uma situação de aula de Termologia com o auxílio do vídeo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.22, n.1, 2000.

LAFORTUNE, L.; SAINT-PIERRE, L. **A afetividade e a metacognição na sala de aula**. Lisboa: Instituto Piaget, 1996.

LARKIN, J. H. **The role of problem representation in physics**. In: GENTNER, Dedre; STEVENS, Albert L. (Eds.). **Mental Models**. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 1983, p. 75-98.

LAVOISIER, A. L. De la combinaison de la matière du feu avec les fluides évaporables, et de la formation des fluides élastiques aëriiformes. In: Académie Royale des Sciences (Org.). **Mémoires de l'Académie Royale des Sciences**. Paris: Académie Royale des Sciences, p. 420-433, 1777.

_____. **Traité élémentaire de chimie**. Paris: Académie des Sciences e de la Société Royale de Médecine, 1789.

LAVOISIER, A.L.; LAPLACE, P.S. **Memoire sur la chaleur. Memoires de l'academié des sciences**, Paris, p.283-333, 1780.

LINDSAY, R. B. **Energy: historical development of the concept**. Stroudsburg, Pennsylvania: Halsted Press, 1975.

LOCATELLI, S.W Tópicos de metacognição: para aprender a ensinar melhor. 1ª ed. Curitiba: Appris, 2014.

LOUZADA, A.N.; ELIA, M. da F.; SAMPAIO, F. F. Concepções alternativas dos estudantes sobre conceitos térmicos: Um estudo de avaliação diagnóstica e formativa. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v.37, n.1, 2015.

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

MACEDO DE BURGHI, B; SOUSSAN, G. Estudio de los Conocimientos preadquiridos sobre las nociones de Calor y Temperatura en alunos de 10 a 15 años. *Enseñanza de las Ciencias*, v.3, pp.83-90, 1985.

MACHADO, J.; BRAGA, M. A conceitualização de modelos em Física: Aproximações e distanciamentos entre as visões de Mario Bunge e Gérard Vergnaud. *Ensaio: Pesquisa e Educação e Ciências*, v.22, 2020. Disponível em:<<https://www.scielo.br/j/epec/a/WnySVGCTHPjhZChzR6qwwLc/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 08 jan. 2023.

MAGIE, W. F. **A source book in physics**. New York: McGraw-Hill, 1935.

MAMAN, A.S. de; QUARTIERI, M. T; NEIDE, I.G. Elementos metacognitivos que emergem de uma intervenção didática no ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 39, n. 3, 2022. p. 743-768. DOI: <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2022.e83582>

MARAGLIA, P. H.; ASSIS, M. R.; PEIXOTO, M. A. P. **Estratégias ensino metacognitivas no ensino de ciências: o contexto brasileiro em foco**. *Ensino, Saúde e Ambiente*, v. 13, n. 2, 2020. p. 20-34. <https://doi.org/10.22409/resa2020.v13i2.a27274>

MARAGLIA, P. H.; PEIXOTO, M. A. P.; SANTOS, L. R. dos. Mapeando estratégias de Ensino metacognitivas para educação em ciências: Revisão sistemática de literatura. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v.23, 2022.

MANZINI, E. J. A entrevista como instrumento de pesquisa em Educação e Educação Especial: uso e processo de análise. Marília, SP: UNESP, p. 1-17. 2007

MARCET, J. H. **Conversations on chemistry: in which the elements of that science are familiarly explained and illustrated by experiments**. 5. ed. v. 1. Londres: Longman, 1817.

MARTINS, R. A. Mayer e a conservação da energia. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, v. 6, p. 63-95, 1984.

MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. **Curso de Física**. 5. ed., v. 2. São Paulo: Scipione, 2000.

MAYOR, J.; SUENGAS, A.; MARQUES, J. G. **Estratégias metacognitivas: aprender a aprender y aprender a pensar**. Madrid: Síntesis, 1995.

MEDEIROS, A. Entrevista com o Conde Rumford: da teoria do calórico ao calor como uma forma de movimento. **Física na escola**, v. 10, n. 1, p. 04-16, 2009.

MINAYO, M. C. S. (Org.) **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. Rio de Janeiro, Vozes, 1994

_____. **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. Petrópolis: Vozes, 2001.

_____. **O desafio do conhecimento**. Pesquisa qualitativa em saúde. 8ª ed., Rio de Janeiro: Hucitec. – ABRASCO, 2004.

_____. **O Desafio do Conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde**. 8ed. São Paulo (SP): Hucitec-Abrasco, 2007.

MOREIRA, M.A. Modelos mentais. **Investigações em Ensino de Ciências**. 1(3):193-232, 1996.

MOREIRA, M. A. A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.7, n.1, pp. 7-29, 2002.

_____. **A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de Ciências e a investigação nesta área**. Moreira, M. A. (org). A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de Ciências e a investigação nesta área. Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS, p. 7-32, 2004.

MOREIRA, M. A.; GRECA, I. M. A Mudança conceitual: análise crítica e propostas à luz da teoria da aprendizagem significativa. **Ciência e Educação**, Bauru, v. 9, n. 2, p. 301-315, 2003.

MOREIRA, A.E.C. **Relações entre as estratégias de ensino do professor, com as estratégias de aprendizagem e a motivação para aprender de alunos do ensino fundamental**. 2014, 120 f. Dissertação (Mestrado em Educação), Universidade Estadual de Londrina, Paraná, 2014

MORTIMER, E.F. Construtivismo, Mudança Conceitual e Ensino de Ciências: Para Onde Vamos? In: 3ª ESCOLA DE VERÃO DE PRÁTICA DE ENSINO DE FÍSICA, QUÍMICA E BIOLOGIA, Serra Negra, **Anais...** SP. Outubro, 1994.

MORTIMER, E. F. **Evolução do atomismo em sala de aula: mudança de perfis conceituais**. 1994. 281p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

MORTIMER, Eduardo. F. Construtivismo, mudança conceitual e ensino de Ciências: para onde vamos? **Investigações em Ensino de Ciências**, v.1, n.1, pp.20-39, 1996.

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

MORTIMER, E. F.; AMARAL, L. O. F. Quanto mais quente melhor: calor e temperatura e temperatura no ensino de termoquímica. **Química Nova na Escola**, n. 7, p. 30-34, 1998.

MORRIS, R. J. Lavoisier and the caloric theory. **The British Journal for the History of Science**, v. 6, n. 21, p. 1-38, 1972

MORVEAU, L. B. G. *et al.* Méthode de nomenclature chimique. Paris: **Académie des Sciences**, 1787.

NEVES, R. de A.; DAMIANI, M. F.; Vygotsky e as teorias da aprendizagem. **UNIrevista**, v.1, n.2, 2006.

OLIVEIRA, V. V., et al. Análise de Situação: Apropriação de Conceitos Científicos. In: VIII Encontro Nacional de pesquisa em Educação em ciências - **VIII ENPEC**, 2011.

PALMERO, M. L. R. MOREIRA, M. A. **La teoría dos campos conceptuales de Gérard Vergnaud**. In: Moreira, M. A. La Teoría dos Campos Conceptuales de Vergnaud, la Enseñanza de las Ciencias y la Investigación en el Área. Porto Alegre: Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

PEDUZZI, S. S., **Concepções alternativas em mecânica. Ensino de Física** – Conteúdo, metodologia e epistemologia em uma concepção integradora. Org.: PIETROCOLA, M. Editora da UFSC, p. 53-75, 2005.

PEREIRA, M.V.; CARDOZO, T.F.L. O conceito de calor nos livros didáticos de Física. In: **Atas...** V Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências-ENPEC. n.5, 2005.

PIAGET, J. A epistemologia genética. Tradução: Nathanael C. Caixeiro. In: PIAGET, J. **A epistemologia genética: Sabedoria e ilusões da filosofia; Problemas de psicologia genética**. Coleção: Os pensadores. São Paulo: Abril Cultural, 1978, p. 1-64.

_____. Los datos genéticos de la epistemología física. In: PIAGET, J. (Org.). **Tratado de lógica y conocimiento científico**, dirigido por Jean Piaget. Vol. IV – Epistemología de la física. Buenos Aires: Editorial Paidós, 1979a.

_____. Las relaciones entre el sujeto y el objeto em el conocimiento físico. In: PIAGET, J. (Org.). **Tratado de lógica y conocimiento científico**, dirigido por Jean Piaget. Vol. IV – Epistemología de la física. Buenos Aires: Editorial Paidós, 1979b.

PONTES, C. A. S. **Sobre a evolução dos conceitos de calor e temperatura e suas concepções alternativas**. Rio de Janeiro: Projeto de Instrumentação para o Ensino de Física - Instituto de Física/UFRJ, 2011.

PORTILHO, E. M. L. **Aprendizaje universitario: un enfoque metacognitivo**. Tese (Doutorado) – Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 2003.

_____. A aprendizagem na universidade: os estilos de aprendizagem e a metacognição. In: Encontro Nacional de didática e prática de ensino, 12., 2004, Curitiba. **Anais...** Curitiba: PUCPR, 2004.

_____. As estratégias metacognitivas de quem aprende e de quem ensina. In: SCOZ, B. et al. **Aprendizagem: tramas do conhecimento, do saber e da subjetividade**. São Paulo: Vozes, 2006. p. 47-59.

_____. **Como se aprende?** Estratégias, estilos e metacognição. Rio de Janeiro: Wak, 2009.

PORTILHO, E. M. L. DREHER, S.A.S. Categorias metacognitivas como subsídio à prática Pedagógica. **Educação e Pesquisa**, São Paulo, v. 38, n. 1, p. 181-196, 2012.

POSNER, G. J.; STRIKE, K. A.; HEWSON, P. W.; GERTZOG, W. A. Accommodation of scientific conception: Toward a theory of conceptual change. **Science Education**, v. 6, n.2, p. 221-227, 1982

POUPART, J.; DESLAURIERS, J. P.; GROULX, L.H.; LAPERRIÈRE, A.; MAYER, R.; PIRES, Á. **A pesquisa qualitativa: enfoques epistemológicos e metodológicos I** tradução de Ana Cristina Nasser. Petrópolis, RJ: Vozes, 2008.

PULIDO, M. D.; SILVA, A. N. Do calórico ao calor: uma proposta de ensino de química na perspectiva histórica. **História da Ciência e Ensino: construindo interfaces**, v. 3, p. 52-77, 2011.

PRETI, D. **Análise de Textos orais**. 4ªed. Humanitas Publicações FFLCH/USP, São Paulo, 1999.

PRIESTLEY, J. Experiments and observations on different kinds of air, and other branches of Natural Philosophy, connected with the subject. **Birmingham: Thomas Pearson**, 1790. v. 2.

QUEIRÓS, W. P. **A articulação das culturas humanística e científica por meio do estudo histórico-sociocultural dos trabalhos de James Prescott Joule: contribuições para a formação de professores universitários em uma perspectiva transformadora**. 2012. 355f. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência) - Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2012.

QUEIRÓS, W. P. de.; NARDI, R.; DELIZOICOV NETO, D. As influências teóricas e do contexto sociocultural no trabalho técnico científico de James Prescott Joule: Contribuições para a formação de professores de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.36, n.3, 2019.

QUINN, R. J.; WILSON, M.M. Writing in the mathematics classroom: teacher belief and practices. **The Clearing House**, v.71, n.1, 1997, p.14-20.

QUEIRÓS, W. P. de; CAMARGO, E. P. de; NARDI, R. Uma reflexão histórico-filosófica sobre o ensino do conceito de energia para alunos videntes e com deficiência visual. In: INTER-AMERICAN CONFERENCE ON PHYSICS EDUCATION, 10., 2009, Medellín. **Atas...** Medellín: 2009. p. 1-10.

RAFAEL, F. J. **Elaboração e aplicação de uma estratégia de ensino sobre os conceitos de calor e de temperatura**. 2007. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Naturais e Matemática) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

RAFAEL, F. J.; MARTINS, A. F. P. “Faz calor em Mossoró”. In: VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Florianópolis, **Anais...** 2007.

RAMALHO JUNIOR, F.; FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. T. **Os fundamentos da Física 2: Termologia, Óptica, Ondas**. 9. ed., v. 2. São Paulo: Moderna, 2007.

RIBEIRO, C. Metacognição: um apoio ao processo de aprendizagem. **Psicol. Reflex. Crit.**, vol.16, n.1, p.109-116, 2003.

RISCHBIETER, L. **Uma entrevista com Gérard Vergnaud: Da mímica à psicologia das competências complexas**. 2011. Disponível em:< <https://vergnaudbrasil.com/wp-content/uploads/2021/03/1.2-ENTREVISTA-COM-GERARD-VERGNAUD.pdf>>. Acesso em: jan 2022

ROLLER, D. **The early development of the concepts of temperature and heat: the rise and decline of caloric theory**. Cambridge: Harvard University Press, 1950.

ROSA, C.T.W da. **A metacognição e as atividades experimentais no ensino de Física**. 2011. 346f. Tese (Doutorado - Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2011.

_____. **Metacognição no ensino de física**. 1. ed. [s.l.] UPF Editora, 2014.

_____. Instrumento para avaliação do uso de estratégias metacognitivas nas atividades experimentais de Física. **Revista: Thema**, vol. 14, nº 2, pág. 182 a 193, 2017.

ROSA, C. W. da.; ALVES FILHO, J. de P.; Estudo da viabilidade de uma proposta didática metacognitiva para as atividades experimentais em Física. **Ciênc. Educ.**, Bauru, v. 20, n. 1, p. 61-81, 2014.

ROSA, C.T. W. da.; RIBEIRO, C. de A. G.; ROSA, A.B. da. Habilidades metacognitivas envolvidas na resolução de problemas em Física: Investigando estudantes com expertise. **Amazonia: Revista de Educação em Ciências e Matemática**, v.14, n.29, 2018.

ROZIER, S.; VIENNOT, L. Students reasoning sin thermodynamics. **International Journal of Science Teaching**, v. 13, n. 2, p. 159-170,1991.

SANTOS, M. E. V. M. **Mudança conceitual na sala de aula: um desafio pedagógico**. Lisboa: Livros Horizonte, 1991.

_____. **Mudança conceitual na sala de aula: um desafio pedagógico epistemologicamente fundamentado**. 2.ed. Lisboa: Livros Horizonte, 1998. 262p.

SANTOS, Z. T. S. **Ensino de entropia: um enfoque histórico e epistemológico**. 2009. 166 f. Tese (Doutorado em Educação) - Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

SEARS, F. W.; ZEMANSKY, M. W.; YOUNG, H.D. **Física 2.** – Mecânica dos fluidos, calor e Movimento Ondulatório. 2.ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científico Editora S.A., 1984.

SILVA, D. **Estudo das Trajectórias Cognitivas de Alunos: no ensino da diferenciação dos conceitos de calor e temperatura**. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, Faculdade de Educação, São Paulo, 1995. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/single.php?id=000742317&locale=en_US>. Acesso em:08 jan.2023

SILVA, L. E. F. **Concepções espontâneas em termodinâmica: um estudo em um curso universitário, utilizando entrevista clínica**. Dissertação (Mestrado em Física) - Porto Alegre: UFRGS,1986.

SILVA, C. C. The role of models and analogies in the eletromagnetic theory: a historical case study. **Science & Education**, Amsterdan, v. 16, n. 7-8, p. 835-848, Aug. 2007.

SILVA, M. G. L.; NÚÑEZ, I.B. **Concepções alternativas dos estudantes**. Natal: SEDIS/UFRN, 2007.

SILVA, O. H. M.; LABURÚ, C. E.; NARDI, R. Reflexões para subsidiar discussões sobre o conceito de calor na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 25, n. 3, p. 383-396, 2008.

SILVA, J. L. P. B.; MORADILLO, E. F. Sobre o Ensino da Conservação da Energia. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 5., 2005, Bauru. **Atas...** Bauru: ABRAPEC, 2005. p. 1-8.

SILVA, A.P.B.; FORATO, T. C. de M.; GOMES, J. L. de A.M. C. Concepções sobre a natureza do calor em diferentes contextos históricos. **Cad. Bras. Ens. Fís.**, v. 30, n. 3, p. 492-537, dez.

2013. Disponível: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2013v30n3p492>>. Acesso em: 20 jan.2022
- SILVA, A. L. da.; SÁ, I. **Saber estudar e estudar para saber**. (2ª ed.). Porto Editora, 1997.
- SOUSA, C. M. S. G.; FÁVERO, M. H. Um estudo sobre resolução de problemas de Física em situação de interlocução entre um especialista e um novato. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 8, 2002, Águas de Lindóia. **Atas...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, 2002.
- SERWAY, R. A.; JEWETT JUNIOR, J. W. **Princípios de Física: Mecânica Clássica**. Tradução: André Koch Torres Assis. v. 1. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2005.
- SUMMERS, M. Teaching heat analysis of misconception. School. **Science Review**, v. 64, 1983, p. 670-676.
- STAKE, R.E. Qualitative case studies. In: DENZIN, N. K.; LINCOLN, Y. S. (Eds.). **The Sage Handbook of qualitative research**. 4.ed. Thousand Oaks: Sage, 2005. p. 443 – 466.
- _____. **Pesquisa qualitativa: estudando como as coisas funcionam**. Porto Alegre: Penso, 2011.
- TOULMIN, S. **La comprensión humana** – Volumen I: El uso colectivo y la evolución de los conceptos. Madrid, Alianza Editorial. 1977, 523p.
- THOMAS, M. F.; MALAQUIAS, I. M.; VALENTE, M. C.; ANTUNES, M. J.. An attempt to overcome alternative conceptions related to heat and temperature. **Physics Education**, 30 (1), 1985, p. 19-26.
- TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Atlas, 1a ed., 1987.
- VALENTE, M.J.P. **Uma leitura pedagógica da construção histórica do conceito de energia: contributo para uma didáctica crítica**. 1999. 603 f. Tese (Doutorado em Ciências da Educação) - Faculdade de Ciências e Tecnologia - Secção de Ciências da Educação, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 1999.
- VALADARES, J. A. C. S. **Concepções Alternativas no Ensino da Física à luz da Filosofia da Ciência**. 1995. Dissertação (Mestrado). Universidade Aberta, Lisboa, Portugal, 1995. Disponível em: < <https://repositorioaberto.uab.pt/handle/10400.2/2520>>. Acesso em: 08 jan. 2023.
- VAZQUEZ DIAZ, J. Algunos aspectos a considerar em la didactica del calor. **Enseñanza de las Ciencias**, v.5, n.3, p.235-238, 1987.
- VERGNAUD, G. A classification of cognitive tasks and operations of thought involved in addition and subtraction problems. In: Carpenter, T., Moser, J. & Romberg, T. **Addition and subtraction**. A cognitive perspective. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum, 1982, p. 39-59.
- VERGNAUD, G.; BOOKER, J.; CONFREY, S; LERMAN, J; LOCHHEAD, A. STARD, A. **Sierpinska and D. Wheeler, in Mathematics and Cognition: A Research Synthesis** by International Group for the Psychology of Mathematics Education, edited by P. Nesher and J. Kilpatrick. Cambridge University Press, Cambridge, 1990.

VERGNAUD, G. Teoria dos campos conceituais. In: NASSER, L. (Ed.). SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA, 1., 1993, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 1993. p. 1-26.

_____. Multiplicative conceptual field: what and why? In: GUERSHON, H.; CONFREY, J. (Eds.). **The development of multiplicative reasoning in the learning of mathematics.** (p. 41-49). New York: State University of New York Press, 1994.

_____. Algunas ideas fundamentales de Piaget en torno a la didáctica. **Perspectivas**, 26(10), 1996a, p. 195-207.

_____. **A teoria dos Campos Conceituais.** In: J. BRUN. Didáctica das Matemáticas. Tradução de Maria José Figueiredo. Lisboa: Instituto Piaget, 1996b, p. 155-191.

_____. **Comprehensive theory of representation for mathematics education.** **Journal of Mathematical Behavior**, Amsterdã: 17(2), 1998, p.167-181.

_____. Piaget visité par la didactique. **Intellectica**, n. 33, p. 107-123, 2001.

_____. **Por Que Ainda há Quem Não Aprende?** editado por E.P. Grossi (Editora Vozes, Petrópolis, 2.ed., p. 21-60, 2003.

_____. La conceptualisation, clef de voûte des rapports entre pratique et théorie. In: Analyse de pratiques et professionnalité des enseignants. **Actes** de la DESCO. CRDP de l'Académie de Versailles, p.48-57. Suivi de Table ronde, 2003, p.73-77. Disponível em:<<http://www.recherches.philippeclazard.com/VERGNAUDLa-conceptualisation-clef-de-vo%C3%BBte-des-rapports-entre-pratique-theorie.pdf>

_____. De la didactique des disciplines à la didactique professionnelle, il n'y a qu'un pas. **Travail et Apprentissages**, n. 1, p. 51-57, 2008.

_____. The theory of conceptual fields. **Human development**, v. 52, n. 2, p. 83-94, 2009.

_____. Conceptual development and learning. **Revista Currículum**, San Cristóbal de La Laguna, 26, 2013a, p.39-59.

_____. Pourquoi la théorie des champs conceptuels? **Infancia y Aprendizaje**, 36(2), 2013b, p.131-161.

_____. **A criança, a matemática e a realidade.** Tradução: Maria Lucia Faria Moro. Curitiba: Ed. da UFPR, 2014.

_____. On n'a jamais fini de relire Vygotsky et Piaget (Colloque Vygotsky, mai 1998). In Y. Clot (Ed.), **Avec Vygotsky.** Paris: La Dispute/SNEDIT. Traduzido por: 2021a

_____. Psicologia cognitiva e educação: uma questão científica e social. Gérard Vergnaud - coletânea de textos traduzidos. Traduzido por Camila Rassi de "Psychologie cognitive et éducation: enjeu scientifique et social". **Dialogue, G. F. E. N.**, n.100 –101, 58-64. 2021b. Disponível em:< " www.vergnaudbrasil.com

_____. **Conceitos e esquemas em uma teoria operatória da representação.** Gérard Vergnaud - coletânea de textos traduzidos. Traduzido por Maria Lucia Faria Moro, Concepts et

schèmes dans une théorie opératoire de la représentation. *Psychologie Française*, 30, 245-252. 2021c.

VIGOTSKI, L. S. **A construção do pensamento e da linguagem**. São Paulo: Martins Fontes, 1934/2001

_____. **Psicologia Pedagógica**. Porto Alegre: Artmed, 2003.

VILANCULO, J. A.; MUTIMUCUIO, I. V.; SILVA, C.S. Avaliação da influência das concepções alternativas no ensino e aprendizagem da física: um estudo de caso em Moçambique. **REAMEC - Rede Amazônica de Educação em Ciências e Matemática**, [S. l.], v. 8, n. 3, p. 515-532, 2020. Disponível em: <<https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/reamec/article/view/10599>>. Acesso em: 10 mai. 2021

XAVIER, C. S.; PEIXOTO, M.A.P.; VEIGA, L.L. de A. da. Metacognição e suas ferramentas para o aprendizado. **Revista Eletrônica Debates Em Educação Científica E Tecnológica**, v.10, n.2, 40-70p., 2021. Disponível em: <<https://ojs.ifes.edu.br/index.php/dect/article/view/1337/763>>. Acesso em: 14 set. 2022.

YEO, S.; ZADNIK, M. G. Introductory thermal concept evaluation: Assessing students' understanding. **The Physics Teacher**, Vol. 39, n.8, p.496-504, 2001. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/243715427_Introductory_thermal_concept_evaluation_Assessing_students'_understanding>. Acesso em: 13 set. 2022.

YIN, R. K. **Pesquisa qualitativa do início ao fim**. Tradução: Daniela Bueno. Porto Alegre: Pessno, 2016.

ZEMANSKY, M. W. The use and misuse of the word “Heat” in Physics Teaching. **The Physics Teacher**, n. 8, p. 295-300, 1970.

APÊNDICES

APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE) PARA MENORES



TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Caros pais ou responsáveis,

Gostaríamos de solicitar sua autorização para a participação de seu filho(a) na pesquisa intitulada “Estratégias de ensino metacognitivas como instrumento para problematizar e modificar os invariantes operatórios sobre o conceito de calor de alunos da segunda série do ensino médio”, que faz parte do Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e Matemática da Universidade Estadual de Maringá (PCM/UEM), orientada pelo prof. Dr. Luciano Carvalhais Gomes da Universidade Estadual de Maringá. A pesquisa tem como objetivo, investigar quais contribuições uma estratégia de ensino metacognitiva pode fornecer para problematizar e modificar os conceitos em ação e aprimorar os teoremas em ação sobre o conceito de calor dos alunos da 2ª série de uma turma do Ensino Médio. Buscamos, com essa investigação, desenvolver estratégias de ensino através de leitura, trabalho em grupo, e utilização do método de Instrução pelos Colegas, a fim de que possam contribuir para a apropriação de conhecimentos conceituais acerca do conteúdo estudado. Para isto a participação de seu filho(a) é muito importante, e ela se daria por meio de resolução de exercícios teóricos/conceituais e de aplicação, trabalhos em grupos e resolução de questionários, todos realizados durante as aulas de Física no Colégio [REDACTED]. Logo, utilizaremos apenas as respostas das atividades desenvolvidas em sala, como dados da aplicação da metodologia, para posterior análise e publicação dos resultados obtidos frente a esta abordagem.

A presente pesquisa será desenvolvida na Escola [REDACTED], nas aulas de física do período de estudo de seu filho (a), sobre a supervisão do professor. Durante as atividades utilizando o método *IpC*, a utilização de questionários, e a apresentação das respostas pelos alunos para a classe, pode surgir desconforto ao falar em público, vergonha em se expor frente a sala, medo da reação dos amigos a resposta. Neste sentido o professor sendo o mediador, irá tranquilizar o aluno com palavras de conforto e segurança, visando a participação do aluno na aula e perante a atividade, de modo que possa compreender que não será julgado por sua resposta, mas que esta contribuirá para o aprendizado, ajudando a pensar em diversas situações do seu cotidiano em que a física se faz presente, além de poder dar sua opinião sobre vários contextos em que falamos sobre o calor, aumentando assim, sua capacidade de falar, se expressar em público e utilizar o conhecimento científico, além de, poder agregar conhecimento junto as experiências de seus amigos expostas na sala.

Gostaríamos de esclarecer que a participação de seu filho(a) é totalmente voluntária, podendo você: recusar-se a autorizar tal participação, ou mesmo desistir a qualquer momento, sem que isto acarrete qualquer ônus ou prejuízo à sua pessoa ou à de seu filho(a). Informamos ainda que as informações serão utilizadas somente para os fins desta pesquisa, e serão tratadas com o mais absoluto sigilo e confidencialidade, de modo a preservar a identidade, sua e a de

seu (sua) filho(a). Para isso, as respostas serão analisadas com siglas, não identificando os alunos.

Caso você tenha mais dúvidas ou necessite de maiores esclarecimentos, pode nos contatar nos endereços a seguir ou procurar o Comitê de Ética em Pesquisa da UEM, cujo endereço consta neste documento.

Este termo deverá ser preenchido em duas vias de igual teor, sendo uma delas, devidamente preenchida e assinada, entregue a você. Além da assinatura nos campos específicos pelo pesquisador e por você, solicitamos que sejam rubricadas todas as folhas deste documento. Isto deve ser feito por ambos (pelo pesquisador e por você, como sujeito ou responsável pelo sujeito de pesquisa) de tal forma a garantir o acesso ao documento completo.

Eu, declaro que fui devidamente esclarecido e concordo na participação de forma VOLUNTÁRIA de meu filho(a)..... da pesquisa coordenada pela Prof. Me Samira Cassote Grandi.

_____ Data.....
Assinatura ou impressão datiloscópica

Eu, Samira Cassote Grandi, declaro que forneci todas as informações referentes ao projeto de pesquisa supra-nominado.

_____ Data:.....
Assinatura do pesquisador

Qualquer dúvida com relação à pesquisa poderá ser esclarecida com o pesquisador, conforme o endereço abaixo:

Pesquisadora responsável: Samira Cassote Grandi

Endereço: [REDACTED] – Jardim - MS

Telefone: [REDACTED] e-mail: (samyracassote@gmail.com)

Qualquer dúvida com relação aos aspectos éticos da pesquisa poderá ser esclarecida com o Comitê Permanente de Ética em Pesquisa (COPEP) envolvendo Seres Humanos da UEM, no endereço abaixo:

COPEP/UEM

Universidade Estadual de Maringá.

Av. Colombo, 5790. UEM-PPG-sala 4.

CEP 87020-900. Maringá-Pr. Tel: (44) 3011- 4444 -

E-mail: copep@uem.br

APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)



CARO ESTUDANTE,

Você está sendo convidado(a) a participar, como voluntário (a), da pesquisa cujo título é: “Estratégias de ensino metacognitivas como instrumento para problematizar e modificar os invariantes operatórios sobre o conceito de calor de alunos da segunda série do ensino médio” realizada sob orientação do prof. Dr. Luciano Carvalhais Gomes, junto ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e Matemática da Universidade Estadual de Maringá (PCM/UEM). Nossa pesquisa tem como objetivo investigar quais contribuições uma estratégia de ensino metacognitiva pode fornecer para problematizar e modificar os conceitos em ação e aprimorar os teoremas em ação sobre o conceito de calor dos alunos da 2ª série de uma turma do Ensino Médio. Buscamos, com essa investigação, desenvolver estratégias de ensino através de leitura, trabalho em grupo, e utilização do método de Instrução pelos Colegas, a fim de que possam contribuir para a apropriação de conhecimentos conceituais acerca do conteúdo estudado.

A sua participação é fundamental. Sendo assim, venho requerer a sua autorização para a utilização das respostas de seus pré e pós-testes, trabalhos e atividade desenvolvidas em sala, para posterior análise e publicação dos resultados obtidos frente a esta abordagem. Os dados e resultados individuais desta pesquisa serão mantidos em sigilo ético, tendo suas identidades preservadas, cujas informações coletadas serão utilizadas somente para fins de estudo.

A participação nesta pesquisa não oferece risco ou prejuízo as pessoas participantes. Se no decorrer da pesquisa, o(a) participante resolver não mais continuar, terá total liberdade de o fazer, sem acarretar qualquer dano.

Desde já agradeço a sua colaboração e me coloco a disposição para qualquer esclarecimento.

Samira Cassote Grandi França
Pesquisadora

Local e data: _____

DECLARAÇÃO

Eu _____ declaro
que fui esclarecido(a) sobre os objetivos e justificativas deste estudo de forma clara e detalhada,
e que concordo em participar do mesmo. Os autores da pesquisa ficam, consequentemente,
autorizados a utilizar, divulgar e publicar os dados dos pré e pós-testes.

Assinatura do participante

Local: _____ Data: ____/____/____

APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO INICIAL DE VERIFICAÇÃO DE CONHECIMENTO

Componente curricular: FÍSICA	Data: ____/____/2021
Nome:	Série: 2ª série ____

QUESTIONÁRIO INICIAL

INSTRUÇÕES: Durante uma aula introdutória sobre Física térmica, seis alunos da 2ª série do EM, levantaram algumas perguntas relacionadas ao seu cotidiano, que talvez você também já deve ter se perguntado. Para cada uma delas apresente sua explicação para os fenômenos. **Este questionário não é uma prova, os dados apresentados servirão para melhorar o ensino e aprendizagem dos conceitos da Termodinâmica, por isso, pense e justifique sua resposta.**

Antes de responder o teste, responda às seguintes questões:

Sexo: Masculino () Feminino ()

Idade: _____

1. Certo dia você ao se levantar da cama para ir à escola, caminha descalço do quarto até o banheiro e depois de volta para o quarto. No caminho pisa sobre o tapete ao lado da cama, no piso de madeira do quarto e no piso de azulejo do banheiro. Ao pisar, percebe que o azulejo parece estar mais frio do que o piso de madeira e o tapete.



a) Como isso pode acontecer se todos estão no mesmo ambiente?

b) Como você explicaria essa situação?

2. Dois recipientes A e B contendo mesma quantidade de água, mas a temperaturas diferentes são posicionados conforme representados na imagem ao lado, e imediatamente é colocado sobre eles uma caixa que os mantém isolados do meio externo.



Fonte: Martini, et al., 2016, p.18

a) Com o passar do tempo, o que acontecerá com a temperatura da água no recipiente A? e no recipiente B?

b) o que aconteceu entre os recipientes que ocasionou essa mudança na temperatura? Explique, detalhadamente, o seu raciocínio.

3. Uma xícara de café quente (A), a 80°C , é colocada sobre uma mesa na cozinha de uma casa, em um dia em que a temperatura ambiente estava em 20°C . Com o passar do tempo o café fica frio (B).

temperatura ambiente 20°C



Fonte: Adaptado de Grings, 2014, p.391

a) Em relação a essa situação, como você explicaria, detalhadamente, para um colega, como se deu a diminuição da temperatura do café?

4. Um professor, logo no início de sua aula, deixa duas colheres simples, uma de plástico e outra de alumínio, sobre a sua mesa. Depois, já no final da aula, ele solicita que cada aluno toque com as mãos as duas colheres e responda se as duas estão na mesma temperatura ou em temperaturas diferentes.



Fonte: adaptada de iStock

Todos os alunos responderam que a colher de alumínio estava em uma temperatura menor, pois, ao ser tocada com as mãos, aparentava estar mais fria.

a) Você concorda com essa explicação dos alunos? Por quê? Explique, detalhadamente, o seu raciocínio.

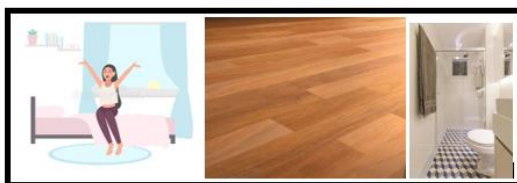
APÊNDICE D – QUESTIONÁRIO FINAL DE VERIFICAÇÃO DE CONHECIMENTO

Componente curricular: FÍSICA	Data: ____/____/2021
Nome:	Série: 2ª série ____

QUESTIONÁRIO FINAL

Após ter refletido e revisado as definições do calor bem como ter compreendido como utilizá-las responda INDIVIDUALMENTE as demais situações apresentando agora de maneira correta as explicações com base na definição do CALOR COMO O NOME DE UM PROCESSO.

1. Certo dia você ao se levantar da cama para ir à escola, caminha descalço do quarto até o banheiro e depois de volta para o quarto. No caminho pisa sobre o tapete ao lado da cama, no piso de madeira do quarto e no piso de azulejo do banheiro. Ao pisar, percebe que o azulejo parece estar mais frio do que o piso de madeira e o tapete.



A) Como isso pode acontecer se todos estão no mesmo ambiente? Como você explicaria essa situação? **Calor como o nome de um processo:**

2. Dois recipientes A e B contendo mesma quantidade de água, mas a temperaturas diferentes são posicionados conforme representados na imagem ao lado, e imediatamente é colocado sobre eles uma caixa que os mantém isolados do meio externo.



Fonte: Martini, et al., 2016, p.18

a) Com o passar do tempo, o que acontecerá com a temperatura da água no recipiente A? e no recipiente B?

b) o que aconteceu entre os recipientes que ocasionou essa mudança na temperatura? Explique, detalhadamente, o seu raciocínio. **Calor como o nome de um processo:**

3. Uma xícara de café quente, a 80°C , é colocada sobre uma mesa na cozinha de uma casa, em um dia em que a temperatura ambiente estava em 20°C . Com o passar do tempo o café fica frio.

temperatura ambiente 20°C



Fonte: Adaptado de Grings, 2014, p.391

A) Em relação a essa situação, como você explicaria, detalhadamente, para um colega, como se deu a diminuição da temperatura do café? **Calor como o nome de um processo:**

4. Um professor, logo no início de sua aula, deixa duas colheres simples, uma de plástico e outra de alumínio, sobre a sua mesa. Depois, já no final da aula, ele solicita que cada aluno toque com as mãos as duas colheres e responda se as duas estão na mesma temperatura ou em temperaturas diferentes. Todos os alunos responderam que a colher de alumínio estava em uma temperatura menor, pois, ao ser tocada com as mãos, aparentava estar mais fria.



Fonte: adaptada de iStock

A) Você concorda com essa explicação dos alunos? Por quê? Explique, detalhadamente, o raciocínio. **Calor como o nome de um processo:**

APÊNDICE E – SEQUÊNCIA DE ATIVIDADES PARA O ESTUDO DO CALOR ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE ENSINO METACOGNITIVAS

Fazendo referência ao que esse espera do currículo de Física para a segunda série do Ensino Médio, tanto os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN e PCN+) como a Base Nacional Comum Curricular para o Novo Ensino Médio (BNCC) desenvolvida neste último ano, reforçam a necessidade de um ensino que possibilite ao jovem lidar com as transformações e contradições do mundo atual, de modo que este saiba ir além do que simplesmente reproduzir dados, classificar ou identificar símbolos, mas que este desenvolva condições para “[...] se informar, comunicar-se, argumentar, compreender e agir; enfrentar problemas de diferentes naturezas; participar socialmente, de forma prática e solidária; ser capaz de elaborar críticas ou propostas; e especialmente, adquirir uma atitude de permanente aprendizado” (BRASIL, 2002, p. 9).

Para isso, é importante criar condições para que o aluno possa: “comunicar-se e argumentar; defrontar-se com problemas, compreendê-los e enfrentá-los; participar de um convívio social que lhes dê oportunidades de se realizarem como cidadãos; fazer escolhas e proposições; tomar gosto pelo conhecimento, aprender a aprender” (BRASIL, 2002, p. 9).

Diante disso, nosso objetivo com esta sequência de atividades é:

- Promover a compreensão e a construção conceitual das três concepções do calor por meio da aplicação de estratégias de ensino metacognitivas.

Competências de acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio:

Representação e comunicação:

- Ler, interpretar, utilizar e compreender corretamente tabelas, gráficos, esquemas e diagramas apresentados em textos para a expressão do saber físico.
- Consultar, analisar e interpretar textos e comunicações de ciência e tecnologia.
- Expressar-se corretamente de forma clara e objetiva, apresentando o conhecimento apreendido por meio do uso apropriado da linguagem e elementos de sua representação simbólica.
- Analisar, argumentar e posicionar-se criticamente em relação a problemas físicos e temas científicos trabalhados, apresentando suas ideias, razões e justificativas de forma claras e consistentes.

- Elaborar sínteses ou esquemas estruturados referente aos assuntos físicos trabalhados.

Investigação e compreensão:

- Desenvolver a capacidade de investigação física, através da identificação de informações ou variáveis relevantes, modelos físicos, levantamento de possíveis estratégias para resolver situação-problemas, generalização, previsão e avaliação do processo.
- Identificar regularidades, associando fenômenos que ocorrem em situações semelhantes para utilizar as leis que expressam essas regularidades na análise e previsões de situações do dia-a-dia, além de, articular o conhecimento físico com conhecimentos de outras áreas do saber científico.
- Interpretar e fazer uso de modelos explicativos, reconhecendo suas condições de aplicação.
- Reconhecer a existência de invariantes que impõem condições sobre o que pode e o que não pode acontecer em processos naturais, para fazer uso desses invariantes na análise de situações cotidianas.
- Conhecer, identificar e compreender diversos modelos físicos e formas de explicação física, microscópicos ou macroscópicos para adquirir uma compreensão mais profunda dos fenômenos e utilizá-los apropriadamente na compreensão e análise de situações-problema e fenômenos.

Contextualização sócio-cultural:

- Compreender o desenvolvimento histórico dos modelos físicos e sua construção em estreita relação com as condições culturais, sociais, políticas e econômicas de uma determinada época para dimensionar corretamente os modelos atuais.
- Reconhecer o papel da Física no sistema produtivo, compreendendo a evolução dos meios tecnológicos e sua relação dinâmica com a evolução do conhecimento científico.

Público-alvo: Alunos da 2ª série do Ensino Médio de um colégio público da cidade de Jardim-MS.

Conteúdos:

- Calor como uma substância presente nos corpos;

- Calor como uma forma de energia;
- Calor como o nome convencional de um processo;
- Condutibilidade térmica.

Professor(a): As aulas serão ministradas pela própria pesquisadora, que já trabalha no referido colégio.

Período de aplicação: outubro a novembro de 2021.

Duração: 15 aulas (50 minutos).

AULA 01: Apresentação e questionário inicial

Objetivo: Aplicar a questão 1 do questionário inicial a fim de, identificar os principais invariantes operatórios utilizados pelos alunos quando lidam com situações do cotidiano em que o conceito de calor se faz presente.

Objetivo específico:

- Identificar nos esquemas explicativos dos alunos os conceitos-em-ação e teoremas-em-ação usados para responder situações abertas, cujos fenômenos térmicos (condutibilidade, calor e temperatura) presentes no cotidiano requeiram o conceito de calor.

Desenvolvimento:

Primeiro momento: Iniciar explicitando aos alunos que esta aula marca o início da aplicação da pesquisa, o que torna essencial a participação de cada um com seriedade e dedicação, buscando em cada atividade apresentar sua própria opinião, suas hipóteses e justificativas, sem medo de errar, pois os dados apresentados servirão para melhorar o ensino e aprendizagem dos conceitos da Termodinâmica. Na sequência, deve-se apresentar a totalidade de aulas, os elementos utilizados para armazenamento de dados (gravadores e fotos, e sua importância para a obtenção dos dados), e a forma processual de avaliação. **(30 min).**

Segundo momento: Entregar o questionário a cada aluno individualmente e em seguida realizar a leitura conjunta com os alunos de forma oral, evitando possíveis hábitos, erros de leitura ou incompreensão, evidenciando que em cada situação devem pensar no contexto em que o fenômeno acontece em seu cotidiano, e em seguida apresentar sua justificativa, deixando claro

que este questionário não é uma prova, neste momento não existe resposta certa ou errada. Devido ao tempo restante da aula, orienta-se deixá-los responder apenas a situação 1 (20 min).

QUESTIONÁRIO INICIAL

INSTRUÇÕES: Durante uma aula introdutória sobre Física térmica, quatro alunos da 2ª série do EM, levantaram algumas perguntas relacionadas ao seu cotidiano, que talvez você também já deve ter se perguntado. Para cada uma delas apresente sua explicação para os fenômenos. **Este questionário não é uma prova, os dados apresentados servirão para melhorar o ensino e aprendizagem dos conceitos da Termodinâmica, por isso, pense e justifique sua resposta.**

Antes de responder o teste, responda às seguintes questões:

Sexo: Masculino () Feminino ()

Idade: _____

Q1. Certo dia você ao se levantar da cama para ir à escola, caminha descalço do quarto até o banheiro e depois de volta para o quarto. No caminho pisa sobre o tapete ao lado da cama, no piso de madeira do quarto e no piso de azulejo do banheiro. Ao pisar, percebe que o azulejo parece estar mais frio do que o piso de madeira e o tapete.



- a) Como isso pode acontecer se todos estão no mesmo ambiente?
- b) Como você explicaria essa situação?

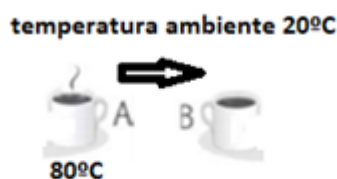
Q2. Dois recipientes A e B contendo mesma quantidade de água, mas a temperaturas diferentes são posicionados conforme representados na imagem ao lado, e imediatamente é colocado sobre eles uma caixa que os mantém isolados do meio externo.



Fonte: Martini, et al., 2016, p.18

- a) Com o passar do tempo, o que acontecerá com a temperatura da água no recipiente A? e no recipiente B?
- b) o que aconteceu entre os recipientes que ocasionou essa mudança na temperatura? Explique, detalhadamente, o seu raciocínio.

Q3. Uma xícara de café quente (A), a 80°C , é colocada sobre uma mesa na cozinha de uma casa, em um dia em que a temperatura ambiente estava em 20°C . Com o passar do tempo o café fica frio (B).



Fonte: Adaptado de Grings, 2014, p.391

a) Em relação a essa situação, como você explicaria, detalhadamente, para um colega, como se deu a diminuição da temperatura do café?

Q4. Um professor, logo no início de sua aula, deixa duas colheres simples, uma de plástico e outra de alumínio, sobre a sua mesa. Depois, já no final da aula, ele solicita que cada aluno toque com as mãos as duas colheres e responda se as duas estão na mesma temperatura ou em temperaturas diferentes.



Fonte: adaptada de iStock

Todos os alunos responderam que a colher de alumínio estava em uma temperatura menor, pois, ao ser tocada com as mãos, aparentava estar mais fria.

a) Você concorda com essa explicação dos alunos? Por quê? Explique, detalhadamente, o seu raciocínio.

- *No final da aula o questionário deverá ser recolhido e entregue a professora, as demais questões serão desenvolvidas na aula seguinte.*

Momentos	Atividades	Tempo Estimado
1º Momento	Apresentação das atividades da pesquisa e assinatura de termos	(30 min)
2º Momento	Aplicação do questionário inicial	(20 min)

Recursos didáticos: Material impresso; Quadro para pincel; Apagador; pincéis.

Avaliação: Explicação e justificativa das ideias apresentadas em cada situação.

AULA 02: Continuação do Questionário Inicial

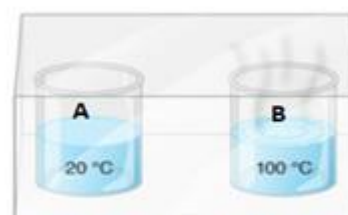
Objetivo: Realização das questões 2, 3 e 4 de um questionário inicial visando identificar os principais invariantes operatórios utilizados quando lidam com situações do cotidiano em que o conceito de calor se faz presente.

Desenvolvimento

Primeiro momento: Retomar as atividades desenvolvidas na aula anterior, entregando aos alunos novamente o questionário inicial que haviam iniciado na aula anterior, dando continuidade às reflexões por meio das questões 2, 3 e 4. A professora deve então realizar a leitura oral de cada questão com os estudantes, dando um tempo em sequência para que possam pensar sobre o fenômeno evidenciado na situação. **(45 min)**

QUESTIONÁRIO INICIAL

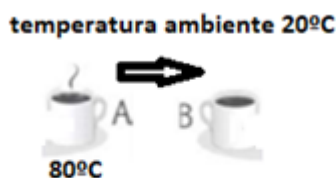
Q2. Dois recipientes A e B contendo mesma quantidade de água, mas a temperaturas diferentes são posicionados conforme representados na imagem ao lado, e imediatamente é colocado sobre eles uma caixa que os mantém isolados do meio externo.



Fonte: Martini, et al., 2016, p.18

- a) Com o passar do tempo, o que acontecerá com a temperatura da água no recipiente A? e no recipiente B?
- b) o que aconteceu entre os recipientes que ocasionou essa mudança na temperatura? Explique, detalhadamente, o seu raciocínio.

Q3. Uma xícara de café quente (A), a 80°C, é colocada sobre uma mesa na cozinha de uma casa, em um dia em que a temperatura ambiente estava em 20°C. Com o passar do tempo o café fica frio (B).



Fonte: Adaptado de Grings, 2014, p.391

- a) Em relação a essa situação, como você explicaria, detalhadamente, para um colega, como se deu a diminuição da temperatura do café?

Q4. Um professor, logo no início de sua aula, deixa duas colheres simples, uma de plástico e outra de alumínio, sobre a sua mesa. Depois, já no final da aula, ele solicita que cada aluno toque com as mãos as duas colheres e responda se as duas estão na mesma temperatura ou em temperaturas diferentes.



Fonte: adaptada de iStock

Todos os alunos responderam que a colher de alumínio estava em uma temperatura menor, pois, ao ser tocada com as mãos, aparentava estar mais fria.

a) Você concorda com essa explicação dos alunos? Por quê? Explique, detalhadamente, o seu raciocínio.

Segundo momento: Ao terminarem de responder o questionário a professora deve por meio do diálogo questionar os alunos sobre os fenômenos e variáveis presentes nas situações, buscando por meio de questionamentos levá-los a perceber que a variação de temperatura ou a sensação de quente e frio sentida ao tocar os objetos estão relacionadas ao mesmo fenômeno, provocando uma reflexão e tomada de consciência sobre o conceito do “calor”. Entretanto, deve-se tomar cuidado para não inferir respostas ou deixar compreensões sobre o calor, uma vez que o intuito é levá-los a construção do conceito de calor através das situações apresentadas. **(5 min)**

- *No final da aula o questionário deverá ser recolhido e entregue a professora, as demais questões serão desenvolvidas na aula seguinte.*

Momentos	Atividades	Tempo Estimado
1º Momento	Aplicação do questionário inicial	(45 min)
2º Momento	Discussões dialogadas sobre as questões	(5 min)

Recursos didáticos: Material impresso; Quadro para pincel; Apagador; pincéis.

Avaliação: Explicação e justificativa das ideias apresentadas em cada situação.

AULA 03: Leitura e Discussão do texto: “Desenvolvimento histórico do conceito do calor”.**Objetivo:**

- Realizar uma leitura reflexiva e interpretativa do texto “Desenvolvimento histórico do conceito do calor”;
- Instigar os alunos a expor suas compreensões sobre o texto lido através de perguntas escritas, orais e discussão dialogada de modo a esclarecer suas principais dúvidas referente a construção do conceito do calor.

Desenvolvimento:

Primeiro momento: Deve-se iniciar a aula relembrando as reflexões tidas na aula anterior e em seguida entregar aos alunos o texto “Desenvolvimento histórico do conceito do calor”, e orientá-los para que realizem uma leitura atenta sobre as informações presentes no texto, caso sintam a necessidade de fazer anotações no caderno, ou grifar parte do texto, devem fazê-la. (25 min)

Faça a leitura do texto abaixo e em seguida responda o que se pede. Caso tenha alguma dúvida sobre palavras, conceitos ou ache alguma informação importante fique à vontade para grifar.

DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO DO CONCEITO DO CALOR

A palavra calor está frequentemente presente no dia a dia das pessoas, como por exemplo, quando se fala que o clima está quente: “mas que calor!” No entanto, poucas pessoas estão a par do verdadeiro significado desta palavra, como seu conceito foi discutido e sofreu transformações ao longo do século XVIII e até o século XIX.

De acordo com Garcia Houcarde e Rodrigues de Avila (1985, p. 192, *apud* GOMES, 2012) a explicação física dos fenômenos associados com o “calor” passou por três fases: a) a fase em que o calor era considerado um fluido contido nos corpos e intercambiável, a segunda em que b) O calor é uma forma de energia e a mais recente e aceita hoje considera c) **O calor como o nome convencional de um processo**. Para compreender melhor veja como se deu o percurso histórico:

O conceito de calor teve seus primórdios com a descoberta do fogo, pelos homens primitivos. Desde então enraizou-se uma ideia de que tanto o fogo como o sol aqueciam os materiais a sua volta, pois algo passava do fogo para o objeto, este algo estaria presente nos corpos. Logo, com o passar dos séculos, o calor passou a ser visto como uma quantidade mensurável, que se difunde do corpo mais quente para o mais frio, até ser distribuído, de forma que se atinja um estado de equilíbrio. No entanto, isso também poderia ser verificado

ao dispor vários objetos de diferentes temperaturas, tamanhos, e materiais em uma sala, sem a presença do fogo ou do Sol, o calor também seria comunicado a partir do mais quente ao mais frio.

Deste modo, no início do século XVIII existiam duas hipóteses sobre a natureza do calor. A hipótese mais aceita considerava o calor como uma substância presente nos corpos e indestrutível que “preencheria os poros” dos corpos e se escoaria de um corpo mais quente para um corpo mais frio. Essa quantidade de calor será maior quanto maior fosse a temperatura do corpo. O cientista Lavoisier chamou essa substância de calórico. Esta hipótese significava que o calor podia ser transferido de um corpo para outro, mas a quantidade total de calórico se conservaria, podendo até ser armazenada estando isolada do meio externo.

A hipótese rival, da qual dois de seus autores foram os filósofos Francis Bacon e Robert Hooke, explicava o calor como sendo um minúsculo movimento de vibração das partículas dos corpos. Ambas as teorias sobre o conceito de calor explicavam alguns exemplos cotidianos da época, como esfregar dois gravetos um contra o outro e sentir ambos esquentarem. Porém a teoria do calórico sofreu grandes dificuldades em outros exemplos da época, como o citado a seguir.

Segundo a primeira explicação, o calórico era uma substância que ocuparia os “poros” dos corpos, e com isso o calórico teria algum peso que poderia ser medido. Já no século XVIII existiam métodos de se medir tal peso, por menor que fosse. O cientista aventureiro Benjamin Thomson durante a perfuração de canhões realizou a seguinte experiência: ele pesou um pedaço grande de bronze, e logo após perfurou a peça de modo a gerar muito calor por atrito. Com isso ele esperaria que após a perfuração, a peça de bronze apresentasse um peso menor que o inicial. No entanto, ele não percebeu diferença alguma no peso da peça de bronze, e com isso foi levado a crer que o calórico não era algo que se conservava, e sim uma substância ilimitada no material. Assim, essas e outras experiências, levaram os cientistas da época a defenderem a teoria do calor como sendo um movimento vibratório das partículas dos corpos, rejeitando a teoria do calórico.

No século XIX, o cientista James Watt desenvolveu a máquina a vapor, mostrando que o calor poderia ser convertido em energia para movimentar as peças simples de um trem. A máquina a vapor mostrou definitivamente, junto com mais algumas experiências, que calor nada mais é que uma forma de energia. Assim, usando o conceito de calor como sendo movimento vibratório da partícula dos corpos, podemos dizer: o calor é, sim, uma forma de energia, no entanto, é uma quantidade de energia que está sendo transferida de determinado corpo para outro. Essa transferência se dá através de colisões de partículas de um corpo com partículas de outro corpo. Assim sendo, um corpo mais quente é um corpo em que as partículas se movimentam mais rapidamente do que em outro corpo.

Apesar da última teoria ser a mais utilizada ainda hoje, pesquisadores recentes perceberam certas inconsistências na definição de calor como uma forma de energia, ao verificar que quando dizem que calor é energia, e que a energia é transferida de um corpo a outro, nos faz pensar que um corpo só pode transferir aquilo que tem e nesta definição

entendemos que o corpo transfere o calor ou a energia que tem, se referindo a ideia de calor como fluido.

Sendo assim, compreendemos que o calor não pode ser um fluído e nem uma forma de energia, mas sim o nome convencional de um processo, ou melhor é o nome dado ao processo que consiste em uma forma muito especial de um conjunto de microtrabalhos, na qual participa um número muito grande de partículas, em nível microscópico, que surge quando dois ou mais corpos, de diferentes temperaturas, são colocados próximos ou em contato, no qual causa variação de energia em ambos os sistemas. Mas é importante ter em mente que a variação de energia em um sistema sempre é acompanhada por uma variação oposta de energia no meio externo em que as interações com o sistema ocorreram. Assim, quanto maior for a diferença entre as temperaturas, mais intenso será o processo de calor, que terminará apenas quando o equilíbrio térmico do sistema for atingido.

Adaptado de BARBOSA e BUFFON, 2016.

TESTE DE LEITURA

TL1 – Após a leitura do texto ficou algo confuso? Se a resposta for afirmativa, destaque a parte que foi mais difícil compreender e explique o que está confuso para você.

Segundo momento: Após a leitura abrir espaço para o diálogo com os alunos, buscando primeiramente responder à questão do teste de leitura, sobre o que ficou confuso após a leitura do texto, instigando-os a exporem suas dúvidas e dificuldades. Essa ação se faz importante uma vez que os educandos em geral possuem dificuldades em expressar e escrever com clareza seu pensamento, suas dúvidas ou avaliarem suas interpretações, podendo se tornar um processo longo que requer estímulos do professor e o estabelecimento de relação de confiança entre aluno e professor.

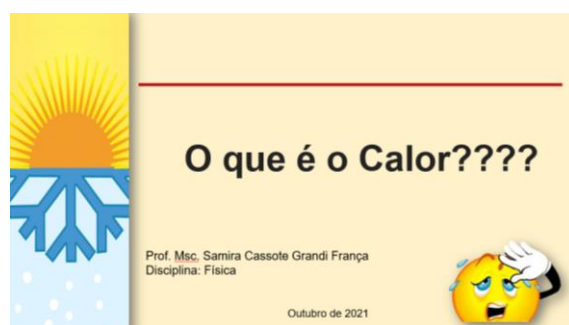
Em seguida o professor deve instigá-los por meio do diálogo sobre as ideias principais do texto, evidenciando as diferentes concepções surgidas ao longo do tempo a respeito da natureza do calor, buscando levantar indícios sobre a compreensão e interpretação que fizeram com a leitura do texto a respeito das três formas de interpretação do calor e qual delas possuem maior fundamento nos nossos dias atuais. Segue no quadro abaixo algumas ideias de questionamentos que poderão ser utilizados para guiar os diálogos. **(25 min)**

Quadro – questionamentos guia para os diálogos

GUIA PARA OS QUESTIONAMENTOS⁶⁹

1. Com base no texto quais são as formas de se referir ao calor?
2. Quais eram as primeiras ideias sobre a natureza do calor?
3. O que levou os filósofos a terem uma primeira compreensão sobre o que seria o calor?
4. Como compreendiam e explicavam o conceito “calor”?
5. O que levou a contestarem a teoria do calor como calórico?
6. Quais interpretações tinham os cientistas sobre o conceito de calor como energia?
7. Qual a teoria mais aceita hoje para o conceito de calor?
8. Porque alguns autores contestam a definição de calor como uma forma de energia?
9. Como explicam o calor como o nome convencional de um processo?

Slides utilizados



1. Com base no texto quais são as formas de se referir ao calor?

- a) a fase em que o calor era considerado um fluido contido nos corpos e intercambiável, a segunda em que
- b) O calor é uma forma de energia e a mais recente e aceita hoje considera
- c) O calor como o nome convencional de um processo.

2. Quais eram as primeiras ideias sobre a natureza do calor?

- Algo relacionado ao fogo, em que sentia-se o aquecimento, seja do fogo como o sol.
- algo passava do fogo para o objeto, este algo estaria presente nos corpos.



3. O que levou os filósofos a terem uma primeira compreensão sobre o que seria o calor?

- A necessidade de explicar a origem e composição do Universo.



⁶⁹ Neste momento também pode-se utilizar questionamentos metacognitivos de forma escrita ou oral referentes ao conhecimento do conhecimento como os utilizados e apresentados nos trabalhos de Rosa (2011; 2014; 2017).

4. Como compreendiam e explicavam o conceito "calor"?

Aristóteles acreditava que os materiais eram formados por quatro elementos (Fogo, Terra, Ar, Água), sendo o Fogo um deles presente no interior dos corpos. Assim o calor seria um efeito produzido pela união de dois elementos.

Já Platão associava o calor a um movimento de partículas presentes no interior dos corpos.



Calor = temperatura

- Calor como movimento;
- Calor associado a um elemento presente nos corpos;
- XVII Intensificação das correntes.

O que fez de fato se solidificar a primeira concepção de calor?

- Surgimento e aprimoramento dos termômetros;



4. Qual era a ideia tida pelos cientistas sobre o calórico?

o calor como uma **substância/fluido** presente nos corpos e indestrutível que "preencheria os poros" dos corpos e se escoaria de um corpo mais quente para um corpo mais frio. Essa quantidade de calor será maior quanto maior fosse a temperatura do corpo. O cientista Lavoisier chamou essa substância de calórico.

Calórico poderia ser transferido, conservado, e armazenado.

5. O que levou a contestarem a teoria do calor como calórico?

- o calórico era uma substância que ocuparia os "poros" dos corpos, e com isso o calórico teria algum peso que poderia ser medido.
- Thompson durante a **perfuração de canhões** realizou a seguinte experiência: ele pesou um pedaço grande de bronze, e logo após perfurou a peça de modo a gerar muito calor por atrito. Com isso ele esperaria que após a perfuração, a peça de bronze apresentasse um peso menor que o inicial. No entanto, ele não percebeu diferença alguma no peso da peça de bronze, e com isso foi levado a crer que o calórico não era algo que se conservava.

O calor poderia ser gerado!!



*Primeiras contestações: os resultados apenas fortaleceram os adeptos da concepção dinâmica do calor, mas não foram suficientes para pôr fim a teoria do calórico.

descobertas entre elas o princípio da conservação da energia, e a aceitação generalizada da natureza ondulatória da luz, "deu uma boa razão para colocar todas as ciências sob um único guarda-chuva, ou seja, eletricidade, magnetismo, ótica, calor e mecânica" (QUEIRÓS; NARDI; DELIZOICOV NETO, 2019, p.681).



Benjamin Thompson
"perfuração de canhões"

Com a Revolução Industrial e o desenvolvimento da máquina a vapor, no século XIX, os cientistas James Watt, Joule, e outros, mostraram através de várias experiências que o calor poderia ser convertido em energia para movimentar.



<https://static.todoamateria.com.br/uploads/n/ae/maae5-cke-aze>



James Watt – Máquina a vapor



James Prescott Joule



Julius Robert Von Mayer

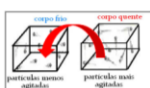
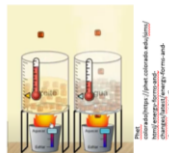
equivalente mecânico do calor

6. Quais interpretações tinham os cientistas sobre o conceito de calor como energia?

- Quantidade de energia que está sendo transferida do corpo de maior temperatura para o corpo de menor temperatura.

- Essa transferência se dá através do movimento vibratório das partículas/moléculas de um corpo para as partículas de outro corpo.

- Assim sendo, um corpo mais quente é um corpo em que as partículas se movimentam mais rapidamente do que em outro corpo.



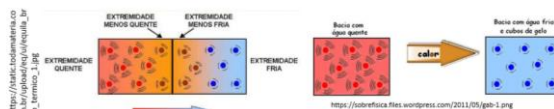
<https://static.todoamateria.com.br/uploads/n/ae/maae5-cke-aze>

7. Qual a teoria mais aceita hoje para o conceito de calor?



8. Porque alguns autores contestam a definição de calor como uma forma de energia?

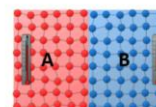
Quando dizem que calor é energia, e que a energia é transferida de um corpo a outro, nos faz pensar que um corpo só pode transferir aquilo que tem e nesta definição entendemos que o corpo transfere o calor ou a energia que tem, se referindo a ideia de calor como fluido.



Se cede calor/energia é porque tem esse calor/energia armazenado

9. Como explicam o calor como o nome convencional de um processo?

é o nome dado ao processo que consiste em uma forma muito especial de um conjunto de microtrabalhos, na qual participa um número muito grande de partículas, em nível microscópico, que surge quando dois ou mais corpos, de diferentes temperaturas, são colocados próximos ou em contato, no qual causa variação de energia em ambos os sistemas.



ΔU_A ΔU_B
 ΔT_A ΔT_B

Momentos	Atividades	Tempo Estimado
1º Momento	Leitura do texto	(25 min)
2º Momento	Discussão sobre as informações e compreensões sobre o texto	(25 min)

Recursos didáticos: texto impresso para cada aluno, slide, data show (ou multimídia) quadro branco, pincel.

Verificação de Aprendizagem: Participação durante as discussões.

AULA 04: Problematização, Discussão e Interpretação sobre o conceito do calor

Objetivo:

- Apresentar uma situação problema referente ao contexto cotidiano do aluno que utilize o conceito de calor, bem como descrever as respostas com base em cada uma das formas de interpretação do calor.
- Conceitualizar as três concepções do calor por meio da discussão da situação-problema e das questões de interpretação.

Desenvolvimento:

Primeiro momento: Dando sequência as compreensões estabelecidas na aula anterior o professor deve apresentar uma situação problema aos alunos envolvendo o conceito do calor, onde uma mãe na tentativa de esfriar o leite para o filho coloca a mamadeira no interior de um recipiente com água. Em seguida deve-se questionar os alunos inicialmente por que a mãe utiliza a água, qual deve ser a temperatura da água para que ela alcance o objetivo, e por fim, instiga-los a manifestar suas opiniões a fim de explicar a diminuição da temperatura do leite utilizando essa técnica e como ficaria as explicações com base em cada uma das interpretações do calor. **(15 min)**

INTERPRETAÇÃO E APLICAÇÃO DO CONCEITO DE CALOR

Para melhor compreender como o conceito de calor foi interpretado ao longo do tempo, e quais eram as características marcantes de cada definição, ou interpretação vamos pensar no seguinte exemplo: Uma mãe após preparar o leite para o filho percebe que este está quente. Para resolver o problema coloca a mamadeira com leite em um recipiente contendo água da torneira. Como explicar a diminuição da temperatura do leite usando este procedimento?



Segundo Momento: Após o momento de exposição do problema e discussão com os alunos entrega-se uma folha contendo a questão problema e as respostas ao problema com base em cada definição do calor, conforme quadro abaixo. Individualmente os alunos devem ler as respostas e em seguida realizar o teste de leitura indicando as características de cada interpretação para o calor. Oriente-os a se necessário ou achar importante grifar frases, palavras, termos desconhecidos, ou fazer anotações. **(15 min)**

Orientações:

Faça a leitura do texto abaixo e em seguida responda o que se pede. Caso tenha alguma dúvida sobre palavras, conceitos ou ache alguma informação importante fique à vontade para grifar ou fazer anotações.

INTERPRETAÇÃO E APLICAÇÃO DO CONCEITO DE CALOR

Para melhor compreender como o conceito de calor foi interpretado ao longo do tempo, e quais eram as características marcantes de cada definição, ou interpretação vamos pensar no seguinte exemplo: Uma mãe após preparar o leite para o filho percebe que este está quente. Para resolver o problema coloca a mamadeira com leite em um recipiente contendo água da torneira. Como explicar a diminuição da temperatura do leite usando este procedimento?



a) Características do conceito de calor como “um fluido contido nos corpos e intercambiável” presente na explicação do fenômeno térmico (análise macroscópica da situação):

Para explicar a estratégia usada pela mãe, para esfriar o leite utilizando a teoria do calor como um fluido, considera-se com base no texto anterior que a temperatura do material esteja completamente relacionada à quantidade de calor presente nele. Deste modo, como o leite está mais quente, a quantidade de calor é maior no leite do que na água. Assim, ao colocar a mamadeira em contato com a água, acontecerá uma troca de fluidos, ou seja, o calor flui do corpo mais quente (leite) para o corpo mais frio (água), até que suas temperaturas sejam as mesmas, ou seja até que atinjam o equilíbrio térmico. Quando as temperaturas se igualarem, o calor deixa de passar para o outro corpo, e deste modo o leite terá sua temperatura diminuída.

b) Características do conceito de calor como “uma forma de energia” presente na explicação do fenômeno térmico (transição entre análise macro e microscópica):

Quando um corpo possui maior temperatura dizemos que suas moléculas possuem mais energia, caso sua temperatura diminua, as moléculas perdem energia. No entanto, se a temperatura do corpo aumenta suas moléculas ganham energia, ocasionando então entre os corpos, uma transferência de energia. Dizemos que o calor é energia “em trânsito”, energia essa que é transferida de um corpo ou sistema a outro mediante a diferença de temperatura entre eles, ou seja, o calor passa espontaneamente do corpo de maior temperatura para o corpo de menor temperatura.

Sendo assim para explicar o exemplo, podemos dizer que durante o preparo do leite, ocorre uma transferência de energia da chama do fogão para a panela, e por sua vez para o leite, aumentando sua temperatura, desta forma as moléculas ganham energia. Colocando então em contato a mamadeira+leite com a água que está a uma temperatura diferente, acontecerá uma transferência de calor, de modo que o leite cede calor, diminuindo sua temperatura, e a água da torneira recebe calor, aumentando sua temperatura, até atingirem a mesma temperatura, ou seja o equilíbrio térmico.

c) Exemplo de quando o conceito de calor como “um nome convencional de um processo” está presente na explicação de um fenômeno térmico (análise microscópica):

Nesse caso, podemos explicar, da seguinte forma: Associamos o aumento da temperatura de um objeto ao aumento da energia de vibração de suas moléculas, logo estando o leite com uma maior temperatura e para que ocorra uma diminuição de sua temperatura é preciso uma diminuição na energia de vibração de suas moléculas. Nessa experiência, realizada pela mãe, ocorrerá uma interação entre a “água” e o “leite”, acarretando um conjunto de microtrabalhos, em nível microscópico, realizados pelas moléculas dos dois objetos, que ocorrem como consequência do contato entre o leite na mamadeira e a água, que estão com diferentes temperaturas, assim acontecerá uma variação de energia e de temperatura no leite, e uma variação de energia e temperatura oposta na água, até que ambas alcancem a mesma temperatura, ou seja, o equilíbrio térmico.

TESTE DE LEITURA

TL1 – Após a leitura do texto ficou algo confuso? Se a resposta for afirmativa, destaque a parte que foi mais difícil compreender e explique o que está confuso para você.

TL2 - A palavra calor, subentendida como “um fluido contido nos corpos e intercambiável”, está presente em qual afirmação abaixo:

- a) **Substância abundante nos corpos quentes.**
- b) Processo que faz variar a energia de um sistema.
- c) Ocorre de forma espontânea, de modo que o corpo de maior temperatura cede calor ao corpo de menor temperatura;
- d) Não está presente em nenhuma das afirmações anteriores.

TL3 - A palavra calor, subentendida como “uma forma de energia”, está presente em qual afirmação abaixo:

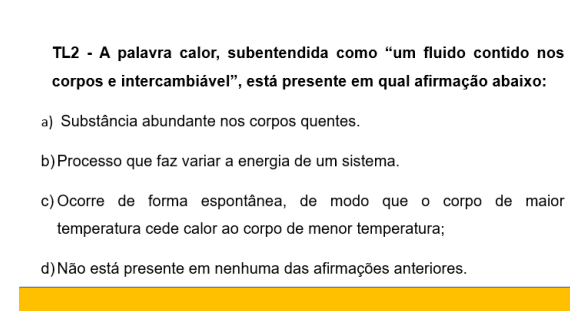
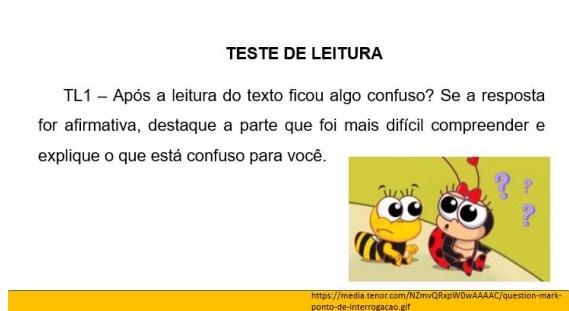
- a) Substância abundante nos corpos quentes.
- b) Processo que faz variar a energia de um sistema.
- c) Ocorre de forma espontânea, de modo que o corpo de maior temperatura cede calor ao corpo de menor temperatura;
- d) Não está presente em nenhuma das afirmações anteriores.

TL4 - A palavra calor, subentendida como “um nome convencional de um processo”, está presente em qual afirmação abaixo:

- a) Substância abundante nos corpos quentes.
- b) Processo que faz variar a energia de um sistema.
- c) Ocorre de forma espontânea, de modo que o corpo de maior temperatura cede calor ao corpo de menor temperatura;
- d) Não está presente em nenhuma das afirmações anteriores

3º Momento: O professor deve dar espaço inicialmente para que os alunos apresentem suas respostas referente a questão 1 do teste de leitura, expondo sua avaliação sobre a leitura do texto e o que ficou difícil de compreender. Em seguida de forma dialogada deve-se corrigir as questões do teste de leitura questionando os alunos sobre cada forma de interpretar o conceito do calor, sempre retomando as características que diferenciam uma forma de outra, para que possam compreender os argumentos de cada teoria. (25 min)

Slides utilizados



a) Características do conceito de calor como “um fluido contido nos corpos e intercambiável” presente na explicação do fenômeno térmico (análise MACROSCÓPICA da situação):

Para explicar a estratégia usada pela mãe, para esfriar o leite utilizando a teoria do calor como um fluido, considera-se com base no texto anterior que a temperatura do material esteja completamente relacionada à quantidade de calor presente nele. Deste modo, como o leite está mais quente, a quantidade de calor é maior no leite do que na água. Assim, ao colocar a mamadeira em contato com a água, acontecerá uma troca de fluidos, ou seja, o calor flui do corpo mais quente (leite) para o corpo mais frio (água), até que suas temperaturas sejam as mesmas, ou seja até que atinjam o equilíbrio térmico. Quando as temperaturas se igualarem, o calor deixa de passar para o outro corpo, e deste modo o leite terá sua temperatura diminuída.



TL3 - A palavra calor, subentendida como “uma forma de energia”, está presente em qual afirmação abaixo:

- a) Substância abundante nos corpos quentes.
- b) Processo que faz variar a energia de um sistema.
- c) Ocorre de forma espontânea, de modo que o corpo de maior temperatura cede calor ao corpo de menor temperatura;
- d) Não está presente em nenhuma das afirmações anteriores.

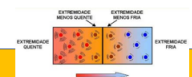
TL2 - A palavra calor, subentendida como “um fluido contido nos corpos e intercambiável”, está presente em qual afirmação abaixo:

- a) **Substância abundante nos corpos quentes.**
- b) Processo que faz variar a energia de um sistema.
- c) Ocorre de forma espontânea, de modo que o corpo de maior temperatura cede calor ao corpo de menor temperatura;
- d) Não está presente em nenhuma das afirmações anteriores.

b) calor como “uma forma de energia” (transição entre macro-micro):

Quando um corpo possui maior temperatura dizemos que suas moléculas possuem mais energia, caso sua temperatura diminua, as moléculas perdem energia. No entanto, se a temperatura do corpo aumenta suas moléculas ganham energia, ocasionando então entre os corpos, uma transferência de energia. Dizemos que o calor é energia “em trânsito”, energia essa que é transferida de um corpo ou sistema a outro mediante a diferença de temperatura entre eles, ou seja, o calor passa espontaneamente do corpo de maior temperatura para o corpo de menor temperatura.

Sendo assim, durante o preparo do leite, ocorre uma transferência de energia da chama do fogão para a panela, e por sua vez para o leite, aumentando sua temperatura. Colocando em contato com a água que está a uma temperatura diferente, acontecerá uma transferência de calor, de modo que o leite cede calor, diminuindo sua temperatura, e a água da torneira recebe calor, aumentando sua temperatura, até atingirem a mesma temperatura, ou seja o equilíbrio térmico.



TL3 - A palavra calor, subentendida como “uma forma de energia”, está presente em qual afirmação abaixo:

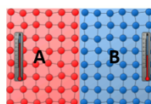
- a) Substância abundante nos corpos quentes.
- b) Processo que faz variar a energia de um sistema.
- c) **Ocorre de forma espontânea, de modo que o corpo de maior temperatura cede calor ao corpo de menor temperatura;**
- d) Não está presente em nenhuma das afirmações anteriores.

TL4 - A palavra calor, subentendida como “um nome convencional de um processo”, está presente em qual afirmação abaixo:

- a) Substância abundante nos corpos quentes.
- b) Processo que faz variar a energia de um sistema.
- c) Ocorre de forma espontânea, de modo que o corpo de maior temperatura cede calor ao corpo de menor temperatura;
- d) Não está presente em nenhuma das afirmações anteriores

c) calor como “um nome convencional de um processo” (VISÃO MICROSCÓPICA)

Nesse caso, podemos explicar, da seguinte forma: Associamos o aumento da temperatura de um objeto ao aumento da energia de vibração de suas moléculas, logo estando o leite com uma maior temperatura e para que ocorra uma diminuição de sua temperatura é preciso uma diminuição na energia de vibração de suas moléculas. Nessa experiência, realizada pela mãe, ocorrerá uma interação entre a “água” e o “leite”, acarretando um conjunto de microtrabalhos, em nível microscópico, realizados pelas moléculas dos dois objetos, que ocorrem como consequência do contato entre o leite na mamadeira e a água, que estão com diferentes temperaturas, assim acontecerá uma variação de energia e de temperatura no leite, e uma variação de energia e temperatura oposta na água, até que ambas alcancem a mesma temperatura, ou seja, o equilíbrio térmico.



$$\frac{\Delta U_A}{\Delta T_A} \quad \frac{\Delta U_B}{\Delta T_B}$$

TL4 - A palavra calor, subentendida como “um nome convencional de um processo”, está presente em qual afirmação abaixo:

- a) Substância abundante nos corpos quentes.
- b) **Processo que faz variar a energia de um sistema.**
- c) Ocorre de forma espontânea, de modo que o corpo de maior temperatura cede calor ao corpo de menor temperatura;
- d) Não está presente em nenhuma das afirmações anteriores

Momentos	Atividades	Tempo Estimado
1º Momento	Discussão questão problema	15 min
2º Momento	Leitura e interpretação das respostas para o problema	15 min
3º Momento	Correção das atividades do teste de leitura de forma dialogada.	20 min

Recursos didáticos: Datashow, textos impressos para cada aluno, slide, quadro branco, pincel.

Verificação de Aprendizagem: Resolução de problemas e questionamentos durante a aula.

AULA 05: Abordagem 1: Retomada da questão 2 do Questionário Inicial

Objetivo da aula:

- Análise, discussão e elaboração de resposta para a questão 2 do questionário inicial tendo como base cada uma das três concepções do calor.

Desenvolvimento:

Primeiro momento: Dando sequência ao processo de construção do conceito de calor iniciado na aula anterior, dando ênfase na compreensão de calor como o nome de um processo, deve-se organizar os alunos em grupo (atente-se para que não ultrapasse 4 integrantes em cada, a fim de possibilitar maior dinamicidade e participação de todos os integrantes no grupo). Em seguida oriente os alunos para que um integrante seja responsável por escrever a conclusão do grupo na folha entregue pela professora, como também que um integrante fique responsável em gravar as discussões e posteriormente encaminhar o áudio a professora. **(15 min)**

Segundo momento: Entregar a situação de número 2 presente no questionário inicial a cada grupo, conforme apresenta-se no quadro abaixo. Como comando da atividade os alunos devem apresentar três respostas para o mesmo problema, uma abordando os aspectos da teoria do calor como uma substância, outra do calor como uma forma de energia e, por fim, do calor como o nome de um processo, conforme apresentado abaixo. **(35 min)**

Objetivo da atividade:

- Ler e classificar as respostas iniciais referente a questão 2 do questionário inicial de acordo com uma das concepções do calor;
- Elaborar de forma colaborativa com o grupo três respostas para a questão 2 visando contemplar cada uma das concepções do calor - a) um fluido contido nos corpos e intercambiável; b) uma forma de energia e c) o nome convencional de um processo;
- Expressar por meio do diálogo com a sala e com a professora a conclusão do grupo;

- Reavaliar suas respostas a questão 2 de forma colaborativa com o grupo, distinguindo cada uma das concepções estudadas, a fim de potencializar seu aprendizado.

TRABALHO EM GRUPO 1

ORIENTAÇÕES:

1. Cada integrante do grupo deve ler em voz alta para os demais sua resposta para a **questão 2** da atividade anterior (questionário 1) que foi entregue ao seu grupo. Após cada um ler a sua resposta tente ver com qual das definições do calor ela mais se aproxima.
2. Agora respondam novamente à questão 2, com a contribuição de todos do grupo anotando suas conclusões.

SITUAÇÃO PROBLEMA 2: Dois recipientes A e B contendo mesma quantidade de água, mas a temperaturas diferentes são posicionados sobre uma mesa conforme representados na imagem ao lado, e imediatamente é colocado sobre eles uma caixa que os mantém isolados do meio externo.



Fonte: Martini, et al., 2016, p.18

- a) Com o passar do tempo, o que acontecerá com a temperatura da água no recipiente A? e no recipiente B?
- b) O que aconteceu entre os recipientes que ocasionou essa mudança na temperatura? Explique, detalhadamente, o seu raciocínio.

- Apresente uma resposta para a situação 2 ao qual contenha os aspectos da definição do **CALOR COMO UM FLUÍDO**.

- Apresente uma resposta para a situação 2 ao qual contenha os aspectos da definição do **CALOR COMO UMA FORMA DE ENERGIA**:

- Apresente uma resposta para a situação 2 ao qual contenha os aspectos da definição do **CALOR COMO O NOME DE UM PROCESSO**:

Terceiro Momento:

Após todos os grupos terem terminado de elaborar suas respostas, orientar os alunos para que cada grupo eleja um integrante para ler suas respostas referente a cada concepção do calor para a sala, e por meio de um diálogo em que todas as vozes sejam ouvidas, realizar uma discussão crítica-reflexiva sobre as respostas apresentadas. Para cada concepção (a) calor como um fluido; b) calor como uma forma de energia; c) calor como o nome convencional de um processo.) levar os alunos a reconhecer as diferenças utilizadas por cada grupo para cada concepção, de modo que possam tomar consciência das características de cada concepção, auxiliando os alunos na aprendizagem dos conteúdos e conceitos que ainda estavam com dúvidas. **(30 min)**

Quarto Momento: Para encerrar a atividade aplicar a última *estratégia de ensino metacognitiva* planejada:

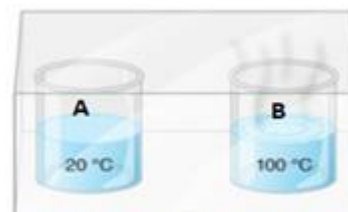
- 4) solicitar que um integrante do grupo leia para os demais a resposta formulada pelo grupo tendo como base cada uma das concepções de calor;
- 5) Solicitar que dialoguem entre si analisando novamente suas respostas, tomando como base as discussões realizadas por toda a sala e as respostas descritas na folha entregue pela professora, podendo complementá-las, reformulá-las, alterá-las, ou caso necessitem inverter as respostas para que melhor representassem cada concepção. **(20 min)**

TRABALHO 3 – GRUPO _____**ORIENTAÇÕES**

1. Leia a resposta da professora para a situação-problema apresentada onde for apresentada os aspectos da definição “calor como um fluido” e em seguida leia a resposta do grupo.
2. Converse entre os integrantes do grupo até chegar à conclusão do que precisa ser reformulado, alterado, complementado, ou caso precise inverter as respostas de definição, para que essas respostas fiquem de acordo com as respostas apresentadas pela professora e de acordo com a definição estabelecida.

SITUAÇÃO PROBLEMA 2:

Dois recipientes A e B contendo mesma quantidade de água, mas a temperaturas diferentes são posicionados sobre uma mesa conforme representados na imagem ao lado, e imediatamente é colocado sobre eles uma caixa que os mantém isolados do meio externo.



Fonte: Martini, et al., 2016, p.18

- a) Com o passar do tempo, o que acontecerá com a temperatura da água no recipiente A? e no recipiente B?
- b) O que aconteceu entre os recipientes que ocasionou essa mudança na temperatura? Explique, detalhadamente, o seu raciocínio.

Calor como um fluido: A temperatura da água do recipiente A irá aumentar, e do recipiente B irá diminuir. Isso acontecerá, pois, estando o corpo B a uma temperatura maior que o corpo A esse terá também uma quantidade de calor maior que em A. Ao manter o sistema isolado do meio externo, a troca de calor ocorrerá apenas no interior do sistema fechado. Como os dois recipientes estão distantes um do outro, ocorrerá primeiramente uma troca de calor entre o recipiente B e o ar, e entre o ar e o corpo A que está a uma temperatura menor, até atingirem o equilíbrio térmico.

Calor como um fluido:

Calor como uma forma de energia: A temperatura da água do recipiente A irá aumentar, e do recipiente B irá diminuir. Isso acontecerá, pois, estando os recipientes A e B a diferentes temperaturas, onde o corpo B apresenta uma maior temperatura, suas moléculas também terão maior energia de vibração. Desta forma, por estarem ambos os recipientes isolados do meio externo, ocorrerá uma transferência de energia do corpo B para o corpo A, de modo que o corpo B diminuirá sua temperatura, ao ceder ao A, e o corpo A terá um aumento de temperatura ao receber energia do corpo B.

Calor como uma forma de energia:

Calor como o nome de um processo: A temperatura da água do recipiente A irá aumentar, e do recipiente B irá diminuir. Isso acontecerá, pois, estando o recipiente A e B a diferentes temperaturas e estes abertos e isolados do meio externo, ocorrerá interações apenas internas entre as moléculas de água dos dois recipientes e o ar. Como sabemos as moléculas no interior de cada material possui um movimento que é específico de cada material, com o aumento da temperatura aumenta-se também a energia de vibração das moléculas. Como os recipientes estão abertos no interior do sistema isolado, ocorrerá uma interação entre as moléculas de água a 100°C e o ar, e entre o ar e as moléculas de água a 20°C. Na interação ocorre um conjunto de microtrabalhos realizados pelas moléculas, fazendo variar a energia dos sistemas, e consequentemente suas temperaturas, até que atinjam o equilíbrio térmico, assim ocorrerá uma diminuição na temperatura de B, e um aumento na temperatura de A.

Calor como o nome de um processo:

Momentos	Atividades	Tempo Estimado
1º Momento	Organização dos alunos em grupo	(15 min)
2º Momento	Trabalho em grupo: discussões questão 2 do questionário inicial	(35 min)
3º Momento	Discussão crítica-reflexiva sobre as respostas apresentadas	(30 min)
4º Momento	Retomada da questão 2 em grupo	(20 min)

Recursos didáticos: Atividade impressa para cada grupo, resposta dos alunos referente a questão 2 do questionário inicial, gravador de voz.

Verificação de Aprendizagem: Resolução de problemas.

AULA 06: TEXTO: “Condutibilidade Térmica dos Materiais”

Objetivo:

- Compreender o conceito de condutibilidade térmica dos materiais e integrá-las a cada uma das concepções do calor.

Objetivos específicos:

- Experimentar as sensações de quente e frio a partir do toque de diferentes materiais no interior da sala;
- Determinar a temperatura de diferentes objetos na sala por meio da utilização de instrumentos de medida;
- Realizar uma leitura reflexiva e interpretativa do texto “*Entendendo a sensação de quente e frio de alguns materiais*” associando ao fenômeno da condutibilidade térmica dos materiais;
- Distinguir e conceitualizar cada explicação contida no texto de acordo com cada concepção do calor;
- Aplicar as concepções estudadas para o calor e o fenômeno da condutibilidade térmica em diferentes situações problemas.

Desenvolvimento:

Primeiro momento: Retomar junto aos alunos a compreensão das formas de interpretação do calor, e em seguida questionar aos alunos sobre porque temos diferentes sensações ao tocar os objetos no interior de um ambiente. Em seguida por meio de um termômetro analógico fazer a medida de vários objetos dispostos na sala, a fim de que percebam que a temperatura é a mesma. Questioná-los: O que causa esta diferença sentida ao tocarmos? Como explicar? **(15 min)**

Segundo Momento: Após esses questionamentos, deve-se entregar aos alunos o texto “Entendendo a sensação de quente e frio de alguns materiais” para que leiam e respondam o teste de leitura de forma individual. **(15 min)**

Orientações:

Faça a leitura do texto abaixo e em seguida responda o que se pede. Caso tenha alguma dúvida sobre palavras, conceitos ou ache alguma informação importante fique à vontade para grifar ou fazer anotações.

ENTENDENDO A SENSACÃO DE QUENTE E FRIO DE ALGUNS MATERIAIS

Você provavelmente já deve ter tido a experiência de uma vez ou outra em sua casa tocar alguns objetos e ter percebido que alguns aparentavam estar mais frios que outros, e então rapidamente ter se perguntado o porquê sendo que todos estão no mesmo ambiente e, portanto, com a mesma temperatura.

Os adeptos da teoria do calor como um fluido (teoria do calórico), acreditavam por exemplo, que sentiríamos a lareira e a mesa mais frios que o tapete ou o livro porque esses últimos não são tão bons condutores de calor como os primeiros. O Calórico (como era chamado, ou melhor o calor como sendo um fluido) encontra uma passagem mais fácil penetrando os espaços vazios ao longo do mármore do que ao longo da madeira, do couro e da lã; o primeiro, portanto, absorve o calor mais rapidamente de sua mão, e, conseqüentemente, dão-lhe uma forte sensação de frio do que os dois últimos, apesar de estarem todos eles realmente à mesma temperatura (MARCET, 1817 apud GOMES, 2012, p.172).

Já os autores de livros didáticos hoje, por defenderem a ideia de calor como uma forma de energia, explicam que quando tocamos em uma peça de metal e em um pedaço de madeira, ambos em um mesmo ambiente, isto é, ambos à mesma temperatura, o metal nos dá a sensação de estar mais frio do que a madeira porque, sendo o metal um condutor térmico melhor do que a madeira, haverá uma maior transferência de calor de nossa mão (pois está a uma maior temperatura, cujas moléculas vibram mais rápido diferente da peça metálica e a de madeira que estão a mesma temperatura) para a peça metálica do que para o pedaço de madeira. (MÁXIMO; ALVARENGA, 2000 apud GOMES, 2012, p.172). Assim ao perdemos calor teremos a sensação da peça fria, pois a perda de calor é muito rápida, diferente da madeira.

Apesar, de algumas palavras diferentes as duas explicações referem-se à sensação de frio devido a passagem de calor de um corpo de maior temperatura (no caso nosso corpo) para outro de menor temperatura. Ou seja, recaímos na ideia de que o calor é algo “material”, “substancial”, que sai de um corpo para entrar em outro, onde na verdade deveríamos ao falar em calor, nos referir ao nome de um processo, um conjunto de microtrabalho que são realizados pelas moléculas internamente e ao qual não podemos ver, mas verificar seu efeito, que é a variação de energia e conseqüentemente a variação de temperatura dos dois sistemas.

Antes de tentarmos explicar essa situação utilizando as características do calor como o nome convencional de um processo, precisamos entender que durante qualquer interação entre dois sistemas, a variação de energia é mais ou menos intensa devido a maneira como as partículas que compõem os objetos estão organizadas, ou seja, temos diferentes sensações ao tocar a maçaneta da porta, um livro, ou qualquer outro objeto devido ao fato das partículas que compõem esses objetos estarem organizadas de maneiras distintas. Essa organização está associada a combinação dos elétrons, presentes em cada substância e sua facilidade de interagir com outros elétrons. Os metais por possuírem elétrons muito afastados do núcleo, tem uma capacidade de mobilidade e interação com elétrons de outros materiais muito maior do que outras substâncias. A esta facilidade damos o

**Condutividade Térmica
de Materiais a 27°C**

Materiais	Cond. Térmica (J/s.m.K)
Prata	426
Cobre	398
Alumínio	237
Tungstênio	178
Ferro	80,3
Vidro	0,72 a 0,86
Água	0,61
Tijolo	0,4 a 0,8
Madeira (Pinho)	0,11 a 0,14
Fibra de vidro	0,046
Espuma de poliestireno	0,033
Air	0,026
Espuma de poliuretano	0,020

nome de condutibilidade, assim, materiais em que há maior interação molécula-molécula, chamamos de condutores e onde as moléculas interagem menos umas com as outras chamamos de maus-condutores, ou isolantes.

Então diríamos que: Ao tocarmos qualquer material ocorrerá devido a diferença de temperatura entre nossa mão e o objeto, um conjunto de microtrabalhos, realizados pelas moléculas em nível microscópico, o que causará a mesma variação de energia interna em módulo, na mão e no objeto. No entanto, como inicialmente a mão está a uma temperatura maior, do que por exemplo o seu livro didático deixado sobre a sua mesa de estudos, ou a maçaneta da porta, a mão terá uma variação de energia interna negativa. Analisando cada material após o contato, e como as partículas de cada objeto possuem configurações e interações diferentes, a variação de energia interna será mais rápida em um objeto do que no outro. O nosso cérebro interpreta, por mecanismos ainda desconhecidos pela ciência, que, quanto mais rápido houver uma variação de energia interna negativa de nossa mão ao tocar um determinado objeto, mais fria é a sensação que se tem.

TESTE DE LEITURA

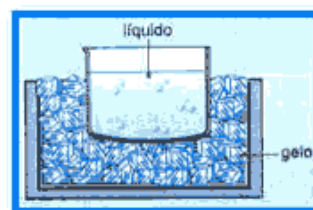
TL1 – Após a leitura do texto ficou algo confuso? Se a resposta for afirmativa, destaque a parte que foi mais difícil compreender e explique o que está confuso para você.

TL2. Quando uma pessoa pega na geladeira uma garrafa de cerveja e uma lata de refrigerante à mesma temperatura, tem sensações térmicas diferentes, porque....

- a) A garrafa possui maior calor específico.
- b) A lata possui menor capacidade térmica.
- c) A lata possui maior coeficiente de condutibilidade térmica.
- d) A garrafa possui maior dilatação térmica.

TL3. Para resfriar um líquido, é comum colocar a vasilha que o contém dentro de um recipiente com gelo, conforme a figura. Para que o resfriamento seja mais rápido, é conveniente que a vasilha seja de:

Dados: $K_{\text{porcelana}} = 3,0 \text{ J/s.m.K}$ $K_{\text{plástico}} = 0,25 \text{ J/s.m.K}$
 $K_{\text{alumínio}} = 237 \text{ J/s.m.K}$ $K_{\text{vidro}} = 0,72 \text{ J/s.m.K}$



- a) alumínio b) vidro c) porcelana d) plástico

Por que? Explique:

TL4. Na escola de Rosa, a comida é preparada aos alunos em panelas de ferro e de porcelana. Na hora do intervalo os alunos podem escolher se servir em pratos de vidro, alumínio ou plástico, bem como tomar o suco em copos de vidro, plástico ou alumínio. Com base nos conhecimentos adquiridos na

leitura, qual das duas panelas a comida ficará quente por mais tempo, e em qual dos pratos e copos você escolheria comer? Explique.

Terceiro Momento: Após a execução da atividade de leitura e do teste de leitura verificar por meio do diálogo se tiverem dificuldade em compreender algum conceito, termo e se algo ficou confuso durante a leitura. Em seguida por meio de um diálogo dirigido de forma crítica-reflexiva entre professora e alunos a fim de que compreendam o conceito da condutibilidade térmica dos materiais e se apropriem dos termos e das formas de interpretar o fenômeno utilizando as três concepções do calor, corrigindo juntamente as questões do teste de leitura. (20 min)

Slides



Condutibilidade térmica

Prof. Msc. Samira Cassote Grandi França
Disciplina: Física

Outubro de 2021



Experiência em sala

O que causa esta diferença sentida ao tocarmos o ferro e madeira? Como explicar?



Hora da Leitura

Texto

ENTENDENDO A SENSÇÃO DE QUENTE E FRIO DE ALGUNS MATERIAIS

TESTE DE LEITURA

TL1 – Após a leitura do texto ficou algo confuso? Se a resposta for afirmativa, destaque a parte que foi mais difícil compreender e explique o que está confuso para você.



<https://media.tenor.com/N2mvQKspW0wAAAAC/question-mark-ponto-de-interrogacao.gif>

Sensação térmica ao tocar os objetos

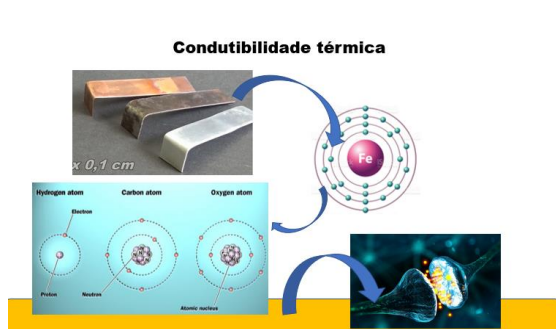


QUENTE X FRIO

São sensações térmicas obtidas pelo tato ou/e através do conjunto pele, sistema nervoso e interação entre as moléculas. São apenas uma expressão qualitativa do estado térmico de um sistema.



<https://www.youtube.com/watch?v=Z7mabWxN2RM>



Condutividade Térmica de Materiais a 27°C

Materiais	Cond. Térmica (J.s.m.K)
Prata	426
Cobre	398
Alumínio	237
Tungstênio	178
Ferro	80,3
Vidro	0,72 a 0,86
Água	0,61
Tijolo	0,4 a 0,8
Madeira (Pinho)	0,11 a 0,14
Fibra de vidro	0,046
Espuma de poliestireno	0,033
Air	0,026

Calor como um fluido

Os adeptos da teoria do calor como um fluido (teoria do calórico), acreditavam por exemplo, que sentiríamos a lareira e a mesa mais frios que o tapete ou o livro porque esses últimos não são tão bons condutores de calor como os primeiros. O Calórico (como era chamado, ou melhor o calor como sendo um fluido) encontra uma passagem mais fácil penetrando os espaços vazios ao longo do mármore do que ao longo da madeira, do couro e da lã; o primeiro, portanto, absorve o calor mais rapidamente de sua mão, e, consequentemente, dão-lhe uma forte sensação de frio do que os dois últimos, apesar de estarem todos eles realmente à mesma temperatura (MARCET, 1817 apud GOMES, 2012, p.172).

Calor como uma forma de energia

Quando tocamos em uma peça de metal e em um pedaço de madeira, ambos em um mesmo ambiente, isto é, ambos à mesma temperatura, o metal nos dá a sensação de estar mais frio do que a madeira porque, sendo o metal um condutor térmico melhor do que a madeira, haverá uma maior transferência de calor de nossa mão (pois está a uma maior temperatura cujas moléculas vibram mais rápido diferente da peça metálica e a de madeira, que estão a mesma temperatura) para a peça metálica do que para o pedaço de madeira. Devido a essa transferência de calor de nossa mão para o corpo perdemos energia, e sentimos frio. No metal essa transferência é muito rápida diferente da madeira. (MÁXIMO; ALVARENGA, 2000 apud GOMES, 2012, p.172).

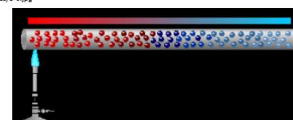
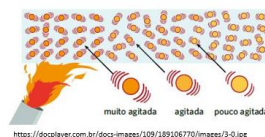


Calor como uma forma de energia

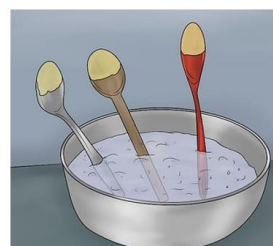
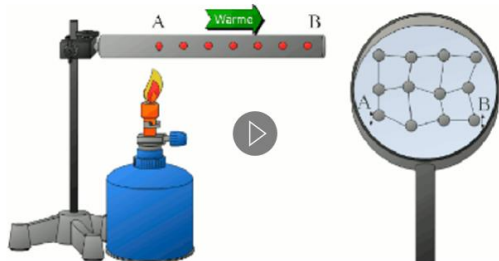
Ao tocarmos qualquer material ocorrerá devido a diferença de temperatura entre nossa mão e o objeto, um conjunto de microtrabalhos, realizados pelas moléculas em nível microscópico, o que causará a mesma variação de energia interna em módulo, na mão e no objeto.

No entanto, como inicialmente a mão está a uma temperatura maior, do que por exemplo o seu livro didático deixado sobre a sua mesa de estudos, ou a maçaneta da porta, a mão terá uma variação de energia interna negativa. Analisando cada material após o contato, e como as partículas de cada objeto possuem configurações e interações diferentes, a variação de energia interna será mais rápida em um objeto do que no outro.

O nosso cérebro interpreta, por mecanismos ainda desconhecidos pela ciência, que, quanto mais rápido houver uma variação de energia interna negativa de nossa mão ao tocar um determinado objeto, mais fria é a sensação que se tem.



Qual das ceras caem primeiro? Porque?



Qual das colheres terá a manteiga derretida primeiro? Porque?

Momentos	Atividades	Tempo Estimado
1º Momento	Questionamentos e discussão sobre a sensação de quente e frio dos materiais	(15 min)
2º Momento	Leitura, compreensão e interpretação do texto	(15 min)
3º Momento	Diálogo crítico-reflexivo do texto	(20 min)

Recursos didáticos: Texto impresso, termômetro.

Verificação de Aprendizagem: Leitura, compreensão e interpretação do texto**AULA 7:** Análise e discussão da Questão 1 do Questionário Inicial**Objetivo:**

- Análise, discussão e elaboração de resposta para a questão 1 do questionário inicial tendo como base cada uma das três concepções do calor.

Desenvolvimento:

Primeiro momento: Organizar os alunos em grupo (mesmos grupos formados na questão 2). Em seguida oriente os alunos para que um integrante seja responsável por escrever a conclusão do grupo na folha entregue pela professora, como também que um integrante fique responsável em gravar as discussões e posteriormente encaminhar o áudio a professora. **(10 min)**

Segundo momento: Entregar as respostas de cada aluno referente a questão 1 presente no questionário inicial e orientar que cada um leia para os demais sua resposta, em seguida deverão analisar e comparar com qual das concepções do calor ela se aproxima, Em seguida, utilizando a folha entregue com a questão 1 conforme o quadro abaixo, deverão por meio de um diálogo com os demais integrantes apresentar três respostas para o mesmo problema, uma abordando os aspectos da teoria do calor como uma substância, outra do calor como uma forma de energia e, por fim, do calor como o nome de um processo. Atentar para que um dos integrantes grave os diálogos. **(40 min)**

Objetivos da atividade:

- Ler e classificar as respostas iniciais referente a questão 1 do questionário inicial de acordo com uma das concepções do calor;
- Elaborar de forma colaborativa com o grupo três respostas para a questão 1 visando contemplar cada uma das concepções do calor - a) um fluido contido nos corpos e intercambiável; b) uma forma de energia e c) o nome convencional de um processo;

TRABALHO 2 – GRUPO ____**ORIENTAÇÕES:**

1. Cada integrante do grupo deve ler em voz alta para os demais sua resposta para **a questão apresentada abaixo, referente** a primeira atividade respondida individualmente que foi

entregue ao seu grupo. Após cada um ler a sua resposta tente ver com qual das definições do calor ela mais se aproxima.

2. Agora respondam novamente, a situação abaixo com a contribuição de cada integrante do grupo:

SITUAÇÃO PROBLEMA 1: Certo dia

você ao se levantar da cama para ir à escola, caminha descalço do quarto até o banheiro e depois de volta para o quarto. No caminho pisa sobre o tapete ao lado da cama, no piso de madeira do quarto e no piso de azulejo do banheiro. Ao pisar, percebe que o azulejo parece estar mais frio do que o piso de madeira e o tapete.



a) Como isso pode acontecer se todos estão no mesmo ambiente?

a) Explique porque o piso de azulejo parece mais frio que o piso de madeira mesmo estando ambos no mesmo ambiente. Sua resposta deve conter os aspectos da definição do **CALOR COMO UM FLUÍDO**.

b) Explique porque o piso de azulejo parece mais frio que o piso de madeira mesmo estando ambos no mesmo ambiente. Sua resposta deve conter os aspectos da definição do **CALOR COMO UMA FORMA DE ENERGIA**:

c) Explique porque o piso de azulejo parece mais frio que o piso de madeira mesmo estando ambos no mesmo ambiente. Sua resposta deve conter os aspectos da definição do **CALOR COMO O NOME DE UM PROCESSO**:

Momentos	Atividades	Tempo Estimado
1º Momento	Organização dos alunos em grupo	(10 min)
2º Momento	Entrega das respostas referente a questão 1 do questionário inicial e desenvolvimento da atividade proposta.	(40 min)

Recursos didáticos: material impresso, resposta do aluno questionário inicial, gravador de voz.

Verificação de Aprendizagem: Resolução de problemas e questionamentos durante a aula.

AULA 8: Análise e discussão da Questão 1 e 3 do Questionário Inicial

Objetivo:

- Reavaliar as respostas do grupo referente a questão 1 de forma colaborativa com o grupo, distinguindo cada uma das concepções estudadas, a fim de potencializar seu aprendizado.
- Análise, discussão e elaboração de resposta para a questão 3 do questionário inicial tendo como base cada uma das três concepções do calor.

Desenvolvimento:

Primeiro momento:

Organizar os alunos em grupo (mesmos grupos formados na aula anterior). Entregar as respostas dos alunos para a questão 1 concluídas na aula anterior. Orientar os alunos para que cada grupo eleja um integrante para ler suas respostas referente a cada concepção do calor para a sala, e por meio de um diálogo em que todas as vozes sejam ouvidas, realizar uma discussão crítica-reflexiva sobre as respostas apresentadas para a questão 1. Para cada concepção (a) calor como um fluido; b) calor como uma forma de energia; c) calor como o nome convencional de um processo.) levar os alunos a reconhecer as diferenças utilizadas por cada grupo para cada concepção, de modo que possam tomar consciência das características de cada concepção, auxiliando os alunos na aprendizagem dos conteúdos e conceitos que ainda estavam com dúvidas. **(30 min)**

Segundo momento: Para encerrar a atividade aplicar a última *estratégia de ensino metacognitiva* planejada:

- 4) solicitar que um integrante do grupo leia para os demais a resposta formulada pelo grupo tendo como base cada uma das concepções de calor;

5) Solicitar que dialoguem entre si analisando novamente suas respostas, tomando como base as discussões realizadas por toda a sala e as respostas descritas na folha entregue pela professora, podendo complementá-las, reformulá-las, alterá-las, ou caso necessitem inverter as respostas para que melhor representassem cada concepção. Em seguida deverão responder porque quando analisamos o fenômeno considerando o "calor como o nome de um processo", não é correto utilizar os termos “ceder calor”, “absorver calor”. **(20 min)**

TRABALHO 3 – GRUPO _____

SITUAÇÃO PROBLEMA 1:

Certo dia você ao se levantar da cama para ir à escola, caminha descalço do quarto até o banheiro e depois de volta para o quarto. No caminho pisa sobre o tapete ao lado da cama, no piso de madeira do quarto e no piso de azulejo do banheiro. Ao pisar, percebe que o azulejo parece estar mais frio do que o piso de madeira e o tapete.



- a) Como isso pode acontecer se todos estão no mesmo ambiente?
- b) Como você explicaria essa situação?

ORIENTAÇÕES

1. Leia a resposta da professora para a situação-problema apresentada onde for apresentada os aspectos da definição “calor como um fluído” e em seguida leia a resposta do grupo.
2. Converse entre os integrantes do grupo até chegar à conclusão do que precisa ser reformulado, alterado, complementado, ou caso precise inverter as respostas de definição, para que essas respostas fiquem de acordo com as respostas discutidas e apresentadas abaixo e de acordo com cada concepção estabelecida.

Calor como um fluído: Mesmo estando no mesmo ambiente, e, portanto, com a mesma temperatura, e mesma quantidade de calor, ao pisar, ou tocar estes materiais ocorrerá uma troca de fluídos entre eles, logo a sensação de que o azulejo está mais frio deve-se ao fato de que o calor é transmitido do corpo ao objeto muito mais rápido do que para a madeira ou o tapete, isso porque cada material possui diferente resistência a passagem do calórico, sendo melhores condutores. Assim sentimos o azulejo frio pois a adesão do calórico com as partículas do corpo é leve, assim o calor se propaga livre e rapidamente, deixando a sensação de frio. Já a madeira e o tapete aderem fortemente o calor, repartindo de maneira lenta.

Calor como um fluído:

Calor como uma forma de energia: Isto ocorre porque, o azulejo é um condutor térmico melhor do que a madeira, ou o tapete, assim, haverá uma maior transferência de calor de nossa mão que tem uma temperatura maior, para o azulejo do que para o pedaço de madeira, ou tapete. Ou seja, o azulejo absorve o calor mais rapidamente de sua mão, deixando uma sensação de frio, apesar de todos estarem a mesma temperatura.

Calor como uma forma de energia:

Calor como o nome de um processo: um objeto aparenta estar mais frio que outro, mesmo estando a mesma temperatura, pelo fato das partículas que compõem esses materiais estarem organizadas de maneiras diferentes.

Ao tocarmos ou pisarmos em cada um dos objetos, ocorrerá devido a diferença de temperatura entre nossa mão/pé e o objeto, um conjunto de microtrabalhos, realizados em nível microscópico, o que causará a mesma variação de energia interna em módulo, na mão e no objeto. No entanto, como inicialmente a mão estava a uma temperatura maior, ela terá uma variação de energia interna negativa. Analisando cada material após o contato, e como as partículas de cada objeto possuem configurações e interações diferentes, a variação de energia interna será mais rápida em um objeto do que no outro. O nosso cérebro interpreta, por mecanismos ainda desconhecidos pela ciência, que quanto mais rápido houver uma variação de energia interna negativa de nossa mão, ao tocar um determinado objeto, mais fria é a sensação que se tem.

Calor como o nome de um processo:

3. Expliquem por que nas respostas das situações-problemas, quando analisamos o fenômeno considerando o "calor como o nome de um processo", não é correto utilizar os termos ABAIXO:

- "[...] o pé transmitindo calor [...]";
 - "[...] um corpo passa calor para o outro [...]";
 - "[...] o piso de madeira absorve melhor o calor [...]";
 - "[...] possui mais calor [...]";
 - "[...] possui menor calor [...]".
-
-
-
-
-

Terceiro momento:

Entregar as respostas de cada aluno referente a questão 3 presente no questionário inicial e orientar que cada um leia para os demais sua resposta, em seguida deverão analisar e comparar com qual das concepções do calor ela se aproxima, Em seguida, utilizando a folha entregue com a questão 3 conforme o quadro abaixo, deverão por meio de um diálogo com os demais integrantes apresentar três respostas para o mesmo problema, uma abordando os aspectos da teoria do calor como uma substância, outra do calor como uma forma de energia e, por fim, do calor como o nome de um processo. Atentar para que um dos integrantes grave os diálogos. **(50 min)**

Objetivos da atividade:

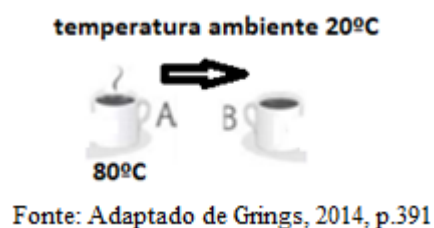
- Ler e classificar as respostas iniciais referente a questão 3 do questionário inicial de acordo com uma das concepções do calor;
- Elaborar de forma colaborativa com o grupo três respostas para a questão 3 visando contemplar cada uma das concepções do calor - a) um fluido contido nos corpos e intercambiável; b) uma forma de energia e c) o nome convencional de um processo;

TRABALHO 2 – GRUPO _____**ORIENTAÇÕES:**

1. Cada integrante do grupo deve ler em voz alta para os demais sua resposta para **a questão apresentada abaixo, referente** a primeira atividade respondida individualmente que foi entregue ao seu grupo. Após cada um ler a sua resposta tente ver com qual das definições do calor ela mais se aproxima.

2. Agora respondam novamente, a situação abaixo com a contribuição de cada integrante do grupo:

SITUAÇÃO PROBLEMA 3: Uma xícara de café quente, a 80°C , é colocada sobre uma mesa na cozinha de uma casa, em um dia em que a temperatura ambiente estava em 20°C . Com o passar do tempo o café fica frio. Em relação a essa situação, como você explicaria, detalhadamente, para um colega, como se deu a diminuição da temperatura do café?



Explique o que aconteceu para que houvesse a diminuição da temperatura do café. Sua resposta deve conter os aspectos da definição do **CALOR COMO UM FLUÍDO**:

b) Explique o que aconteceu para que houvesse a diminuição da temperatura do café. Sua resposta deve conter os aspectos da definição do **CALOR COMO UMA FORMA DE ENERGIA**:

c) Explique o que aconteceu para que houvesse a diminuição da temperatura do café. Sua resposta deve conter os aspectos da definição do **CALOR COMO O NOME DE UM PROCESSO**:

Momentos	Atividades	Tempo Estimado
----------	------------	----------------

1º Momento	Trabalho em grupo: discussões questão 1 do questionário inicial	(30 min)
2º Momento	Discussão crítica-reflexiva sobre as respostas apresentadas e retomada da questão 1	(20 min)
3º Momento	Entrega das respostas referente a questão 3 do questionário inicial e desenvolvimento da atividade proposta.	(50 min)

Recursos didáticos: material impresso, resposta do aluno questionário inicial, gravador de voz.

Verificação de Aprendizagem: Resolução de problemas e questionamentos durante a aula.

AULA 9: Análise e discussão da Questão 3 e 4 do Questionário Inicial

Objetivo:

- Reavaliar as respostas do grupo referente a questão 3 de forma colaborativa com o grupo, distinguindo cada uma das concepções estudadas, a fim de potencializar seu aprendizado.
- Análise, discussão e elaboração de resposta para a questão 4 do questionário inicial tendo como base cada uma das três concepções do calor.

Desenvolvimento:

Primeiro momento:

Organizar os alunos em grupo (mesmos grupos formados na aula anterior). Entregar as respostas dos alunos para a questão 3 concluídas na aula anterior. Orientar os alunos para que cada grupo eleja um integrante para ler suas respostas referente a cada concepção do calor para a sala, e por meio de um diálogo em que todas as vozes sejam ouvidas, realizar uma discussão crítica-reflexiva sobre as respostas apresentadas para a questão 3. Para cada concepção (a) calor como um fluido; b) calor como uma forma de energia; c) calor como o nome convencional de um processo.) levar os alunos a reconhecer as diferenças utilizadas por cada grupo para cada concepção, de modo que possam tomar consciência das características de cada concepção, auxiliando os alunos na aprendizagem dos conteúdos e conceitos que ainda estavam com dúvidas. **(20 min)**

Segundo momento: Para encerrar a atividade aplicar a última *estratégia de ensino metacognitiva* planejada:

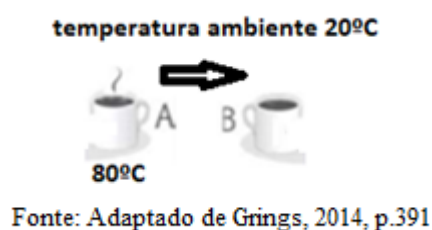
- 4) solicitar que um integrante do grupo leia para os demais a resposta formulada pelo grupo tendo como base cada uma das concepções de calor;

5) Solicitar que dialoguem entre si analisando novamente suas respostas, tomando como base as discussões realizadas por toda a sala e as respostas descritas na folha entregue pela professora, podendo complementá-las, reformulá-las, alterá-las, ou caso necessitem inverter as respostas para que melhor representassem cada concepção. Em seguida deverão responder porque quando analisamos o fenômeno considerando o "calor como o nome de um processo", não é correto utilizar os termos “ceder calor”, “absorver calor”. **(20 min)**

TRABALHO 3 – GRUPO _____

SITUAÇÃO PROBLEMA 3:

Uma xícara de café quente, a 80°C , é colocada sobre uma mesa na cozinha de uma casa, em um dia em que a temperatura ambiente estava em 20°C . Com o passar do tempo o café fica frio. Em relação a essa situação, como você explicaria, detalhadamente, para um colega, como se deu a diminuição da temperatura do café?



ORIENTAÇÕES

1. Leia a resposta da professora para a situação-problema apresentada onde for apresentada os aspectos da definição “calor como um fluido” e em seguida leia a resposta do grupo.
2. Converse entre os integrantes do grupo até chegar à conclusão do que precisa ser reformulado, alterado, complementado, ou caso precise inverter as respostas de definição, para que essas respostas fiquem de acordo com as respostas apresentadas pela professora e de acordo com a definição estabelecida.

Calor como um fluido: O café ao ser preparado recebe calor da chama, e armazena-o. Antes de colocar café quente na xícara, ela estará inicialmente em equilíbrio com o ambiente. Ao colocar café quente na xícara, por estar mais quente que o ambiente possui uma maior quantidade de calor, logo acontecerá um fluxo de calor saindo do café para a xícara, como também um fluxo de calor indo do café para o ambiente, uma vez que a xícara está aberta e em contato com o ambiente. Isso acontecerá até que o fluxo de calor cesse e até que suas temperaturas sejam as mesmas. Caso a xícara seja de metal ocorrerá uma maior aderência ao calor, acarretando no aquecimento mais rápido da xícara e na diminuição da temperatura do café, caso o material da xícara seja de vidro, plástico ou porcelana este fluxo apresentará variações.

Calor como um fluído:

Calor como uma forma de energia: O café ao ser preparado recebe energia da chama do fogão, aumentando a energia de vibração das moléculas, e consequentemente sua temperatura. Ao ser deixado sobre a mesa, entra em contato com o ar ambiente que está a uma temperatura menor. Devido ao contato ocorre uma transferência de energia, de modo que o café ao ceder calor ao ambiente, diminuirá sua temperatura e o ambiente ao receber irá aumentar sua temperatura. Ao mesmo tempo em que o café transfere energia ao ambiente também perde energia para a xícara, que dependendo do material de que é feito conduzirá melhor o calor, ou seja, a transferência de calor será mais rápida.

Calor como uma forma de energia:

Calor como o nome de um processo: Com o passar do tempo o café esfria se deixado na xícara devido a interação entre os sistemas ao qual está o café, e pelo fato das partículas que compõem a xícara estar organizadas de maneiras diferentes. Cada material em seu estado natural possui partículas em movimento, ocasionando uma energia de vibração de suas partículas. Estando a xícara sobre a mesa entrará em equilíbrio térmico com o ambiente. Ao colocar o café em seu interior ocorrerá uma interação entre o café e as partículas da xícara, como também entre o café e as moléculas presente no ar ambiente. Nessa interação as moléculas realizarão, um conjunto de microtrabalhos, realizados em nível microscópico, o que causará uma variação de energia interna em ambos os sistemas, mas de forma mais intensa, esfriando assim o café.

Calor como o nome de um processo:

3. Expliquem por que nas respostas das situações-problemas, quando analisamos o fenômeno considerando o "calor como o nome de um processo", não é correto utilizar os termos ABAIXO:

- "[...] cedendo calor para o ar [...]";
- "[...] cedendo calor para a xícara [...]";
- "[...] contato da temperatura das moléculas [...]";
- "[...] possui mais calor [...]";
- "[...] possui menor calor [...]".

Terceiro momento:

Entregar as respostas de cada aluno referente a questão 4 presente no questionário inicial e orientar que cada um leia para os demais sua resposta, em seguida deverão analisar e comparar com qual das concepções do calor ela se aproxima. **(10 min)**

Objetivos da atividade:

- Ler e classificar as respostas iniciais referente a questão 4 do questionário inicial de acordo com uma das concepções do calor;
- *Não será possível discutir e elaborar as respostas referente a questão 3 nesse curto intervalo de tempo. Desse modo, no final da aula o questionário será recolhido para ser retomado na próxima aula.*

Momentos	Atividades	Tempo Estimado
1º Momento	Discussão crítica-reflexiva sobre as respostas apresentadas na questão 3	(20 min)
2º Momento	Retomada da questão 3 em grupo	(20 min)
3º Momento	Entrega das respostas referente a questão 4 do questionário inicial	(10 min)

Recursos didáticos: material impresso, resposta do aluno questionário inicial, gravador de voz.

Verificação de Aprendizagem: Resolução de problemas e questionamentos durante a aula.

AULA 10: Análise e discussão da Questão 4 do Questionário Inicial

Objetivo:

- Análise, discussão e elaboração de resposta para a questão 4 do questionário inicial tendo como base cada uma das três concepções do calor.
- Reavaliar as respostas do grupo referente a questão 4 de forma colaborativa com o grupo, distinguindo cada uma das concepções estudadas, a fim de potencializar seu aprendizado.

Primeiro momento:

Organizar os alunos novamente nos mesmos grupos da aula anterior. Entregar as respostas de cada aluno referente a questão 4 presente no questionário inicial e a folha impressa com a questão 4 para que possam elaborar as respostas, conforme o quadro abaixo. Orientar os alunos para que por meio de um diálogo com os demais integrantes apresentem três respostas para o mesmo problema, uma abordando os aspectos da teoria do calor como uma substância, outra do calor como uma forma de energia e, por fim, do calor como o nome de um processo. Atentar para que um dos integrantes grave os diálogos. **(20 min)**

Objetivos da atividade:

- Elaborar de forma colaborativa com o grupo três respostas para a questão 4 visando contemplar cada uma das concepções do calor - a) um fluido contido nos corpos e intercambiável; b) uma forma de energia e c) o nome convencional de um processo;

TRABALHO 2 – GRUPO _____

ORIENTAÇÕES:

1. Cada integrante do grupo deve ler em voz alta para os demais sua resposta para **a questão apresentada abaixo, referente** a primeira atividade respondida individualmente que foi entregue ao seu grupo. Após cada um ler a sua resposta tente ver com qual das definições do calor ela mais se aproxima.
2. Agora respondam novamente, a situação abaixo com a contribuição de cada integrante do grupo:

SITUAÇÃO PROBLEMA 4:

Um professor, logo no início de sua aula, deixa duas colheres simples, uma de plástico e outra de alumínio, sobre a sua mesa. Depois, já no final da aula, ele solicita que cada aluno toque com as mãos as duas colheres e responda se as duas estão na mesma temperatura ou em temperaturas diferentes. Todos os alunos responderam que a colher de alumínio estava em uma temperatura menor, pois, ao ser tocada com as mãos, aparentava estar mais fria. Você concorda com essa explicação dos alunos? Por quê?



Fonte: adaptada de iStock

Você concorda com a explicação dos alunos? Apresente sua justificativa, de modo que sua resposta contenha os aspectos da definição do **CALOR COMO UM FLUÍDO**:

Você concorda com a explicação dos alunos? Apresente sua justificativa, de modo que sua resposta contenha os aspectos da definição do **CALOR COMO UMA FORMA DE ENERGIA**:

Você concorda com a explicação dos alunos? Apresente sua justificativa, de modo que sua resposta contenha os aspectos da definição do **CALOR COMO O NOME DE UM PROCESSO**:

Segundo momento: Orientar os alunos para que cada grupo eleja um integrante para ler suas respostas referente a cada concepção do calor para a sala, e por meio de um diálogo em que todas as vozes sejam ouvidas, realizar uma discussão crítica-reflexiva sobre as respostas apresentadas para a questão 4. Para cada concepção (a) calor como um fluido; b) calor como uma forma de energia; c) calor como o nome convencional de um processo.) levar os alunos a reconhecer as diferenças utilizadas por cada grupo para cada concepção, de modo que possam tomar consciência das características de cada concepção, auxiliando os alunos na aprendizagem dos conteúdos e conceitos que ainda estavam com dúvidas. **(20 min)**

Terceiro Momento: Para encerrar a atividade aplicar a última *estratégia de ensino metacognitiva* planejada:

4) solicitar que um integrante do grupo leia para os demais a resposta formulada pelo grupo tendo como base cada uma das concepções de calor;

5) Solicitar que dialoguem entre si analisando novamente suas respostas, tomando como base as discussões realizadas por toda a sala e as respostas descritas na folha entregue pela professora, podendo complementá-las, reformulá-las, alterá-las, ou caso necessitem inverter as respostas para que melhor representassem cada concepção. Em seguida deverão responder porque quando analisamos o fenômeno considerando o "calor como o nome de um processo", não é correto utilizar os termos “ceder calor”, “absorver calor”. **(10 min)**

SITUAÇÃO PROBLEMA 4:

Um professor, logo no início de sua aula, deixa duas colheres simples, uma de plástico e outra de alumínio, sobre a sua mesa. Depois, já no final da aula, ele solicita que cada aluno toque com as mãos as duas colheres e responda se as duas estão na mesma temperatura ou em temperaturas diferentes. Todos os alunos responderam que a colher de alumínio estava em uma temperatura menor, pois, ao ser tocada com as mãos, aparentava estar mais fria. Você concorda com essa explicação dos alunos? Por quê? Explique, detalhadamente, o raciocínio.



Fonte: adaptada de iStock

ORIENTAÇÕES

1. Leia a resposta da professora para a situação-problema apresentada onde for apresentada os aspectos da definição “calor como um fluído” e em seguida leia a resposta do grupo.
2. Converse entre os integrantes do grupo até chegar à conclusão do que precisa ser reformulado, alterado, complementado, ou caso precise inverter as respostas de definição, para que essas respostas fiquem de acordo com as respostas apresentadas pela professora e de acordo com a definição estabelecida.

Calor como um fluído: Ambas as colheres deixadas sobre a mesa estão em equilíbrio térmico com o ambiente, de modo que os três sistemas se encontram a mesma temperatura, possuindo também a mesma quantidade de calor, ao tocar estes dois materiais, ocorrerá uma troca de fluídos entre a mão e cada uma das colheres, já que o corpo humano apresenta em média uma temperatura de 37°C . Logo, a sensação de que a colher de alumínio está a uma temperatura menor deve-se ao fato de que o calor é transmitido da mão a colher de alumínio muito mais rápido do que para a colher de plástico, isso porque o alumínio adere mais facilmente o calor, do que o plástico que é mais resistente a passagem do fluído. Devido a essa rápida absorção, e a perda de calor, sentimos a temperatura menor ao tocar o objeto.

Calor como um fluído:

Calor como uma forma de energia: Ambas as colheres deixadas sobre a mesa estão em equilíbrio térmico com o ambiente, de modo que os três sistemas se encontram a mesma temperatura e, portanto, suas moléculas possuem a mesma energia de vibração. Ao tocar estes dois materiais ocorrerá uma transferência de energia entre a mão e cada uma das colheres, já que o corpo humano apresenta uma temperatura média de 37°C , logo as moléculas possuem muito mais energia. Sentimos então a colher de alumínio mais fria pois, o alumínio é um melhor condutor térmico, que o plástico, ou seja, haverá uma maior transferência de calor de nossa mão para a colher de alumínio do que a para a de plástico. Nesta transferência de energia, o corpo perde calor ao tocar na colher, e a colher de alumínio absorve rapidamente, devido a essa perda de energia sentimos a peça fria.

Calor como uma forma de energia:

Calor como o nome de um processo: Ambas as colheres deixadas sobre a mesa estão em equilíbrio térmico com o ambiente, de modo que os três sistemas se encontram a mesma temperatura. No entanto a colher de alumínio aparenta estar mais fria que a outra de plástico devido ao fato de as partículas que compõem esses objetos estarem organizadas de forma diferentes. Tudo acontece devido a interação entre os dois sistemas, ou seja, ao tocarmos com a mão cada um dos objetos, as moléculas de cada corpo realizam um conjunto de microtrabalhos, em nível microscópico, devido a diferença de temperatura entre a nossa mão e o objeto tocado, no entanto como os objetos possuem a mesma temperatura, a variação de energia interna na mão e no objeto, em módulo será a mesma. No entanto, como inicialmente a mão estava a uma temperatura maior, ela apresentará uma variação de energia interna negativa. Analisando o material das duas colheres, temos que cada objeto possui uma configuração diferente das partículas, o que acarreta em interações diferente entre dois sistemas, como no caso da mão em contato com cada colher, provocando também uma variação de energia também diferente sendo mais rápida em um objeto que no outro. O nosso cérebro interpreta que quanto mais rápido for a variação de energia interna negativa da nossa mão ao tocar um determinado objeto, mais fria será a sensação sentida.

Calor como o nome de um processo:

3. Expliquem por que nas respostas das situações-problemas, quando analisamos o fenômeno considerando o "calor como o nome de um processo", não é correto utilizar os termos ABAIXO:

- "[...] contato da temperatura das moléculas [...]";
- "[...] absorção de calor por parte da colher [...]";
- "[...] um corpo passa calor para o outro [...]";
- "[...] possui mais calor [...]";
- "[...] possui menor calor [...]".

Momentos	Atividades	Tempo Estimado
1º Momento	Discussão e desenvolvimento da atividade proposta para a questão 4.	(20 min)
2º Momento	Discussão crítica-reflexiva sobre as respostas apresentadas na questão 4	(20 min)
3º Momento	Retomada da questão 4 em grupo	(10 min)

Recursos didáticos: material impresso, respostas da professora, gravador de voz.

Verificação de Aprendizagem: Resolução de problemas e questionamentos durante a aula.

AULA 11: *Peer Instruction* – Calor como o nome convencional de um processo

Objetivo:

- Analisar, interpretar e justificar as questões problemas com base na definição de calor como

o nome de um processo, através da metodologia *IpC*.

Primeiro momento:

Revisar com os alunos cada uma das concepções do calor, para auxiliar os alunos a visualizarem as diferenças entre as três concepções criar no quadro um mapa mental. Em seguida com o auxílio de um projetor multimídia ou Datashow discutir as questões abaixo buscando classificá-las em calor como um fluido (CF), calor como uma forma de energia (CE) e calor como o nome de um processo (CP). **(15 min)**

RETOMANDO OS CONCEITOS ESTUDADOS

Para cada afirmação escreva: Calor como um fluido (CF), Calor como uma forma de energia (CE), ou calor como o nome de um processo (CP)

- a) “Hoje, o dia está muito calor”. _____
- b) “O calor está fluindo do fogo para a panela”. _____
- c) “A temperatura está alta, por isso estou com muito calor”. _____
- d) A interação do gelo e da água no copo faz variar a energia do sistema: _____
- e) todo corpo possui calor. _____
- f) o calor está presente apenas naqueles corpos que se encontram “quentes”. _____
- g) o calor está presente em situações nas quais há, necessariamente, transferência de energia. _____
- h) devido a influência da temperatura ocorrerá uma transferência de energia térmica; _____
- i) devido a diferença de temperatura ocorrerá uma variação de energia térmica. _____
- J) quanto maior a diferença de temperatura mais intenso será o processo chamado calor: _____
- k) dois corpos distantes e de diferentes temperaturas chegam ao equilíbrio térmico, devido ao conjunto de microtrabalhos realizados pelas moléculas. _____

Segundo momento:

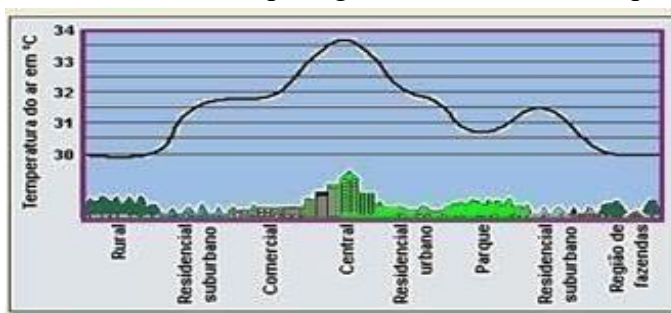
Entregar aos alunos uma folha impressa com as situações 1 e 2, cujas situações promova a retomada dos conceitos de calor, temperatura, equilíbrio térmico, através da análise da concepção de c) calor como o nome convencional de um processo, conforme Quadro abaixo e orienta-los para que leiam individualmente a situação 1 e 2 e, em seguida assinalem a resposta que julgar estar correta, através dela deverão elaborar uma justificativa para a escolha a fim de convencer um amigo de que sua resposta é a correta. **(10 min)**

Terceiro Momento:

Entregar aos alunos quatro plaquinhas com cores diferentes para cada alternativa (também pode ser usado outros sistemas de votação: aplicativos, levantar de mãos, entre outros.), e explicar como será realizada a votação. Com base no percentual de respostas corretas o professor deve escolher entre retomar a explicação das concepções do calor e abrir novamente para votação (acertos < 40%), ou abrir para discussão entre pares (acertos entre 40% e 70%) ou ainda prosseguir para a nova situação caso o percentual de acertos seja maior que 70%. Inicia-se com a situação 1 e na sequência retoma-se os mesmos procedimentos para a situação 2. (25 min)

TRABALHO 5 - IpC

1.(CPS-SP adaptada) Ana, após ouvir atentamente uma reportagem sobre “Caminhar para desestressar”, decide seguir essa prática. Assim, caminha 9 km indo de seu trabalho, localizado na região central, até sua residência, localizada na região residencial suburbana. Em que região do percurso ocorrerá o processo de calor de modo mais intenso:



Fonte: Adaptado de Física e Vestibular

- Na região central.
- Na região rural
- Na região do parque.
- A diferença de temperatura entre as regiões não interfere no processo de calor.

Apresente abaixo uma explicação para a resposta escolhida, de modo que possa convencer seu amigo que a sua resposta é a correta.

2. Dois blocos do mesmo material e a temperaturas diferentes, conforme imagem abaixo, foram deixados no interior de um sistema isolado do meio externo. Após algum tempo o que acontecerá com as temperaturas de A e B?



Fonte: Adaptada de Grings, 2014, p.393

- Fluirá calor do bloco A para o bloco B, assim a temperatura de B irá aumentar e de A diminuir até o equilíbrio térmico.

b) Ocorrerá uma transferência de calor do bloco B ao bloco A, de modo que B perde energia e A recebe, no entanto não chegarão ao equilíbrio térmico pois suas temperaturas estão abaixo de zero.

c) não acontecerá nada, pois os blocos não estão em contato e as temperaturas estão abaixo de zero.

d) Há uma interação entre as moléculas de B e do ar no interior do sistema, e do ar com as moléculas de A, acarretando uma variação de temperatura em ambas, até o equilíbrio térmico.

Apresente abaixo uma explicação para a resposta escolhida, de modo que possa convencer seu amigo que a sua resposta é a correta.

Momentos	Atividades	Tempo Estimado
1º Momento	Retomada das três concepções de calor	(15 min)
2º Momento	Análise e elaboração de justificativas para as situações 1 e 2 através da metodologia <i>IpC</i>	(10 min)
3º Momento	Discussão das situações através da metodologia <i>IpC</i>	(25 min)

Recursos didáticos: material impresso, multimídia, plaquinhas coloridas para votação, quadro branco, pinceis, apagador, gravador de voz.

Verificação de Aprendizagem: Resolução de problemas e questionamentos durante a aula, participação em grupo.

AULA 12: *Peer Instruction* – Calor como o nome convencional de um processo

Objetivo:

- Analisar, interpretar e justificar as questões problemas com base na definição de calor como o nome de um processo, através da metodologia *IpC*.

Primeiro momento:

Revisar com os alunos cada uma das concepções do calor através da lousa de forma rápida e clara. **(5 min)**

Segundo Momento:

Entregar aos alunos uma folha impressa com as situações 3 e 4, cujas situações promova a retomada dos conceitos de calor, condutibilidade térmica, temperatura, equilíbrio térmico, sensação de quente e frio, através da análise da concepção de c) calor como o nome convencional de um processo, conforme Quadro abaixo e orienta-los para que leiam individualmente a situação 3 e 4 e em seguida assinalem a resposta que julgar estar correta, através dela deverão elaborar uma justificativa para a escolha a fim de convencer um amigo de que sua resposta é a correta. **(10 min)**

Terceiro Momento:

Entregar aos alunos quatro plaquinhas com cores diferentes para cada alternativa (também pode ser usado outros sistemas de votação: aplicativos, levantar de mãos, entre outros.), e explicar como será realizada a votação. Com base no percentual de respostas corretas o professor deve escolher entre retomar a explicação das concepções do calor e abrir novamente para votação (acertos < 40%), ou abrir para discussão entre pares (acertos entre 40% e 70%) ou ainda prosseguir para a nova situação caso o percentual de acertos seja maior que 70%. Inicia-se com a situação 3 e na sequência retoma-se os mesmos procedimentos para a situação 4. **(35 min)**

TRABALHO 5 - IpC

3. Dois blocos do mesmo material e a temperaturas diferentes, conforme imagem abaixo, foram deixados no interior de um sistema isolado do meio externo. O que acontecerá com a temperatura dos blocos A e B?



Fonte: Adaptada de Grings, 2014, p.393

- a) Fluirá calor do bloco A para o bloco B, assim a temperatura de B irá aumentar e a de A diminuir, ficando o bloco A com maior quantidade de calor.
- b) Ocorrerá uma transferência de calor do bloco B ao bloco A, até que ambos alcancem o equilíbrio térmico.
- c) Por meio do contato as moléculas de A e B realizam microtrabalhos variando a energia de ambos até o equilíbrio térmico.
- d) Devido o contato entre os blocos, o calor fluirá mais rapidamente do bloco A para o bloco B até atingirem o equilíbrio térmico, ao final o bloco B terá armazenado mais calor.

Apresente abaixo uma explicação para a resposta escolhida, de modo que possa convencer seu amigo que a sua resposta é a correta.

4. Uma carteira escolar é construída com partes de ferro e partes de madeira. Quando você toca a parte de madeira com a mão direita e a parte de ferro com a mão esquerda, tem a sensação de que o ferro está mais frio, isso se deve a/ao:



Fonte: Romero, móveis para escritório

a) condutividade térmica, pois o ferro absorve a temperatura do ar mais rápido que a madeira.

b) calor específico, pois o ferro absorve o calor da mão de forma muito rápida e, portanto, o ao perder calor sentimos o ferro frio.

c) dilatação térmica, pois quando o calor flui da mão para o ferro aumenta a quantidade de calor, expandindo o material e fazendo com que sua temperatura diminua.

d) condutividade térmica, pois durante a interação entre a mão e o ferro, ocorrerá uma variação de energia interna negativa e mais rápida na mão, cujo cérebro interpreta como fria.

Apresente abaixo uma explicação para a resposta escolhida, de modo que possa convencer seu amigo que a sua resposta é a correta.

Momentos	Atividades	Tempo Estimado
1º Momento	Retomada das três concepções de calor	(5 min)
2º Momento	Análise e elaboração de justificativas para as situações 1 e 2 através da metodologia <i>IpC</i>	(10 min)
3º Momento	Discussão das situações através da metodologia <i>IpC</i>	(35 min)

Recursos didáticos: material impresso, multimídia, plaquinhas coloridas para votação, quadro branco, pinceis, apagador, gravador de voz.

Verificação de Aprendizagem: Resolução de problemas e questionamentos durante a aula, participação em grupo.

Objetivo:

- Análise das quatro questões do questionário inicial visando agora a abordagem do calor como o nome convencional de um processo, a fim de, verificar a compreensão dos estudantes sobre o conceito estudado ao longo das aulas.

Primeiro momento:

Conversar com os alunos sobre a aplicação do questionário final a fim de compreendermos suas novas interpretações sobre o calor. Em seguida entregar o questionário final impresso a cada aluno orientando-os para que respondam individualmente sem a utilização de nenhum material de consulta ou conversas paralelas. Para cada questão elabore uma resposta que evidencie a concepção de calor como o nome de um processo. **(50 min)**

QUESTIONÁRIO FINAL

Após ter refletido e revisado as definições do calor bem como ter compreendido como utilizá-las responda INDIVIDUALMENTE as demais situações apresentando agora de maneira correta as explicações com base na definição do CALOR COMO O NOME DE UM PROCESSO.

Q1. Certo dia você ao se levantar da cama para ir à escola, caminha descalço do quarto até o banheiro e depois de volta para o quarto. No caminho pisa sobre o tapete ao lado da cama, no piso de madeira do quarto e no piso de azulejo do banheiro. Ao pisar, percebe que o azulejo parece estar mais frio do que o piso de madeira e o tapete.



Fonte: Martini, et al., 2016, p.18

A) Como isso pode acontecer se todos estão no mesmo ambiente? Como você explicaria essa situação? **Calor como o nome de um processo:**

Q2. Dois recipientes A e B contendo mesma quantidade de água, mas a temperaturas diferentes são posicionados conforme representados na imagem ao lado, e imediatamente é colocado sobre eles uma caixa que os mantém isolados do meio externo.

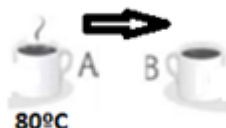


a) Com o passar do tempo, o que acontecerá com a temperatura da água no recipiente A? e no recipiente B?

b) o que aconteceu entre os recipientes que ocasionou essa mudança na temperatura? Explique, detalhadamente, o seu raciocínio. **Calor como o nome de um processo:**

Q3. Uma xícara de café quente, a 80°C , é colocada sobre uma mesa na cozinha de uma casa, em um dia em que a temperatura ambiente estava em 20°C . Com o passar do tempo o café fica frio.

temperatura ambiente 20°C



Fonte: Adaptado de Grings, 2014, p.391

A) Em relação a essa situação, como você explicaria, detalhadamente, para um colega, como se deu a diminuição da temperatura do café? **Calor como o nome de um processo:**

Q4. Um professor, logo no início de sua aula, deixa duas colheres simples, uma de plástico e outra de alumínio, sobre a sua mesa. Depois, já no final da aula, ele solicita que cada aluno toque com as mãos as duas colheres e responda se as duas estão na mesma temperatura ou em temperaturas diferentes. Todos os alunos responderam que a colher de alumínio estava em uma temperatura menor, pois, ao ser tocada com as mãos, aparentava estar mais fria.



Fonte: adaptada de iStock

A) Você concorda com essa explicação dos alunos? Por quê? Explique, detalhadamente, o raciocínio. **Calor como o nome de um processo:**

Momentos	Atividades	Tempo Estimado
1º Momento	Aplicação do questionário final	(50 min)

Recursos didáticos: material impresso.

Verificação de Aprendizagem: Resolução de problemas e questionamentos durante a aula, participação em grupo.