

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS:
QUÍMICA DA VIDA E SAÚDE

Jonas Cegelka da Silva

**ABORDAGEM INTERDISCIPLINAR NO ENSINO DA FÍSICA
TÉRMICA EM UM CURSO TÉCNICO EM EDIFICAÇÕES A PARTIR
DA CONSTRUÇÃO DE UM FORNO SOLAR**

Santa Maria, RS
2018

Jonas Cegelka da Silva

**ABORDAGEM INTERDISCIPLINAR NO ENSINO DA FÍSICA TÉRMICA EM UM
CURSO TÉCNICO EM EDIFICAÇÕES A PARTIR DA CONSTRUÇÃO DE UM
FORNO SOLAR**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito parcial para obtenção do título de **Doutor em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde.**

Orientadora: Prof^ª Dr^ª. Isabel Krey Garcia

Santa Maria, RS
2018

Silva, Jonas Cegelka da
Abordagem interdisciplinar no ensino da física térmica
em um curso técnico em edificações a partir da construção
de um forno solar / Jonas Cegelka da Silva.- 2018.
167 p.; 30 cm

Orientadora: Isabel Krey Garcia
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Programa de
Pós-Graduação em Educação em Ciências: Química da Vida e
Saúde, RS, 2018

1. Aprendizagem Significativa 2. Campos Conceituais
3. Ensino-Aprendizagem 4. Física Térmica 5. Forno Solar
I. Krey Garcia, Isabel II. Título.

Jonas Cegelka da Silva

**ABORDAGEM INTERDISCIPLINAR NO ENSINO DA FÍSICA TÉRMICA EM UM
CURSO TÉCNICO EM EDIFICAÇÕES A PARTIR DA CONSTRUÇÃO DE UM
FORNO SOLAR**

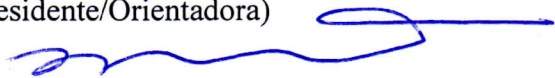
Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde**

Aprovado em 09 de outubro de 2018:

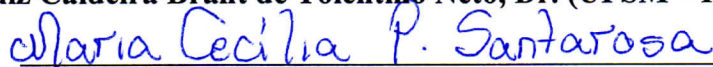


Isabel Krey Garcia, Dra. (UFSM – PPGQVS)

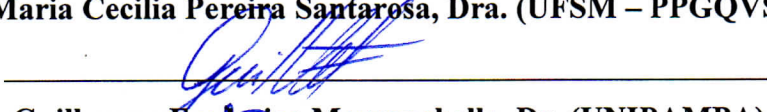
(Presidente/Orientadora)



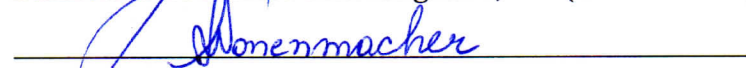
Luiz Caldeira Brant de Tolentino Neto, Dr. (UFSM – PPGQVS)



Maria Cecilia Pereira Santarosa, Dra. (UFSM – PPGQVS)



Guilherme Frederico Marranghello, Dr. (UNIPAMPA)



Sandra Elisabet Bazana Nonenmacher, Dra. (IFFAR)

AGRADECIMENTOS

Mais um ciclo se encerra. Mais uma vez novos horizontes se avistam. Quem diria que eu, saindo da vila Boa Esperança (Bozano), de família humilde, com pais que não têm o ensino fundamental completo, terminaria um doutorado?! E eis que isso aconteceu.

Vários desafios foram enfrentados nessa caminhada, mas cada uma das conquistas me fez mais forte, mais esperançoso e mais consciente da minha responsabilidade frente aos jovens que permeiam as salas de aula. Uma vez que somos sujeitos de coletividade, muitas pessoas contribuíram para o êxito desse trabalho. Nomeá-las é arriscado, pois posso esquecer-me de alguém; por outro lado, não identificá-las significa não considerar seus papéis de destaque na caminhada. Vamos lá, tentando ser breve:

Às *forças da natureza*, que alguns chamam de deus, que me fazem um ser iluminado;

Às minhas maiores inspirações, *Catarina e Cecília*, que, com um abraço e um beijo (ainda que lambuzado), me mostram como é bom dizer “te amo” muitas vezes ao dia. O Jonas/pai que nasceu com vocês com certeza é evoluído;

À minha companheira de vida, *Camila*, por todo o apoio e amor. Por me permitir progredir cotidianamente como ser humano. Por desejar-me boa viagem a cada madrugada que saía de casa rumo a Santa Maria e me esperar com um sorriso lindo no retorno;

À minha família, em especial aos meus pais, *Regina e Jozilco*, que, do jeito deles, me incentivam a buscar crescer profissionalmente. Pelos ensinamentos sobre o que é ser honesto e justo; por me mostrarem que a vida é bela e divertida, apesar das dificuldades;

Aos pais da Camila, *Lenir e Carlos*, por acreditarem no meu potencial e estarem sempre dispostos a ajudar na organização da rotina de casa quando da minha ausência;

À *Helena e Maria*, que praticamente me adotaram, dando-me tranquilidade sempre que precisava de uma cama. Além disso, claro, por sempre torcerem por mim;

À minha orientadora, *Isabel Krey Garcia*, por ser uma professora incrível, por compartilhar muito do seu conhecimento, por apostar no meu projeto e fazê-lo evoluir até esta tese. Com certeza minhas aulas não serão mais as mesmas depois de ter convivido contigo;

À *Maria Cecília*, por ser uma das pessoas mais humanas que conheci, vendo de forma tão bonita a educação. Seu abraço acalmava qualquer angústia e seu modo de fazer contribuições à pesquisa era de uma humildade enorme;

Ao *Luiz Caldeira*, por ter sido um excelente co-orientador, me mostrando caminhos quando os resultados alcançados pareciam descambar. Pelo olhar atento ao texto quando de sua participação nas bancas de qualificação e de defesa;

À *Sandra Nonenmacher* que, além de ter aceitado o convite para ser banca, me presenteando com suas valiosas contribuições, é uma amiga que me incentiva a buscar mais, a crescer, a produzir conhecimento para melhorar a educação pública;

À *Cristiane Muenchen*, pela leitura atenta dos textos de qualificação e de defesa, além de toda reflexão crítica instigada nas aulas de CTS; minha visão de educação ficou mais fortalecida depois de ter assistido suas aulas;

Ao *Guilherme Marranghello*, por suas contribuições nas bancas, levantando aspectos pertinentes de melhoria do trabalho;

À *equipe diretiva do Instituto Federal Farroupilha, Campus Santa Rosa*, por tornar viável a aplicação da pesquisa no curso técnico em edificações;

Aos alunos das turmas *EDI T6* e *EDI T7*, pela parceria e por não terem medido esforços na realização das atividades propostas, com responsabilidade e dedicação;

À *Renata Rotta*, pela disposição para desenvolver um trabalho cooperativo, acreditando nas melhorias no ensino que este poderia trazer; pelos momentos de estudo, de correção de provas, de construção de material didático;

À *Manuela Ilha*, pelas contribuições nos momentos de assessoramentos dos fornos;

À *Grasiele Zavacki*, por permitir que eu desenvolvesse a investigação em suas aulas; por todos os apontamentos pertinentes sobre o percurso metodológico traçado;

À *Raquel Paranhos*, que aceitou o desafio para desenvolvermos um novo projeto interdisciplinar; pelos diversos momentos de estudo que tornaram possível a construção de um roteiro didático envolvendo os circuitos elétricos;

À *Mariane Copetti*, pela ajuda na descrição dos alunos com laudo médico;

Ao *Roberto Preussler*, por ter me apresentado o referencial da Olga Pombo;

Aos amigos de todas as horas *Michele, Vinicius, Arthur, Raquel, Kerlen e Tati*, pelos excelentes momentos de descontração que tornaram mais leve a escrita desta tese. Vocês são presentes que Santa Rosa me deu.

À *Lu*, por compartilhar seu conhecimento nas leituras do texto de qualificação e defesa; por mostrar, de forma simples, sua visão de uma educação libertadora;

Ao *Elton* e à *Lenize*, pela recepção quando precisei dormir em Santa Maria; pela amizade verdadeira, ainda que distantes;

Ao *Marcos Roberto*, por suas ajudas sempre eficientes a cada escrita de *abstracts*;

Aos colegas do *Grupo de Pesquisa em Ensino e Aprendizagem em Ciências e Matemática* da UFSM, pelas discussões que enriqueceram este trabalho;

Ao *Gisandro*, secretário do PPG, pelas ajudas dispensadas;

A todos os *brasileiros* que, com seus impostos, mantêm as Universidades e os Institutos Federais de Educação com excelência de formação.

*“Que a educação seja um ato de liberdade
Da Maria, do João e da Tereza
E que traga muita dignidade
À quem luta contra os interesses da elite burguesa”
(SILVA, J. C., 2018).*

RESUMO

ABORDAGEM INTERDISCIPLINAR NO ENSINO DA FÍSICA TÉRMICA EM UM CURSO TÉCNICO EM EDIFICAÇÕES A PARTIR DA CONSTRUÇÃO DE UM FORNO SOLAR

AUTOR: Jonas Cegelka da Silva

ORIENTADORA: Dra. Isabel Krey Garcia

Buscando fomentar ações voltadas ao enfoque da interdisciplinaridade, esta investigação foi estruturada de forma a fazer convergirem as disciplinas de física e de conforto das edificações do segundo ano do curso técnico em edificações integrado ao ensino médio do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha, *Campus* Santa Rosa. No decurso teórico, baseamo-nos nas teorias dos campos conceituais, da aprendizagem significativa, da aprendizagem significativa crítica, na interdisciplinaridade e no currículo integrado. A pesquisa, de cunho qualitativo e descritivo, procurou responder a seguinte pergunta: quais as implicações de um trabalho interdisciplinar, tendo como elemento motivador a construção do forno solar, para a aprendizagem significativa dos alunos sobre os conceitos da física térmica e das propriedades térmicas dos materiais? Na busca pelas respostas à pergunta, nosso objetivo principal foi investigar o processo de aprendizagem significativa dos alunos para o campo conceitual da física térmica e das propriedades térmicas dos materiais por meio de estratégias de ensino que compreendem desde a construção de um forno solar de baixo custo, até a realização de uma avaliação interdisciplinar, coerente com nossa prática pedagógica. A investigação abrangeu dois estudos: um no primeiro semestre de 2016 e, outro, no primeiro semestre de 2017. Em ambos, tivemos como instrumentos de coleta de dados, questionários para identificação das concepções prévias dos alunos sobre os conceitos da física térmica, questionamentos sobre esses conceitos num nível mais próximo do cotidiano deles, construção dos fornos solares a partir de situações que nortearam a busca pelos melhores materiais a serem utilizados, mapas conceituais construídos pelos alunos relativos aos protótipos, bem como uma avaliação interdisciplinar sobre os principais conceitos convergentes das duas disciplinas. Como resultados, identificamos evidências de aprendizagem significativa dos principais conceitos envolvidos, além de conteúdos procedimentais e atitudinais referentes ao processo de construção do forno. Isso nos motiva a seguir aperfeiçoando a proposta, bem como desenvolver mais trabalhos interdisciplinares.

Palavras-Chave: Aprendizagem Significativa. Campos Conceituais. Ensino-Aprendizagem. Física Térmica. Forno Solar.

ABSTRACT

INTERDISCIPLINARY APPROACH IN THERMAL PHYSICS TEACHING IN A TECHNICAL COURSE IN BUILDINGS BASED ON THE CONSTRUCTION OF A SOLAR OVEN

AUTHOR: Jonas Cegelka da Silva

ADVISER: Isabel Krey Garcia

Aiming to foment actions toward the interdisciplinarity focus, this investigation was structured in order to make converge the subjects of physics and building comfort of the second year of the technical course in buildings, integrated with the High School in the Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha (Farroupilha Federal Institute of Education, Science and Technology), *Campus* Santa Rosa. In the theoretical course, the work was based on the theories of the conceptual fields, of meaningful learning, of critical meaningful learning, in the interdisciplinarity and in the integrated curriculum. The research, which is qualitative and descriptive, sought to answer the following question: what are the implications of an interdisciplinary work, having as a motivating element the construction of a solar oven in order to provide a meaningful learning experience to the students in the matter of thermal physics concepts and of the thermal properties of materials? In the search for answers to the question, our main goal was to investigate the meaningful learning process of the students for the conceptual field of thermal physics and of the thermal properties of the materials by means of teaching strategies that comprehend both the construction of a low-cost solar oven and the implementation of an interdisciplinary evaluation coherent with our pedagogic practice. The investigation comprehended two studies: one in the first semester of 2016 and, another, in the first semester of 2017. In both cases, we had as data collection instruments, questionnaires for the identification of students' previous conceptions about the concepts of thermal physics, questions about these concepts closer to their every day lives, the construction of solar ovens starting from situations that guide the search for the best materials to be utilized, conceptual maps built by the students regarding the prototypes, as well as an interdisciplinary evaluation about the main convergent concepts of both subjects. As results, we gathered evidences of meaningful learning of the main concepts involved, and also of procedural and attitudinal contents regarding the process of building the oven. It motivates us to keep improving the proposal, as well as developing more interdisciplinary works.

Keywords: Meaningful Learning. Conceptual Fields. Teaching-Learning. Thermal Physics. Solar Oven.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO DA LITERATURA	16
2.1 Publicações em periódicos científicos	20
2.2 Publicações em teses e dissertações	23
2.3 Publicações em eventos científicos	25
2.4 Considerações sobre a revisão da literatura	28
3 PRESSUPOSTOS TEÓRICOS	32
3.1 Teoria da aprendizagem significativa	32
3.2 Teoria da aprendizagem significativa crítica	34
3.3 Teoria dos campos conceituais	35
3.4 Currículo integrado	38
3.5 Interdisciplinaridade	39
3.6 Considerações sobre os pressupostos teóricos	41
4 PERCURSO METODOLÓGICO	43
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
5.1 Primeiro bloco de instrumentos	63
5.1.1 O conceito de calor	63
5.1.2 O conceito de temperatura	69
5.1.3 O conceito de energia interna	76
5.1.4 Considerações sobre o primeiro bloco	83
5.2 Segundo bloco de instrumentos	87
5.2.1 O forno solar	87
5.2.2 Os mapas conceituais	114
5.2.3 Considerações sobre o segundo bloco	129
5.3 Terceiro bloco de instrumentos	132
5.3.1 Prova Interdisciplinar	132
5.3.2 Questionário de opinião	142
5.3.3 Considerações sobre o terceiro bloco	145
6 CONSIDERAÇÕES, QUESTÕES EMERGENTES E PERSPECTIVAS	148
REFERÊNCIAS	153
APÊNDICE 1: UEPS SOBRE CIRCUITO ELÉTRICO	162

1 INTRODUÇÃO

Os Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia (IFs), dos quais o Instituto Federal Farroupilha (IFFAR) faz parte, ofertam cursos em diferentes níveis e modalidades de ensino, com 50% das vagas destinadas à educação profissional técnica de nível médio, prioritariamente na forma de cursos integrados, para os concluintes do ensino fundamental e para o público da educação de jovens e adultos e; 20% para cursos de licenciatura, bem como programas especiais de formação pedagógica, com vistas à formação de professores para a educação básica, sobretudo nas áreas de ciências e matemática (BRASIL, 2008).

No IFFAR, *Campus Santa Rosa*, espaço no qual se desenvolvem nossas atividades docentes, o objetivo geral do Curso Técnico em Edificações Integrado ao Ensino Médio¹ (SANTA ROSA, 2014) é formar profissionais habilitados e qualificados para atuar em todas as etapas da construção de obras de edificações, utilizando os métodos, a boa técnica e demais conhecimentos que garantam a qualidade e a produtividade da construção civil. No itinerário formativo, algumas atividades práticas ocorrem durante a realização das Práticas Profissionais Integradas (PPI), as quais têm como finalidade incentivar a pesquisa como princípio educativo, promovendo a indissociabilidade entre ensino, pesquisa e extensão, devendo articular os conhecimentos de no mínimo quatro disciplinas, da área básica e da área técnica.

Com o intuito de promover um trabalho interdisciplinar no desenvolvimento regular das aulas, esta pesquisa foi estruturada de forma a fazer convergirem as disciplinas de física e de conforto das edificações² que constam na grade curricular do segundo ano do curso de edificações. A escolha pela disciplina de conforto se deu pela maior proximidade entre os conteúdos trabalhados e por apresentar muitas aplicações práticas dos conceitos abordados pela física, o que favorece e facilita uma primeira realização de atividade interdisciplinar.

A disciplina de física tem uma carga horária de 80h/a (dois períodos semanais de 50 minutos cada) e uma parte de sua ementa compreende a física térmica. Já a disciplina de conforto, com carga horária de 40h/a (um período semanal de 50 minutos) abarca, dentre outros, os tópicos de mecanismo de termoregulação, trocas térmicas entre corpo e ambiente, trocas de calor e proteção solar de paredes opacas, transparentes ou translúcidas.

Optamos por investigar o campo conceitual da física térmica em função de o mesmo ser de difícil entendimento, sendo seus conceitos fundamentais (calor e temperatura) “muito

¹ No decorrer do texto, quando nos referirmos ao curso, o denominaremos apenas de curso de edificações.

² No Projeto Pedagógico do Curso (PPC), o nome da disciplina consta como conforto das edificações; contudo, muitas vezes nos referiremos como conforto térmico; ainda, poderá aparecer a nomenclatura conforto, que é a forma como os alunos se referem à disciplina.

próximos, que os alunos têm dificuldade de distingui-los, e o pior, esses conceitos, na linguagem cotidiana, são utilizados quase como sinônimos” (CARVALHO, 2014, p. 15).

Atribuímos importância à nossa investigação ao fato de haver um notável número de cursos de edificações ofertados pelas instituições que integram a Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica. Conforme pesquisa realizada diretamente nos sites dessas instituições, nos dias 05 e 06 de julho de 2017, em 81 *campi* de 29 IFs são oferecidos o referido curso, conforme mostra a Tabela 1, o que demonstra um quantitativo significativo de *campi* que podem, a partir dos nossos resultados, disporem de uma alternativa pedagógica para implementação de práticas que integrem as duas disciplinas.

Tabela 1 – Número de *campi* que ofertam o curso de edificações em cada região brasileira.

Região Brasileira	Número de IFs	Número de <i>campi</i>
Sul	4	7
Sudeste	6	10
Centro-Oeste	4	10
Nordeste	10	42
Norte	5	12

Fonte: Autor (2018)

O ensino médio integrado à educação profissional, uma das formas de organização do currículo dos IFs, deve remeter a uma integração no sentido de formação humana em todas as dimensões da vida, trabalho, ciência e cultura. Essa integração é favorecida, por meio (i) da superação dos padrões pedagógicos existentes; (ii) de uma gestão e uma participação democrática; (iii) de estudo e qualificação conceitual e prática dos professores e; (iv) de envolvimento dos professores para este fim (CIAVATTA; RAMOS, 2011). A partir dessa ideologia, é preciso educar os sujeitos para que desenvolvam “capacidades para o pensamento crítico, como uma das estratégias perante uma sociedade e um mundo no qual os fundamentalismos, o pensamento dogmático, tendem a inundá-lo e a se colocar como único parâmetro a perpetuar” (SANTOMÉ, 1997, p. 15).

Alicerçados nessa contextualização sobre currículo integrado, buscamos no Projeto Pedagógico do Curso de Edificações do IFFAR, *Campus* Santa Rosa, elementos que embasem

a justificativa do curso, aliada ao perfil do egresso e ao itinerário formativo que ao aluno é possibilitado e que representem princípios de currículo integrado.

Referindo-se ao IFFAR, o documento destaca que a finalidade principal da instituição é “ser referência em educação profissional, científica e tecnológica como promotora do desenvolvimento regional sustentável [...] com foco na formação de cidadãos críticos, autônomos e empreendedores” (SANTA ROSA, 2014, p. 8). Esse excerto corrobora as prerrogativas de um currículo integrado que engloba a formação de um sujeito com vistas à construção do conhecimento integral e não apenas como mão de obra para ingresso no mercado de trabalho. O documento reitera essa preocupação ao entender que “é fundamental a criação de ações norteadoras para a proposição de cursos que possibilitem ao educando a continuidade de seus estudos e uma inserção qualificada no âmbito profissional” (ibid., p. 12).

Referindo-se ao curso em questão, o documento indica a diretriz de formar sujeitos que concebam “o homem como ser histórico-social, que age sobre a natureza para satisfazer suas necessidades, produzindo conhecimentos que a transformam e a si próprio” (ibid., p. 9). Esse enunciado concorda com o que Ciavatta (2005) defende por formação integrada, que supõe a compreensão das relações históricas e sociais subjacentes aos fatos, que geram conhecimento a partir de uma leitura de que a ciência não é neutra. Nesse mesmo viés, à escola compete a construção de um conhecimento crítico e reflexivo “não só como produto do desenvolvimento alcançado pela humanidade em seu devir sócio-histórico, mas principalmente como instrumentos, procedimentos de análises, de transformação e criação de uma realidade natural e social concreta” (SANTOMÉ, 1998, p. 95).

Para atender os princípios institucionais, a grade curricular do curso está organizada em três núcleos de formação: básico, tecnológico e politécnico, sendo que o último “é o espaço onde se garantem, concretamente, conteúdos, formas e métodos responsáveis por promover, durante todo o itinerário formativo, a politecnia, a formação integral, omnilateral, a interdisciplinaridade” (SANTA ROSA, 2014, p. 28). No entanto, a integração curricular

em si, não se dá e não está na forma de organização do currículo, mas no processo de ensino e de aprendizagem que se dá a partir dele. Isso, contudo, implica bem mais que um currículo diferenciado ou diversificado, implica em educadores e em metodologias contínuas que fazem o ensino e a aprendizagem de forma a se integrar as dimensões da ciência, do trabalho, da cultura e da tecnologia. Sendo assim, um currículo, mesmo com uma matriz curricular tradicional (por disciplinas), pode proporcionar a integração se os sujeitos ativos da educação (educadores e educandos) trabalharem para obter isso (CRUZ SOBRINHO, 2017, p. 106).

Sendo a elaboração do PPC uma tarefa coletiva, alguns pontos merecem destaque como dificuldades encontradas na efetivação do currículo de ensino médio integrado do IFFAR, *Campus* Santa Rosa: (i) a formação inicial de muitos professores é falha em se tratando de subsídios para compreender e abordar esses aspectos; (ii) o saber ensinado ainda é fragmentado, refletindo uma desarticulação entre as disciplinas dos diferentes núcleos e; (iii) diversos professores não têm disposição para fomentar as perspectivas desse tipo de currículo, ministrando suas aulas da mesma forma que o fariam em uma escola apenas de ensino médio regular, muitas vezes por não compreender esse universo, não concordar com este tipo de concepção ou ainda, não ter o sentimento de pertencimento à instituição.

Algumas dificuldades foram, no ano de 2014, melhoradas com a reestruturação do PPC, momento no qual os professores puderam elaborar as áreas de integração, decidir a ementa das disciplinas, pensar o itinerário formativo dos alunos, bem como as formas de conceber a avaliação. Mas isso continua como desafio institucional, uma vez que a realidade de sala de aula ainda é distante daquele ideal descrito no papel.

Essas ressalvas não são no sentido de desmerecer a instituição, mas de suscitar o debate entre o coletivo para que avanços sejam concretizados para que o *Campus* seja reconhecido, para além do número expressivo de aprovação dos alunos em universidades públicas, mas também pela formação em suas diferentes dimensões possibilitada a seus alunos, refletindo numa mudança de postura frente à sociedade na qual estão inseridos, por meio de uma educação emancipatória, para o mundo do trabalho.

A interdisciplinaridade surge nesse contexto, juntamente com o referencial da aprendizagem significativa crítica como forma de avivar um ensino integrado, buscando romper com a linearidade dos conteúdos, com o isolamento das disciplinas, com a formação tecnicista que muitas vezes sobressai, etc. Considerando que não é apenas interessante adquirir conhecimento de maneira significativa, mas adquiri-los criticamente (MOREIRA, 2012), a superação das barreiras entre as disciplinas representa a possibilidade dos sujeitos situarem-se na sociedade contemporânea, compreendendo e analisando de forma crítica as informações com as quais são defrontados (FAZENDA, 2011). Nesse viés de pensamento, tomamos como referência a intencionalidade da escola, espaço este “onde se aprende a ser cidadãs e cidadãos, a analisar informada e criticamente o que está ocorrendo na sociedade, a criar disposições e atitudes positivas de colaboração e participação na resolução de problemas coletivos” (SANTOMÉ, 2001, p. 78).

Estas concepções implicam que a interdisciplinaridade corresponde a um eixo importante da nossa investigação e o forno solar, à ponte entre a física e o conforto. Quando

pensamos no forno, alguns questionamentos que surgem são: a montagem e a utilização deste dispositivo ajudam os alunos a aprenderem de forma significativa os conceitos associados à física térmica? Um forno solar constitui-se em um material potencialmente significativo? Por meio da sua construção e do enfoque dado pelos professores, os alunos percebem a relação entre as duas disciplinas? De modo mais amplo, estes questionamentos nos conduziram ao seguinte problema de pesquisa: *quais as implicações de um trabalho interdisciplinar, tendo como elemento motivador a construção do forno solar, para a aprendizagem significativa³ dos alunos sobre os conceitos da física térmica e das propriedades térmicas dos materiais?*

Estas inquietações, no tocante ao ensino-aprendizagem, refletem nossa atitude frente aos alunos, tornando-nos responsáveis por ajudar a significarem os conceitos do campo conceitual da física térmica. Para isso, podemos dizer que nosso objetivo principal é *investigar o processo de aprendizagem significativa dos alunos para o campo conceitual da física térmica e das propriedades térmicas dos materiais por meio de estratégias de ensino que compreendem desde a construção de um forno solar de baixo custo, até a realização de uma avaliação interdisciplinar, coerente com nossa prática pedagógica.*

Concebemos, a partir disso, que construir conceitos de forma significativa possibilita aos alunos o entendimento dos fenômenos que ocorrem no mundo à sua volta e a aprendizagem passa a ser significativa quando “novos conceitos, ideias, proposições interagem com outros conhecimentos relevantes e inclusivos, claros e disponíveis na estrutura cognitiva” (MOREIRA, 2008, p. 2). Do nosso objetivo principal, decorrem nossos objetivos específicos, a saber:

- Identificar as concepções prévias dos alunos sobre o campo conceitual da física térmica para, a partir delas, elaborar os roteiros didáticos;
- Fomentar ações, por meio de atividades práticas envolvendo a construção do forno solar, que ajudem os alunos a significarem os conceitos abordados pelas disciplinas, tornando-os sujeitos investigativos na busca pela solução dos problemas;
- Estabelecer o diálogo permanente entre os sujeitos envolvidos a fim de construir caminhos para a efetivação da integração curricular, tal como proposta dos IFs;
- Verificar e analisar indícios de aprendizagem significativa dos alunos sobre os conceitos da física térmica e das propriedades térmicas dos materiais construtivos.

³ Ao longo do texto, sempre que nos referirmos à busca de evidências de aprendizagem significativa, estamos também buscando indícios de que ela seja crítica, numa perspectiva que a segunda engloba a primeira.

Fundamentados nessas considerações, dividimos a tese em seis capítulos:

Introdução: destaca alguns recortes que justificam nossa pesquisa e traz os objetivos e problema de pesquisa;

Revisão da Literatura: apresenta uma discussão sobre alguns trabalhos semelhantes ao nosso, publicados em periódicos, eventos científicos, teses e dissertações, no sentido de buscar elementos que nos ajudem a definir etapas importantes da pesquisa, uma vez que essa revisão nos apresenta o que se tem publicado sobre o tema. Também, traz uma análise de como alguns livros, tanto de física quanto de conforto, se referem ao conceito de calor.

Pressupostos Teóricos: trazem os principais pontos referentes às teorias da aprendizagem significativa, da aprendizagem significativa crítica, dos campos conceituais, do currículo integrado e da interdisciplinaridade, no sentido de construir um referencial que embasa nossa pesquisa e que aponta caminhos para a proposição das atividades didáticas;

Percurso Metodológico: descreve os materiais e métodos que delinearão a busca pelas respostas ao nosso problema de pesquisa, destacando as etapas da investigação, com a descrição dos instrumentos de coleta de dados e a devida forma de inserção dos mesmos;

Resultados e Discussão: expõem os resultados construídos a partir dos instrumentos de coleta de dados, bem como as discussões sobre os mesmos. Essa discussão acontece de forma a fazer convergir com os pressupostos teóricos defendidos na tese;

Considerações, questões emergentes e perspectivas: trazem as asserções de conhecimento e de valor verificadas no decorrer da pesquisa; apresentam questionamentos que direcionam novas pesquisas, bem como destacam uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) sobre os circuitos elétricos, numa perspectiva de trabalho interdisciplinar da física com a disciplina de sistemas prediais.

2 REVISÃO DA LITERATURA⁴

Neste capítulo apresentamos os resultados da nossa busca bibliográfica, a qual abrangeu anais de eventos, periódicos científicos, teses e dissertações no período entre 2005 e agosto de 2017. As palavras-chave definidas para a busca foram: calor, calorimetria, conforto térmico, energia solar, física térmica, fogão/forno solar, temperatura, termodinâmica, termologia e termometria, de modo que selecionamos apenas os trabalhos com foco no ensino médio. Norteamos a busca com os recortes escolhidos baseados em Laville e Dionne (1999) que apontam que esta etapa representa um decurso crítico relacionado ao nosso objetivo, de forma a filtrar os trabalhos que nos despertam maior interesse e que contribuem de forma significativa com nossos propósitos, tendo, assim, a nossa escolha e interpretação.

Os periódicos escolhidos para análise foram: Aprendizagem Significativa em Revista (ASR), Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF), Experiências em Ensino de Ciências (EENCI), Latin-American Journal of Physics Education (LAJPE), Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF), Ciência & Educação (CE), Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias (REEC), Enseñanza de las Ciencias (ELC) e Investigação em Ensino de Ciências (IENCI). Escolhemos esses periódicos em função de terem disponibilidade on-line e gratuita, significativa relevância para a área do ensino, além de serem bem avaliados na área de ensino da Capes, no quadriênio 2013-2016, o que dá uma representatividade nacional e estrangeira.

A partir da delimitação das palavras-chave, foram pré-selecionados 52 artigos publicados nesses periódicos. Foi realizada uma leitura exploratória dessas obras, com o objetivo de verificar se convergiam com nossos objetivos (GIL, 2002) e 16 deles foram selecionados para uma leitura analítica, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2 – artigos analisados dos periódicos científicos.

Autor	Título	Ano	Publicação
Damasio e Steffani	Ensinando física com consciência ecológica e com materiais descartáveis	2007	RBEF
Carvalho Júnior e Aguiar Júnior	Os campos conceituais de Vergnaud como ferramenta para o planejamento didático	2008	CBEF
Grings et al.	Possíveis indicadores de invariantes operatórios	2008	RBEF

⁴ Parte deste capítulo foi publicada em SILVA, J. C.; GARCIA, I. K.; TOLENTINO-NETO, L. C. B. O ensino da física térmica e o forno solar: uma revisão. **Revista Thema**, v. 14, n. 3, p. 222-240, 2017.

	apresentados por alunos em conceitos da termodinâmica		
Grings et al.	Avanços e retrocessos dos alunos no campo conceitual da Termodinâmica	2008	REEC
Silva et al.	Reflexões para subsidiar discussões sobre conceito de calor na sala de aula	2008	CBEF
Dorado e Rivera	Enseñanza de las ciencias físicas a estudiantes de primaria y secundaria por medio de sencillos talleres científicos	2010	LAJPE
Dworakowski et al.	O aquecedor solar na sala de aula	2010	EENCI
Gomes	A ascensão e queda da teoria do calórico	2012	CBEF
Hernández e Dávalos	La Termodinámica como origen de la revolución industrial del siglo XVIII	2012	LAJPE
Ramos et al.	An alternative for the teaching and learning of the heat transmission topic with base in the directed research for high-school students	2012	LAJPE
Pérez	Perspectivas didácticas de una aproximación histórica a la medición y concepto de temperatura	2013	LAJPE
Silva et al.	Concepções sobre a natureza do calor em diferentes contextos históricos	2013	CBEF
Moro et al.	Atividades experimentais e simulações computacionais: integração para a construção de conceitos de transferência de energia térmica no ensino médio	2016	CBEF
Ariza et al.	¿Lana o metal? Una propuesta de aprendizaje por indagación para el estudio de las propiedades térmicas de materiales comunes	2016	REEC
Picquart e Morales	De la temperatura y su medición	2017	LAJPE
Lorenzoni e Recena	Contextualização do ensino de termoquímica por meio de uma sequência didática baseada no cenário regional “queimadas” com experimentos investigativos	2017	EENCI

As teses e dissertações foram buscadas na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações. No portal, um total de 56 trabalhos foi pré-selecionado. Também, depois de uma leitura exploratória, foi realizada a leitura analítica de 11 deles, conforme Tabela 3.

Tabela 3 – trabalhos analisados das teses e dissertações.

Autor	Título	Ano	Publicação
Rafael	Elaboração e aplicação de uma estratégia de ensino sobre os conceitos de calor e de temperatura	2007	Dissertação
Silva	Mapas conceituais como instrumentos de promoção e avaliação da aprendizagem significativa de conceitos de calorimetria, em nível médio	2007	Dissertação
Oliveira	Atividade experimental investigativa: construção do termômetro de coluna líquida	2013	Dissertação
Poglia	O refrigerador doméstico como instrumento motivador para o ensino de física térmica: uma proposta para o curso Técnico Integrado em Refrigeração e Climatização	2013	Dissertação
Pradella	Estudo de conceitos da termodinâmica no ensino médio por meio de UEPS	2014	Dissertação
Pereira	Memória mediada na aprendizagem de Física: problematizando a afirmação “Não me lembro de nada das aulas do ano passado!”	2014	Tese
Faccin	Implementação de unidades de ensino potencialmente significativas sobre física térmica para alunos do 2º ano do ensino médio	2015	Dissertação
Machado	O ensino de física térmica na perspectiva da aprendizagem significativa: uma aplicação no ensino médio	2015	Dissertação
Sarmento	Construção e análise de um forno solar como uma atividade prática não formal no ensino de física	2015	Dissertação
Fernandes	O ensino da física térmica a partir de um modelo didático de coletor solar	2016	Dissertação
Paula	Ensino de física por projetos: a física do forno solar	2017	Dissertação

Fonte: Autor (2018).

Os eventos definidos para apreciação foram o Encontro de Físicos do Norte e Nordeste (EFNNE), o Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF), o Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC) e o Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (EPEF). A seleção ocorreu mediante busca das palavras-chave nos títulos dos trabalhos apresentados na forma de pôster e comunicações orais, da seção ensino de física e posterior leitura exploratória e analítica de 44 deles foi realizada. A Tabela 4 mostra a relação dos 10 trabalhos que mais convergem com nossos pressupostos.

Tabela 4 – trabalhos analisados dos eventos científicos.

Autor	Título	Ano	Publicação
Weiller et al.	Construindo um coletor solar de baixo custo: uma oportunidade para ensinar Física	2007	SNEF
Buss e Nogueira	Construção de um aquecedor solar de baixo custo: um projeto de ensino e de aprendizagem para alunos do 1º ano do ensino médio	2011	SNEF
Oliveira et al.	Atividades de conceitualização em física térmica: buscando invariantes operatórios	2012	EPEF
Lima e Amarin	Conforto térmico em residências como uma proposta de contextualização para o ensino de termodinâmica no ensino médio	2013	EFNNE
Lima e Amarin	Conforto térmico em residências como uma proposta de contextualização para o ensino de termodinâmica no ensino médio	2013	SNEF
Lopes et al.	Sistema de aquecimento solar como tema de formação em física/cidadania	2013	SNEF
Menezes	Aquecedor solar: uma possibilidade de ensino de física através de temas geradores	2013	SNEF
Soares Neto e Leite	Controle de temperatura a partir da construção da manta térmica com caixas de leite do tipo longa vida (tetra pak)	2014	EFNNE
Torcate et al.	Utilização de um aquecedor solar como ferramenta didática para o ensino dos conceitos de	2015	SNEF

calor			
Lauria e Castro	Forno solar – experimento exploratório de Física no ensino médio	2017	SNEF

Fonte: Autor (2018).

2.1 PUBLICAÇÕES EM PERIÓDICOS CIENTÍFICOS

Dos 52 trabalhos pré-selecionados, apresentamos uma breve descrição de 16 deles que corroboram com o foco da nossa revisão e que foram categorizados da seguinte forma:

(i) *Utilização de fornos/aquecedores solares no ensino da física térmica*

Dorado e Rivera (2010) apresentam o resultado de uma experiência na qual elaboraram e expuseram diversos experimentos construídos com materiais de baixo custo, sendo um deles, uma estufa solar, construída com uma antena parabólica recoberta com papel alumínio. Os autores destacam que a divulgação e educação científica fora da sala de aula promove uma curiosidade científica e tecnológica, despertando o interesse dos alunos.

Também se referindo a aquecedores solares, mas num contexto de trabalho interdisciplinar, Dworakowski et al. (2010) orientaram a construção de um dispositivo utilizando garrafas pet e caixas de leite para o desenvolvimento de conceitos relativos à hidrostática e à física térmica. Os autores destacam um trabalho interdisciplinar mais significativo com a área das ciências da natureza, um melhor aproveitamento dos alunos nas matérias relacionadas ao aquecedor e maior interação da escola com a comunidade.

Igualmente, Damasio e Steffani (2007) descrevem um projeto interdisciplinar com vistas à discussão do aquecimento global, a partir de um aquecedor de água caseiro. No desenvolvimento dos conceitos da física térmica, os alunos foram instigados a explicar cada etapa da construção do aquecedor, justificando a escolha dos materiais utilizados. Esse trabalho nos motivou a estruturar uma investigação sobre a construção do forno solar a partir da elaboração de um roteiro que descreva a funcionalidade do dispositivo a partir da seleção de materiais diferentes, por eles escolhidos, partindo da pesquisa sobre suas propriedades.

(ii) *Discussão histórica dos conceitos de calor e temperatura*

Pérez (2013) realiza uma descrição da evolução histórica da termometria, ressaltando os experimentos feitos para projetar os instrumentos, estabelecer os pontos fixos ou calibrar as escalas de medida. Apresenta também uma série de propostas de atividades experimentais que podem elucidar o desenvolvimento dos termômetros. Destaca ainda, que essas atividades

podem ser realizadas em vários contextos, reforçando a necessária atenção à física experimental. Em viés semelhante, Picquart e Morales (2017) fazem uma análise histórica sobre a evolução dos termômetros e as contribuições que culminaram com a compreensão acerca do calor e da temperatura.

Hernández e Dávalos (2012) destacam um marco teórico sobre as contribuições científicas que motivaram as transformações ocorridas no sistema de produção e o aporte da termodinâmica para o surgimento da revolução industrial. Essas discussões são importantes para a sala de aula, como forma de mostrar aos alunos o desenvolvimento da ciência e da tecnologia e seus efeitos na sociedade, bem como sobre as mudanças ocorridas no ensino.

Já Silva et al. (2013) fazem uma síntese sobre a construção do conceito de calor até o final do século XVIII, apresentando exemplos sobre algumas visões deformadas que existem sobre as ciências, defendendo a não linearidade do progresso científico. Os autores propõem a inserção da história da termodinâmica nas salas de aula da educação básica.

(iii) *Confusão conceitual entre calor e temperatura*

Em se tratando da dificuldade encontrada sobre a conceituação do calor e da temperatura, Gomes (2012) analisa as teorias sobre calor a partir dos processos que envolvem aquecimento e resfriamento e conclui que, embora a teoria do calórico não seja aceita cientificamente, os livros textos apresentam calor como uma grandeza que um corpo pode ganhar ou perder, tal qual a representação que os alunos fazem desse conceito. De maneira similar, Silva et al. (2008) fornecem algumas reflexões sobre o conceito de calor e sua utilização na sala de aula. Os autores afirmam que as dificuldades em ensinar o conceito aparecem tanto nos livros quanto nas concepções dos professores.

Argumentando que, particularmente sobre a física térmica, os alunos não utilizam os conceitos de forma precisa, embora esse tema faça parte da vida cotidiana dos mesmos, Ramos et al. (2012) investigaram se a pesquisa dirigida favorece um melhor aprendizado dos conceitos de calor (e sua transmissão) e temperatura, tendo uma turma de controle. Os autores destacam que essa forma de ensino mostrou uma diferença significativa do conhecimento conceitual adquirido em relação aos alunos que tiveram aula tradicional.

(iv) *Uso do referencial teórico de Vergnaud*

Baseados na teoria dos campos conceituais, Carvalho Jr. e Aguiar Jr. (2008) investigaram a efetividade da utilização de várias estratégias e atividades por meio de uma sequência didática, elaborada a partir de diferentes situações. Como resultado, destacam que os alunos evoluíram conceitualmente quando comparados com a identificação de seus conhecimentos prévios.

Grings et al. (2006) divulgam uma análise das dificuldades apresentadas por alunos sobre os tópicos do campo conceitual da termodinâmica, indicando possíveis invariantes operatórios que os mesmos utilizam nas diferentes situações e que funcionam como obstáculo cognitivo para a aprendizagem do campo conceitual pesquisado. Em trabalho posterior, Grings et al. (2008) apresentam resultados de uma pesquisa semelhante, com a diferença que a investigação ocorreu com alunos que tinham estudado termodinâmica no ano anterior. Apesar disso, os autores destacam que os alunos continuavam não compreendendo adequadamente os signos utilizados no referido campo conceitual.

(v) Recursos didáticos para o ensino da física térmica

As discussões sobre a inserção de atividades experimentais no ensino da física térmica aparecem em três trabalhos. Lorenzoni e Recena (2017) propõem uma sequência didática para o estudo do calor (e sua transmissão), temperatura e equilíbrio térmico por meio de experimentos demonstrativos/investigativos, em um contexto caracterizado por queimadas. As autoras afirmam que a partir do diálogo e argumentação, os alunos perceberam as incoerências dos significados dados aos conceitos pelo senso comum e evoluíram na compreensão de conceitos científicos.

Por sua vez, Ariza et al. (2016) apresentam uma proposta de trabalho sobre o conceito de condutividade térmica. Os alunos, a partir de suas concepções prévias, foram desafiados a propor experimentos para comprová-las (ou não). Para a realização dos experimentos, receberam cubos de gelo, recipientes metálicos e pedaços de pano e tecido, mas cada grupo podia enriquecer o experimento. Os autores destacam que a atividade foi potencial para superar as ideias errôneas sobre as propriedades térmicas dos materiais, bem como sobre os conceitos de calor e temperatura.

Já Moro et al. (2016) buscaram formas de articular atividades experimentais e simulações computacionais para o ensino das formas de transferência de energia térmica. Por meio de um questionário inicial, foi identificado que os alunos apresentavam algumas noções sobre o conteúdo, mas não diferenciavam calor e temperatura. A partir da sequência didática, os autores encontraram indícios de aprendizagem significativa, o que indica que esses recursos didáticos constituem-se em materiais potencialmente significativos.

Da leitura do material analisado, percebe-se que os conceitos da física térmica aparecem em contextos de tentativas de trabalho interdisciplinar, objetivando modificar o currículo compartimentalizado e descontextualizado; os conceitos de calor e temperatura são tratados como sinônimos pelos alunos, o que pode ser reflexo da forma como os professores ou os livros didáticos os apresentam; o referencial teórico de Vergnaud é um bom suporte

para a ocorrência de aprendizagem significativa, seja mediante utilização de situações ou de identificação de possíveis invariantes operatórios e; as atividades experimentais ou de simulação computacional são recursos potenciais para a aprendizagem significativa dos alunos sobre os conceitos desse campo conceitual.

2.2 PUBLICAÇÕES EM TESES E DISSERTAÇÕES

Os trabalhos analisados desses documentos se enquadram nas seguintes categorias:

(i) *Uso do referencial teórico de Ausubel*

Se a aprendizagem ocorre de forma significativa, o aluno, quando solicitado, tem mais facilidade de recordar o conhecimento aprendido. Buscando identificar o que os alunos retomam das aulas de física do ano anterior, Pereira (2014) procura compreender os processos que levam a essas retomadas, utilizando atividades investigativas sobre calor e temperatura. Aproximadamente um ano depois, foram aplicadas para os mesmos alunos atividades diferentes, mas que abarcavam os mesmos conceitos. A autora destaca que os alunos retomaram, além de conhecimentos e habilidades referentes ao ensino por investigação, atividades realizadas nas aulas, sentimentos e sensações.

Já Machado (2015) investiga, embasada nas teorias da aprendizagem significativa e significativa crítica, atividades que buscavam estabelecer os subsunçores no ensino da calorimetria e que promoviam a evolução conceitual. A autora destaca a ocorrência de aprendizagem significativa e significativa crítica, uma vez que os alunos, a partir de seus conhecimentos prévios, estabeleceram relações para formalizar novos conceitos.

Sobre a utilização de mapas conceituais, Silva (2007) busca verificar se a utilização desse instrumento é uma estratégia eficiente para promover e avaliar a aprendizagem significativa dos conceitos da calorimetria. Foram comparados os conhecimentos dos alunos por meio dos mapas conceituais que os mesmos construíram no decorrer das intervenções. Contudo, os indícios da aprendizagem significativa ficaram aquém do esperado, embora os alunos tenham conseguido fazer algumas relações cruzadas entre os conceitos.

(ii) *Experimentação no ensino da física*

Poglia (2013) apresenta uma proposta de ensino de física térmica contextualizada e integrada à formação técnica. Para o desenvolvimento da pesquisa, foi utilizado um sistema de refrigeração doméstico montado sob a forma de uma bancada didática. A partir desta proposta, houve um crescimento nos índices de acertos demonstrados pelos questionários de pré e pós-testes, além do elevado grau de satisfação dos alunos, o que pode sugerir que os

alunos dedicam-se mais quando estão motivados, quando o material a ser estudado é potencialmente significativo e quando ocorre a integração das áreas técnica e básica.

A partir da metodologia investigativa, Oliveira (2013) propõe a construção, com a utilização de materiais caseiros, de um termômetro de coluna líquida para desenvolver a termologia. Os materiais utilizados para a análise foram questionários de cunho conceitual e experimental, bem como relatórios das atividades práticas. Alguns resultados indicam que os alunos apresentaram dificuldade para expressar suas ideias e conclusões na forma escrita, bem como certa rejeição em fazer uso de ferramentas matemáticas durante o trabalho.

Partindo das concepções alternativas dos alunos sobre calor e temperatura, Rafael (2007) elabora e aplica uma estratégia de ensino constituída por atividades envolvendo história da ciência e experimentos, a partir de uma proposta do livro do Grupo de Reelaboração do Ensino de Física (GREF). Os temas abordados foram o desenvolvimento da termodinâmica e a evolução dos conceitos de calor e de temperatura, sendo que a estratégia resultou em ganhos em termos da aprendizagem, indicando a superação de algumas concepções iniciais.

(iii) *Utilização de aquecedores/coletores solares no ensino da física térmica*

Ainda que envolvam atividades experimentais, três trabalhos diretamente relacionados à utilização de fornos solares no ensino da física térmica foram localizados. Sarmento (2015) descreve os resultados de uma investigação a partir da construção e análise de fornos solares no estudo dos conceitos da termodinâmica, energia solar, eletromagnetismo e radiação de corpo negro. A eficiência dos fornos foi testada a partir da cocção de alguns alimentos e a sistematização do trabalho ocorreu em uma comunidade de trabalhadores rurais, local em que os alunos apresentaram os resultados, conscientizando as famílias sobre as vantagens de se utilizar o protótipo em sua realidade.

Fernandes (2016) apresenta uma sequência didática sobre a física térmica, sendo usado, como forma de contextualização, um sistema de aquecimento de água por meio da energia solar. A partir disso, foi construído um coletor solar didático, para proporcionar a conexão do tema com os conceitos científicos. Como resultado, a autora destaca que as aulas foram ricas em discussões acerca das atividades, bem como foi expressivo o interesse dos alunos diante de experimentos.

Por sua vez, Paula (2017) relata uma metodologia de ensino focalizada no projeto de criação de um forno solar, para a discussão dos conceitos das trocas de calor. Num primeiro momento os alunos realizaram uma pesquisa sobre energia solar, seguida de uma contextualização acerca do forno solar, seus tipos, utilização e características e posterior

construção de fornos tipo caixa. Como resultados, o autor salienta que boa parte dos alunos demonstrou que aprendeu e gostou de realizar o projeto de construção do forno, conciliando os conhecimentos formais de sala de aula com a prática.

(iv) *Uso do referencial teórico de Vergnaud*

Tendo como foco a teoria dos campos conceituais desenvolvida por intermédio de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS), Pradella (2014) analisa a aplicação de quatro dessas unidades sobre conceitos da física térmica. A metodologia utilizada conteve simulações interativas, aulas expositivo-dialogadas, resolução de exercícios e de avaliações, e construção e apresentação de mapas conceituais. Com o desenvolvimento das atividades não houve avaliação negativa em relação à organização das aulas ou à proposição da abordagem a partir das UEPS; no entanto, alguns alunos demonstraram preocupação em relação à quantidade de exercícios propostos. Sobre a avaliação do aprendizado, os alunos tiveram maior clareza em relação aos conceitos abordados.

Trabalho que também utiliza a estratégia didática das UEPS foi realizado por Faccin (2015), sendo que uma delas abarcou o conceito de temperatura, e outra, o conceito de calor. Como resultados da pesquisa, a autora destaca que essas UEPS apontaram indícios de aprendizagem significativa, haja vista que foram estruturadas de forma a possibilitar a evolução conceitual dos alunos, a partir de questionamentos que se tornavam mais complexos conforme os alunos progrediam no campo conceitual.

Das dissertações e teses analisadas, percebe-se um desejo de discutir os conceitos da física térmica em um contexto de formação técnica, como forma de dar significado a esses conceitos em uma formação profissional; as teorias de Ausubel e Vergnaud fundamentam diversos trabalhos, por serem teorias complementares e que buscam avanços no processo de ensino-aprendizagem; a experimentação é uma estratégia importante no ensino da física porque possibilita diversos níveis de investigação, facilitando a aprendizagem de conceitos que explicam e/ou justificam fenômenos físicos; e num viés experimental, a construção do forno solar aparece como um recurso promissor para o ensino da física térmica.

2.3 PUBLICAÇÕES EM EVENTOS CIENTÍFICOS

Os trabalhos analisados dos eventos científicos foram categorizados na forma:

(i) *Ensino Contextualizado da física térmica*

Relacionando o conforto térmico com a capacidade de o organismo humano realizar trabalho, Lima e Amorim (2013) descrevem um roteiro para analisar o nível de conforto com

as pessoas desempenhando atividades cotidianas, a partir da coleta de dados de temperatura e umidade relativa do ar. Além disso, os autores propuseram uma solução para reduzir o desconforto domiciliar, construindo dois protótipos de casa, com telhados de cor diferente – um branco e outro, cinza. Como resultados, os autores destacam que todos os sujeitos, alunos e familiares se envolveram fortemente com o projeto; o trabalho foi desenvolvido inteiramente no horário regular da aula e foi possível desenvolvê-lo de forma contextualizada com a realidade dos alunos. Em trabalho complementar, Lima e Amorim (2013b) relatam que a temperatura atingida pelo telhado pintado de branco foi 5°C mais baixa que do telhado pintado de cinza, quando ambos foram expostos por 24h à radiação.

Objetivando mostrar aos alunos a viabilidade e eficácia das mantas térmicas feitas com caixas de leite longa vida no conforto térmico em residências, Soares Neto e Leite (2014) constroem dois protótipos de casa, ambas cobertas com cimento-amianto, sendo que uma delas teve a superfície interna do telhado coberta com uma manta feita com caixas de leite. As medidas de temperatura, meia hora após a exposição à radiação, indicaram uma diferença de temperatura de 8°C entre as casas, demonstrando a eficiência da manta térmica.

(ii) *Utilização de fornos/aquecedores solares no ensino da física térmica*

A partir da constatação de que pessoas carentes que têm aquecedores solares em casa para reduzir os gastos com energia, por exemplo, desconhecem o funcionamento desses sistemas bem como a forma de utilização adequada para obter economia na conta de energia elétrica, Lopes et al. (2013) descrevem o resultado de um trabalho desenvolvido a partir do tema gerador “aquecimento solar”. Um grupo de alunos, em encontros extraclasse, retomara os conceitos aprendidos sobre física térmica para o entendimento dos aquecedores solares. O estudo dos conceitos da transmissão do calor, tendo o coletor como tema gerador, proporcionou maior envolvimento dos alunos e contribuiu para a aprendizagem de conhecimentos e fenômenos físicos, o que pode resultar na melhoria da qualidade de vida dos sujeitos participantes, bem como daquelas pessoas que vivem no seu entorno, pois os alunos se tornaram disseminadores da utilização correta desses dispositivos.

Menezes (2013), embasado no referencial teórico dos temas geradores e dos três momentos pedagógicos, propõe a construção de um aquecedor solar de baixo custo. Partindo de uma pesquisa realizada pelos alunos sobre construção e funcionamento desses dispositivos, diversos conceitos da física térmica foram estudados. A partir do conhecimento sistematizado, os alunos construíram um sistema para aquecimento de água utilizando garrafas pet, embalagens de leite longa vida e canos de PVC. Cada grupo apresentou os resultados do seu aquecedor por meio de um seminário realizado para os colegas e professores. O autor destaca

que o trabalho possibilitou a elucidação dos conhecimentos prévios dos alunos para a posterior construção do conhecimento científico.

Buss e Nogueira (2011) apresentam o resultado de uma experiência didática na qual foram estudados os conceitos relativos à física térmica e à ondulatória e que culminou com a construção de um aquecedor de água de baixo custo utilizando energia solar. Algumas aulas constituíram-se de demonstração de aspectos teóricos e resolução de exercícios referentes aos conteúdos; outras foram desenvolvidas com exposição de vídeos e pequenos experimentos; também tiveram algumas aulas destinadas à confecção do aquecedor solar. Como resultado, os autores afirmam que houve evidências de aprendizagem significativa, de modo que os novos conhecimentos foram ancorados na estrutura cognitiva existente dos sujeitos.

Similarmente, Weiller et al. (2007) propõem a construção de um coletor solar de baixo custo. Por dois dias o coletor foi exposto à radiação, do início da manhã ao início da noite e nesses dias, embora as condições climáticas tenham sido diferentes, a temperatura final da água sofreu uma variação de aproximadamente 16°C. Também para estudo dos conceitos de calor e temperatura, Lauria e Castro (2017) propõem um trabalho que objetiva utilizar a experimentação no ensino de física, por meio de um forno solar. Após aulas teóricas sobre os conceitos, os alunos construíram, em grupos, um forno solar com materiais de baixo custo, bem como um relatório sobre as etapas de construção e dos materiais utilizados. As autoras concluem que aliando as aulas teóricas e expositivas de física, com atividades experimentais, aumentou o interesse dos alunos pela disciplina.

Com o objetivo de investigar as contribuições referentes ao desenvolvimento de um ensino de física contextualizado a partir da utilização de um aquecedor solar de baixo custo, Torcate et al. (2015) utilizam os mapas conceituais como ferramenta para avaliação. Os tópicos abordados nas discussões foram os processos de propagação do calor. Foram construídos dois mapas conceituais: um com os conhecimentos prévios dos sujeitos sobre os conceitos abordados e o outro após a intervenção didática. Essa intervenção ocorreu durante duas aulas, nas quais os alunos discutiram os princípios físicos presentes no aquecimento da água no aquecedor, o qual foi levado pronto para a escola. Como resultado, os autores destacam que os alunos conseguiram ver o caráter contextualizado da física, além de terem conseguido estabelecer importantes relações conceituais nos mapas.

(iii) *Uso do referencial teórico de Vergnaud*

Um trabalho que se preocupou em identificar possíveis invariantes operatórios referentes aos conceitos da física térmica foi desenvolvido por Oliveira et al. (2012). Eles analisam algumas situações nas quais uma aluna do ensino médio confronta suas concepções

e representações com aquelas formulações teóricas da área. A partir das falas da aluna, foi possível perceber que ela difere calor de temperatura; reconhece calor como um processo de transferência de energia, mas tem a ideia de que se há calor, há variação de temperatura.

Dos trabalhos analisados dos eventos científicos, boa parte deles relata experiências de estudo dos conceitos da física térmica a partir de fornos/aquecedores solares, que são recursos didáticos potenciais para o ensino desse campo conceitual; além da motivação para as discussões dos conceitos, promovem o debate crítico acerca da racionalização de energia e de condições de conforto térmico; as concepções prévias dos alunos, como apontado no trabalho fundamentado em Vergnaud, representam obstáculos cognitivos para o avanço no campo conceitual da física térmica, em função da confusão conceitual existente, por exemplo, entre as definições de calor e temperatura.

2.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE A REVISÃO DA LITERATURA

Nem todos os textos selecionados foram descritos aqui, haja vista o demasiado número de trabalhos encontrados. Focamos naqueles desenvolvidos com alunos do ensino médio com vistas ao favorecimento de uma aprendizagem significativa, que utilizam o forno/aquecedor solar como recurso didático, que trazem embasamento na teoria dos campos conceituais, que incluíam a interdisciplinaridade e que, na medida do possível, eram desenvolvidos em cursos técnicos. Levando isso em consideração, alguns apontamentos são:

- Os aspectos históricos da calorimetria buscam suscitar discussões sobre o desenvolvimento científico e tecnológico, com um viés crítico sobre suas implicações na sociedade. Além disso, auxiliam no entendimento da construção dos conceitos e podem justificar a existência de algumas concepções prévias;
- O mapa conceitual constitui-se numa ferramenta potencial de identificação do conhecimento construído pelos alunos, uma vez que permite verificar como integram conceitos e proposições em suas estruturas cognitivas. Baseados nisso, Silva (2007), Pradella (2014) e Torcate et al. (2015) relatam experiências didáticas que contribuem para a aprendizagem significativa, verificada a partir do mapeamento conceitual;
- A construção do forno/aquecedor solar é um recurso didático promissor para a discussão da física térmica. Nossa busca bibliográfica encontrou vários trabalhos sobre fornos solares no ensino da física, como, por exemplo, os de Damasio e Steffani (2007), Dworowski et al. (2010), Dorado e Rivera (2010), Torcate et al. (2015), Sarmento (2015), Fernandes (2016) e Lauria e Castro (2017), o que ratifica a importância de sua utilização;

- Um campo conceitual é complexo de ser aprendido e, sendo assim, é necessária a apresentação de diversos tipos de situações, de modo que o repertório de esquema dos alunos se amplia conforme se aumenta a classe de situações. Trabalhos como os de Grings et al. (2006, 2008), Carvalho Jr. e Aguiar Jr. (2008), e Oliveira et al. (2012) apontam que os conceitos intuitivos sobre calor e temperatura podem servir de obstáculos cognitivos para a construção de novos conceitos. Para superar isso, os autores destacam o papel mediador do professor, bem como a necessidade de diferentes formas de abordagem dos conceitos;

- Trabalhos como os de Rafael (2007), Oliveira (2013), Moro et al. (2016) e Lorenzoni e Recena (2017) destacam a importância da experimentação no ensino da física térmica como forma de modificar as concepções prévias dos alunos;

- Algumas das concepções prévias que os alunos possuem sobre os conceitos de calor e temperatura incluem, como apontam Grings et al. (2006) que a temperatura é a variação de um estado quente para um estado frio; que o corpo de menor temperatura recebe energia na forma de calor até que os corpos atinjam o equilíbrio térmico e; que ocorre transferência de calor somente quando os corpos estão encostados. Já Gómez e Hernández (2010) salientam, dentre as concepções, que o frio é algo que se pode transferir de um corpo a outro; que tanto o calor quanto o frio são substâncias; que calor e temperatura são sinônimos e; que a temperatura é a medida do calor;

- Tomando a teoria dos campos conceituais, é sabido que os alunos dificilmente substituirão as concepções prévias, mas entendemos que nosso papel enquanto docentes é incentivá-los a expressarem-se de forma correta, compreendendo que a linguagem cotidiana não dá conta de expressar outras realidades (LOPES, 1999);

- Tal como apontado por Gomes (2012) e Silva et al. (2008), a confusão conceitual entre calor e temperatura, muitas vezes ocorre também nos livros didáticos, o que favorece que os alunos continuem com suas concepções prévias. Sobre isso, é importante, trazermos recortes de como alguns livros abordam o conceito de calor. A Tabela 5 mostra excertos retirados de cinco livros, sendo os três primeiros da física e os dois últimos, da área específica de conforto.

Tabela 5 – excertos apresentados nos livros acerca do conceito de calor.

Autor	Conceito de Calor
GASPAR, 2011	“[...] energia interna do bloco A foi transferida para o bloco B . A essa energia que se transfere de um corpo a outro, devida apenas à diferença

	<p>de temperatura entre eles, chamamos de calor ou energia térmica” (p. 272);</p> <p>“Quando dois ou mais corpos cedem ou absorvem quantidades iguais de calor [...]” (p. 272);</p> <p>“[...] troca de calor, é preciso que ele seja transferido de uma região a outra através do próprio corpo, ou de um corpo para outro” (p. 283);</p> <p>“Energia interna transferida de um objeto para outro devido à diferença entre suas temperaturas” (p. 181);</p>
HEWITT, P. G., 2009	<p>“Uma substância de fato não possui calor; ela contém energia interna. Calor é energia interna em trânsito” (p. 181);</p> <p>“A água absorve mais calor que o ferro a fim de elevar sua temperatura no mesmo valor” (p. 185);</p>
PIETROCOLA et al., 2016	<p>“É uma forma de energia relacionada à agitação de moléculas ou átomos que constituem a matéria” (p. 122);</p> <p>“O corpo está recebendo (ou cedendo) calor” (p. 125);</p> <p>“Para ocorrer a troca de calor (energia) entre dois corpos, é necessário que exista diferença de temperatura entre eles” (p. 143);</p>
DUART et al. 2016	<p>“O fluxo de calor ocorre da superfície mais quente para a mais fria” (p. 173);</p> <p>“[...] auxilia a reduzir o calor no interior da edificação durante o verão e a conservar o calor no inverno” (p. 175);</p> <p>“[...]picos de calor ou frio dentro da edificação” (p. 178);</p>
LAMBERTS et al., 2014	<p>“Reduzir consideravelmente as trocas de calor em um fechamento opaco” (p. 213);</p> <p>“Evitar as perdas de calor excessivas no inverno e também os ganhos elevados no verão” (p. 216);</p> <p>“[...] oferece baixo custo de geração de calor” (p. 232);</p>

Fonte: livros analisados.

Por mais que não tenhamos feito uma análise em profundidade dos materiais listados na Tabela 5, alguns pontos são importantes:

- Os alunos podem ser induzidos, por esses materiais, que calor é substância, tal como ilustram os excertos dos cinco livros analisados;

- Numa tentativa de definição de calor, Gaspar (2011) e Hewitt (2009) deixam claro que esse conceito corresponde a uma energia interna transferida entre corpos; por outro lado, a afirmação que calor “é uma forma de energia relacionada à agitação de moléculas ou átomos que constituem a matéria” (PIETROCOLA et al., 2016, p. 122), pode induzir os alunos a uma concepção que calor e temperatura representam a mesma grandeza. Esse entendimento ocorre na medida em que a temperatura é associada ao grau de agitação das moléculas dos corpos;
- Sobre a transferência de energia na forma de calor, os três livros de física salientam que ela ocorre quando existe uma diferença de temperatura entre corpos, da mesma forma que explicitado em um dos livros da área técnica, que “o fluxo de calor ocorre da superfície mais quente para a mais fria” (Duart et al., 2016, p. 173), indicando, o sentido do fluxo de energia;
- Podendo indicar calor e frio como estados diferentes da matéria, um dos livros da área técnica afirma que é importante a “[...] diminuição dos picos de calor ou frio dentro da edificação” (DUART et al., 2016, p. 178), entendimento este frequentemente expressado quando nos referimos que estamos com calor ou estamos com frio.

Da forma como mostrada nos materiais analisados neste capítulo, os conceitos da física térmica são fontes para diversos trabalhos, o que, ao mesmo tempo em que remete à importância da discussão dos mesmos, levanta reflexão sobre a divulgação dos resultados desses estudos. Isso significa que é salutar todo esforço na direção de possibilitar que nossos resultados cheguem às escolas, com vistas à contribuição de melhorias para outras realidades.

Nesse sentido, as diferenças do nosso trabalho em relação àqueles encontrados na literatura incluem: (i) seu desenvolvimento no curso técnico de edificações, durante as aulas de física e conforto, num viés interdisciplinar; (ii) o forno solar consistiu na ponte entre as disciplinas, sendo o foco do desenvolvimento dos conceitos da física térmica e das propriedades térmicas dos materiais, tendo os alunos a liberdade de escolherem o modelo a ser construído, bem como os materiais utilizados; (iii) os planejamentos das aulas foram desenvolvidos em parceria entre os professores das duas disciplinas, o que resultou em instrumentos avaliativos comuns e; (iv) a efetivação da integração curricular foi fomentada a partir da promoção da criticidade dos educandos frente à sua formação, pela contínua relação entre as áreas básica e técnica.

Essas ponderações serão retomadas e construídas nas próximas páginas da tese, sendo que no capítulo seguinte apresentamos alguns fragmentos do referencial teórico que embasou nossa pesquisa e que deu subsídios para essa revisão. Destacamos que são apenas fragmentos pela profundidade e quantidade de materiais existentes que, embora enriqueçam a investigação, são inexecutáveis na riqueza de detalhes que gostaríamos.

3 PRESSUPOSTOS TEÓRICOS

Neste capítulo será discorrido sobre aspectos relativos aos referenciais teóricos utilizados para embasar nossa pesquisa. Serão apresentadas as principais concepções referentes às teorias da aprendizagem significativa, da aprendizagem significativa crítica, dos campos conceituais, do currículo integrado e da interdisciplinaridade, buscando apontar suas complementariedades. Passemos, agora, a situar cada uma delas.

3.1 TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Para Ausubel (2003), a essência do processo da aprendizagem significativa reside no fato de que as novas ideias a serem aprendidas se relacionam, de forma não arbitrária e não literal com o que o aprendiz já sabe (subsunçores). Nessa interação, os significados das primeiras se tornam mais estáveis e dissociáveis (ibid., p.8). Isso quer dizer que essas ideias, mais ricas e diferenciadas, podem agora, figurar-se como ancoradouros para novas aprendizagens. Contudo, a aprendizagem significativa não é fundamentalmente correta do ponto de vista cientificamente aceito; quando existe uma conexão de forma não arbitrária e não literal entre a nova informação e os subsunçores relevantes, diz-se que ocorreu aprendizagem significativa, mas esta pode ser errada (PALMERO, 2006).

A aprendizagem significativa exige que os sujeitos manifestem uma disposição para relacionarem o novo material a ser apreendido, de forma não arbitrária e não literal, à própria estrutura de conhecimentos e que esse material seja potencialmente significativo (Ausubel, 2003). Para um material ser dito potencialmente significativo é necessário que se relacione de forma plausível, sensível, não aleatória e não literal com qualquer estrutura cognitiva apropriada e relevante (ibid., p.1).

Ausubel diferencia três tipos de aprendizagem significativa (conceitual, representacional e proposicional), sendo o mais basilar o representacional, ou seja, a aprendizagem dos significados de símbolos individuais ou o que estes representam. Porém, a aprendizagem conceitual está relacionada à representacional, uma vez que os conceitos também simbolizam palavras ou nomes (ibid., p. 85).

A aprendizagem proposicional, por sua vez, refere-se aos significados de ideias expressas por palavras combinadas em proposições ou frases, de modo que a aprendizagem do significado de uma nova proposição é mais complexa do que a simples aprendizagem dos significados dos conceitos componentes da mesma. Disso decorre a necessidade, na estrutura

cognitiva, de conceitos e proposições ancorados que estejam relacionados tanto com as partes componentes da nova proposição, quanto com o significado compósito desta (ibid., p. 106).

Dependendo da articulação das novas ideias com a bagagem conceitual do aluno, a aprendizagem significativa pode ocorrer nas formas subordinada, subordinante ou combinatória. Como a estrutura cognitiva se organiza hierarquicamente em relação à abstração, generalidade e inclusividade de ideias, a emergência de novos significados reflete uma relação subordinada do novo material às ideias já existentes, o que resulta em uma reorganização hierárquica da estrutura cognitiva (ibid., 93). Como exemplo desta forma de aprendizagem, podemos citar o caso em que o aluno já internalizou o conceito de átomo e compreende a diferença entre materiais condutores e isolantes.

A aprendizagem suscita uma relação subordinante com a estrutura cognitiva quando um sujeito apreende uma nova proposição, à qual se podem subordinar várias ideias preexistentes, estabelecidas, mas menos inclusivas (ibid., p. 95). Por exemplo, o aluno entende velocidade como a razão entre a distância e o tempo e, a partir desses conceitos é capaz de relacioná-los e compreender o conceito de aceleração.

Na aprendizagem combinatória, por sua vez, há combinações de ideias anteriormente apreendidas e disponíveis na estrutura cognitiva, que não apresentam uma relação particular entre si, mas sim, certa congruência (ibid., p. 95). Para ilustrar esta forma de aprendizagem significativa, tem-se o caso em que o aluno aprendeu os principais conceitos da eletricidade e do magnetismo de forma separada e precisa combiná-los para entender o eletromagnetismo.

O processo de atribuição de novos significados a um determinado subsunçor é conhecido como princípio da diferenciação progressiva. Esse princípio reconhece que as ideias, conceitos ou proposições mais gerais e inclusivos de determinado conteúdo devem ser apresentados primeiro e, progressivamente diferenciados em termos de detalhes e especificidade, de modo a resultar no aperfeiçoamento dos significados e numa potencialidade melhorada para se fornecer ancoragem às novas aprendizagens (MOREIRA, 1999).

Conforme o sujeito modifica seus subsunçores, ocorre simultaneamente o princípio da reconciliação integrativa, o qual consiste em explorar relações entre ideias, eliminar diferenças aparentes, resolver inconsistências e integrar significados (MOREIRA, 2012). Para promover esse princípio, segundo Ausubel (2003), o professor e o material por ele criado devem antecipar e contra-atacar, explicitamente, as semelhanças e diferenças confusas entre novas ideias e ideias relevantes existentes e já estabelecidas na estrutura cognitiva dos alunos.

Porém, para o favorecimento da aprendizagem significativa de novos conhecimentos, a variável isolada mais importante que o professor deve levar em consideração é aquilo que o

aluno já sabe. Considerando isso, a investigação de evidências de aprendizagem significativa inclui, dentre outros, testes de compreensão elaborados em diferentes linguagens e num contexto diferente do material aprendido, uma vez que dificultam a memorização (de forma exclusiva) não só de proposições e das fórmulas principais, mas de exemplos e problemas similares (AUSUBEL, 2003).

E a aprendizagem significativa é desejável ante a por memorização pela capacidade de relação não arbitrária e não literal dos materiais de instrução com as ideias ancoradas relevantes na estrutura cognitiva do aprendiz (ibid., p. 15). Nas palavras de Moreira (2005), para aprender de forma significativa, o aprendiz deve fazer uso dos significados que têm internalizado, para poder compreender os novos, o que promove tanto uma diferenciação de sua estrutura cognitiva, quanto a reconciliação integrativa, permitindo identificar semelhanças e diferenças e reorganizar seu conhecimento.

3.2 TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA CRÍTICA

Baseando-se nas ideias desenvolvidas fundamentalmente por Postman e Weingartner (1969), Moreira (2005, 2006, 2009, 2010) avança em relação às ideias de Ausubel ao defender que não basta adquirir novos conhecimentos de forma significativa, mas que é preciso aprendê-los criticamente. Dessa forma, assume os mesmos pressupostos defendidos por Ausubel, mas lança mão de uma série de princípios que promovem uma aprendizagem significativa crítica. Alguns desses princípios, ideias ou estratégias facilitadoras incluem:

- *Princípio da interação social e do questionamento*: por meio da interação é que aluno e professor passam a compartilhar significados para os conceitos. As perguntas dos alunos podem evidenciar a aprendizagem significativa crítica ao serem elaboradas de maneira não arbitrária e não literal a partir dos seus conhecimentos prévios;
- *Princípio da não adoção do livro de texto*: a utilização de materiais diversificados para o ensino promove a formulação de novos questionamentos, uma vez que o livro didático como material exclusivo estimula a aprendizagem mecânica;
- *Princípio do aprendiz como perceptor/representador*: o aluno representa aquilo que percebe do mundo, baseado no que sua experiência sugere funcionar;
- *Princípio do conhecimento como linguagem*: a base do conhecimento é a linguagem em suas diferentes formas. Isso significa que, para aprender de forma crítica, o aluno deve ver a nova linguagem como uma nova maneira de perceber o mundo;

- *Princípio da consciência semântica*: o significado está nas pessoas e não nas palavras, uma vez que as pessoas atribuem significado às palavras. Nos episódios de ensino-aprendizagem, deve-se ter clareza de que os significados compartilhados por alunos e professores são idiossincráticos;
- *Princípio da aprendizagem pelo erro*: a busca sistemática pelo erro proporciona aprender a aprender, haja vista que a aprendizagem pelo erro é natural;
- *Princípio da desaprendizagem*: algumas vezes o aluno deve desaprender (não usar) determinado subsunçor que possa estar servindo de obstáculo cognitivo para, aí sim, aprender de forma significativa o novo conhecimento;
- *Princípio da incerteza do conhecimento*: o conhecimento não é um dogma, mas sim um modelo que em um determinado momento dá conta de explicar determinado fenômeno;
- *Princípio da diversidade de estratégias*: para que a aprendizagem significativa seja crítica, o professor deve abandonar o uso exclusivo do quadro negro como forma atribuída ao comportamentalismo. Deve sim utilizar diferentes estratégias de ensino que promovam a participação crítica e responsável dos alunos;

Esses princípios também devem possibilitar o fim da narrativa enquanto estratégia de ensino. Para que os alunos sejam promotores de sua aprendizagem, o professor deve permitir que os mesmos trabalhem em grupos, discutam conceitos, questionem e façam contrapontos.

Embora o foco de sua teoria tenha sido a aprendizagem, Moreira ressalta que sem um currículo e um meio social que favoreçam a implantação desses princípios e sem uma avaliação coerente com eles, a aprendizagem escolar tenderá a ser mecânica; talvez significativa, em alguns casos, mas nunca crítica. Seu referencial teórico, complementando o de Ausubel, ao mesmo tempo em que converge com Vergnaud, nos dá subsídios para embasar o currículo de ensino médio integrado.

3.3 TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS

Em sua teoria, Vergnaud (1982, 1986, 2007, 2011, 2013) parte da ideia central de que a conceitualização é o cerne da cognição. Sua investigação no campo da didática avança em relação aos trabalhos de Piaget em duas direções: toma como referência o próprio conteúdo do conhecimento e desloca o interesse das pesquisas para o estudo do funcionamento cognitivo do “sujeito-em-situação”, considerando as variáveis da situação, as informações disponíveis no repertório de esquemas do sujeito, as operações de pensamento necessárias

para a resolução da situação, bem como a especificidade dessas variáveis e dessas operações (FRANCHI, 1999).

Vergnaud desenvolveu sua teoria também apoiado em Vigotski, considerando a importância atribuída “à interação social, à linguagem e à simbolização no progressivo domínio de um campo conceitual pelos alunos” (MOREIRA, 2002, p. 8). A tarefa do professor, nesse percurso, consiste em “ajudar o aluno a desenvolver seu repertório de esquemas e representações [...]. A linguagem e os símbolos são importantes nesse processo de acomodação e o professor faz amplo uso deles na sua função mediadora” (ibid., p. 17).

Um campo conceitual é definido como um conjunto de situações, que requer um conjunto de conceitos interligados, que formam um sistema, correspondendo a uma estrutura para estudar o processo de ensino-aprendizagem e para descrevê-lo em termos das especificidades dos diferentes conteúdos de conhecimento. Pode também ser entendido como um conjunto de conceitos que constituem um sistema, o qual se refere a uma diversidade organizada de situações, que decorrem da atividade do sujeito nelas.

Dentro de determinado campo conceitual, o saber forma-se a partir de problemas a resolver e situações a dominar, o que representa que “uma pessoa adquire um conceito quando é capaz de dotar de significado um material ou uma informação que lhe é apresentada, ou seja, quando “compreende” esse material; e compreender seria equivalente, mais ou menos, a traduzir algo para suas próprias palavras” (POZO; CRESPO, 2009, p. 82).

Escrito de outra forma, um campo conceitual é um conjunto de situações cujo domínio requer uma variedade de conceitos, de procedimentos e de representações simbólicas em estreita conexão, de modo que (i) uma dada situação não envolve todas as propriedades de um conceito, o que indica que para abordar todas essas propriedades são necessários vários tipos de situações; (ii) uma situação geralmente não envolve apenas um conceito, de modo que sua análise requer vários deles e; (iii) a formação de um conceito demora um período de tempo longo, com avanços e retrocessos, interações e desníveis.

Um conceito é constituído pelo triploto $C = (S, I, R)$, no qual **S** é conjunto das situações que tornam o conceito significativo, **I** é o conjunto dos invariantes operatórios que constituem o conceito e **R** é o conjunto das representações simbólicas usadas para representar o conceito, suas propriedades e as situações às quais ele se refere. As situações são quem dão sentido ao conceito; os invariantes operatórios constituem as diferentes propriedades do conceito; e as representações simbólicas são usadas para indicar os invariantes operatórios.

Se os conceitos tornam-se significativos pela utilização de diversos tipos de situações, estas são a principal entrada de um campo conceitual. No entanto, não se pode apresentar

sempre o mesmo tipo de situação e também não se devem oferecer situações muito complexas, uma vez que o conhecimento evolui na medida em que novas situações fazem com que os sujeitos se vejam desprovidos de indicativos de solução.

A influência de Vigotski no trabalho de Vergnaud fica evidente no “papel do professor como mediador, provedor de situações problemáticas frutíferas, estimuladoras da interação sujeito-situação que leva à ampliação e à diversificação de seus esquemas de ação” (MOREIRA, 2002, p. 22), o que quer dizer que a teoria dos campos conceituais

é cognitivista e interacionista, pois explica o processo mental da conceitualização do real (as interações das estruturas cognitivas prévias com a estrutura conceitual do conhecimento através de situações-problema), como resultado das interações na sala de aula, onde alunos e professores trazem suas compreensões de mundo. Os estudantes, com suas concepções prévias e resignificação de conceitos, e o professor, com sua interpretação dos conhecimentos científicos e dos conhecimentos prévios dos alunos, para que, através desta compreensão, possa elaborar situações-problema que se conectem a ambas (TAUCEDA; DEL PINO, 2014, p. 258).

Um esquema corresponde a uma organização invariante do comportamento para certa classe de situações e apresenta quatro componentes: (i) meta(s); (ii) regras para gerar ações, procura de informações e controle; (iii) invariantes operatórios (conceitos-em-ação e teoremas-em-ação) e; (iv) possibilidade de inferências. Os esquemas, os comportamentos e sua organização evocados no sujeito por uma situação ou por um significante constituem o sentido dessa situação ou desse significante.

Ainda que se tome como destaque o par teórico situação/esquema, não se deve depreciar o papel da linguagem e de outras formas simbólicas na conceitualização e na comunicação. Isso significa que o professor tem duas funções essenciais no processo de ensino-aprendizagem: a escolha das situações propostas e a representação de sua estrutura conceitual por meio de formas simbólicas acessíveis.

Os teoremas-em-ação e conceitos-em-ação são componentes essenciais de um esquema, mas, no processo de conceitualização do real, permanecem implícitos ou mesmo inconscientes na organização de atividades. Um teorema-em-ação corresponde a uma proposição que pode ser verdadeira ou falsa, enquanto um conceito-em-ação (objeto ou predicado) é ou não é relevante. O professor deve, então, procurar os invariantes operatórios utilizados pelos alunos, identificando se os mesmos são suficientes para responder às novas situações ou ainda se servem como obstáculo cognitivo.

3.4 CURRÍCULO INTEGRADO

Pensar uma prática educativa que contemple os vieses de um currículo integrado passa, antes disso, por um olhar sobre o entendimento desse termo, que carrega um sentimento de resgate social, cultural e intelectual das classes menos favorecidas, na medida em que “integrar formação geral e formação técnica no ensino médio, visando a uma formação integral do ser humano é [...] condição necessária para a travessia em direção ao ensino médio politécnico e à superação da dualidade educacional pela superação da dualidade de classes” (FRIGOTTO et al., 2012, p. 45).

De acordo com Lottermann e Silva (2016), a noção de currículo integrado decorre de questões de cunho político, epistemológico e social, implicadas na formação escolar. Político porque busca assegurar o direito ao conhecimento integral para todos os sujeitos, permitindo-lhes uma formação omnilateral, cuja expressão refere-se à formação do ser humano na sua integralidade física, mental, cultural, política e científico-tecnológica (CIAVATTA, 2005). Epistemológico porque procura favorecer o desenvolvimento do conhecimento numa perspectiva teórico/prática. E social na medida em que é indispensável compreender as relações entre educação, conhecimento e trabalho. Assim, conceber o ensino médio

como educação básica e articulado ao mundo do trabalho, da cultura e da ciência, constitui-se em direito social e subjetivo e, portanto, vinculado a todas as esferas e dimensões da vida. Trata-se de uma base para o entendimento crítico e como funciona e se constitui a sociedade humana em suas relações sociais e como funciona o mundo da natureza, da qual fazemos parte. Dominar no mais elevado nível de conhecimento estes dois âmbitos é condição prévia para construir sujeitos emancipados, criativos e leitores críticos da realidade onde vivem e com condições de agir sobre ela. Este domínio também é condição prévia para compreender e poder atuar com as novas bases técnico-científicas do processo produtivo” (FRIGOTTO, 2012, p. 76).

A construção de um currículo integrado “deve considerar o objetivo de articular dinamicamente trabalho/ensino, prática/teoria, ensino e comunidade” (LOTTERMANN et al., 2016, p. 96). Contudo, segundo os autores, as dificuldades em implementar um currículo de ensino integrado passam pela resistência dos professores em reorganizar a distribuição das disciplinas e de seus conteúdos, bem como pela forma de conceber a avaliação. Isso significa que, para se tornar profícua esta organização curricular é necessária mudança

que envolve formação dos educadores, suas condições de trabalho, seu efetivo engajamento e mudanças na concepção curricular e prática pedagógica. Se os educadores não constroem, eles mesmos, a concepção e a prática educativa e de

visão política das relações sociais [...] qualquer proposta perde sua viabilidade (FRIGOTTO, 2012, p. 77).

Buscando avanços na formação de nível médio profissional, por meio de um currículo integrado, os IFs devem ofertar, prioritariamente, 50% das vagas à educação profissional técnica de nível médio na forma de cursos integrados. No entanto, é preciso vigilância para evitar tornar o ensino médio profissionalizante, preparando os jovens apenas para o ingresso rápido no mercado de trabalho, ao invés do prosseguimento da formação em níveis superiores (CIAVATTA; RAMOS, 2011). Isso significa que num currículo de ensino médio integrado, é essencial que “a educação geral se torne parte inseparável da educação profissional em todos os campos onde se dá a preparação para o trabalho” (CIAVATTA, 2012, p. 84).

Nessa organização curricular, é importante destacar que a sobreposição de disciplinas de formação geral e de formação específica não é a mesma coisa que integração (RAMOS, 2012). Situando um movimento de representação de um currículo integrado, é pertinente

problematizar fenômenos – fatos e situações significativas e relevantes para compreendermos o mundo em que vivemos, bem como processos tecnológicos da área profissional para qual se pretende formar –, como objetos de conhecimento, buscando compreendê-los em múltiplas perspectivas: tecnológica, econômica, histórica, ambiental, social, cultural, etc.;

Explicitar teorias e conceitos fundamentais para a compreensão do(s) objeto(s) estudado(s) nas múltiplas perspectivas em que foi problematizada e localizá-los nos respectivos campos da ciência (áreas do conhecimento, disciplinas científicas e/ou profissionais), identificando suas relações com outros conceitos do mesmo campo (disciplinaridade) e de campos distintos do saber (interdisciplinaridade);

Situar os conceitos como conhecimentos de formação geral e específica, tendo como referência a base científica dos conceitos e sua apropriação tecnológica, social e cultural;

A partir dessa localização e das múltiplas relações, organizar os componentes curriculares e as práticas pedagógicas, visando a corresponder, nas escolhas, nas relações e nas realizações, ao pressuposto da totalidade do real como síntese de múltiplas determinações (RAMOS, 2012, p. 123-124).

Ainda que as concepções de currículo integrado apontem prismas mais amplos do que àqueles da interdisciplinaridade, consideramos que esta é uma via fecunda para relacionar conceitos das diferentes áreas, com possibilidades concretas de constituir, também, saberes de valores e atitudes, com vistas à formação dos sujeitos em suas múltiplas dimensões.

3.5 INTERDISCIPLINARIDADE

A escola, espaço no qual os sujeitos devem construir uma visão crítica sobre os conhecimentos, muitas vezes acaba por transmitir um acumulado de informações e

conhecimentos, fragmentados e descontextualizados, que pouco ou nada contribuem para a formação do sujeito autônomo e com criticidade sobre o mundo, bem como para sua vida profissional, objetivos estes que imbuem seus projetos pedagógicos (FAZENDA, 2013).

A questão da interdisciplinaridade em contraposição à disciplinaridade traz uma perspectiva que visa romper com o currículo estanque, fragmentado e rígido, o qual foi assim estruturado, historicamente, para delegar as atividades desenvolvidas pelo homem, imposto pelo modelo industrial. Corroboramos a ideia de disciplinaridade como “a exploração científica especializada de determinado domínio homogêneo de estudo, isto é, o conjunto sistemático e organizado de conhecimentos que apresentam características próprias nos planos de ensino, da formação, dos métodos e das matérias” (JAPIASSU, 1976, p. 72).

Por disciplina, consideramos “uma maneira de organizar e delimitar um território de trabalho, de concentrar a pesquisa e as experiências dentro de um determinado ângulo de visão” (SANTOMÉ, 1998, p. 55) e que “tende naturalmente à autonomia pela delimitação das fronteiras, da linguagem em que ela se constitui, das técnicas que é levada a elaborar e a utilizar e, eventualmente, pelas teorias que lhe são próprias” (MORIN, 2003, p. 105). Dessas definições, entendemos que, embora a física e o conforto sejam disciplinas afins, cada uma delas apresenta uma estrutura própria em termos teóricos, conceituais e metodológicos, o que viabiliza afirmar que estamos desenvolvendo um trabalho interdisciplinar, o qual é mais facilmente materializado entre áreas afins (MOZENA; OSTERMANN, 2016).

Considerando que a expressão interdisciplinaridade se tornou representativa para diversas abordagens, consideramos pertinente diferenciar seus significados:

Multidisciplinaridade: neste enfoque há somente uma justaposição dos recursos das várias disciplinas, sem implicar um trabalho de equipe e coordenado (JAPIASSU, 1976). Ela parece esgotar-se nas tentativas de trabalho conjunto por professores de diferentes disciplinas, em que cada uma trata de temas comuns sob sua própria ótica (PIRES, 1998). A implicação desta abordagem, na qual não existe a explicitação clara das possíveis relações entre as disciplinas, é que os alunos não conseguem transferir espontaneamente os conhecimentos de uma disciplina para outra (SANTOMÉ, 1998).

Pluridisciplinaridade: este tipo de trabalho, de acordo com Pombo (2013), implica o estabelecimento de algum tipo de coordenação, mas em uma perspectiva de mero paralelismo de pontos de vista, ou seja, existe uma associação mínima entre disciplinas, sem que estas modifiquem a forma e a organização de seu trabalho.

Interdisciplinaridade: se faz interdisciplinaridade quando se consegue fazer uma combinação, uma convergência ou uma complementaridade, objetivando a compreensão de

um objeto a partir de pontos de vista diferentes, implicando uma reorganização dos processos de ensino (POMBO, 2013), sendo que “o papel específico da atividade interdisciplinar consiste, primordialmente, em lançar uma ponte para religar as fronteiras que haviam sido estabelecidas anteriormente entre as disciplinas” (JAPIASSU, 1976, p. 75). Nesse sentido, “o professor interdisciplinar percorre as regiões fronteiriças flexíveis onde o "eu" convive com o "outro" sem abrir mão de suas características, possibilitando a interdependência, o compartilhamento, o encontro, o diálogo e as transformações” (TRINDADE, 2008, p. 82).

Transdisciplinaridade: nesta forma de integração aproxima-se de um ponto de fusão e de unificação das disciplinas (POMBO, 2008), correspondendo ao nível mais alto das relações da *multi*, *pluri* e *inter* disciplinaridade (FAZENDA, 2011).

Reafirmando, nosso trabalho envolve as disciplinas de física e conforto das edificações, ministradas a alunos do segundo ano do ensino médio do curso de edificações do IFFAR, *Campus* Santa Rosa. Embora sejam disciplinas afins, o que facilita a concretização do trabalho interdisciplinar, cada uma delas analisa os fenômenos de pontos de vista diferentes, mas que tentamos fazer convergirem ao longo das intervenções didáticas.

A partir das leituras realizadas, caracterizamos nosso trabalho como interdisciplinar, uma vez que (i) o planejamento das atividades implicou um diálogo permanente entre os professores; (ii) a “ponte” para unir as disciplinas foi o forno solar, sendo o mesmo orientado e avaliado por ambos os professores; (iii) as aulas promoveram a articulação entre ensino-pesquisa; (iv) os alunos conseguiram transferir e aplicar os conhecimentos de uma disciplina na outra; (v) foi possível a elaboração e aplicação de uma prova interdisciplinar; (vi) ocorreram mudanças na organização das aulas propostas pelos professores; (vii) além de ter sido possível, em diversos momentos, que os dois professores estivessem juntos na sala de aula, seja para discutir conceitos, para assessorar o trabalho de construção do forno ou para avaliar a apresentação do mesmo.

3.6 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS PRESSUPOSTOS TEÓRICOS

Com base nos fragmentos apresentados, alguns apontamentos que ajudam na percepção da complementaridade dos referenciais teóricos defendidos são:

- A aprendizagem significativa se caracteriza pela interação entre o novo conhecimento e o conhecimento prévio; já os esquemas, como definidos por Vergnaud, são modificados e/ou abandonados cada vez que o aluno é desestabilizado, ou seja, os esquemas dos alunos são fruto de suas experiências;

- Para Ausubel, o aprendiz deve ter o conhecimento prévio adequado e se dispor a aprender uma nova informação, o que corrobora com as ideias de Vergnaud, que defende que o domínio de situações prévias é importante para o domínio de situações novas;
- As concepções prévias dos alunos apresentam invariantes operatórios que podem não ser cientificamente corretos, mas podem vir a ser;
- Sendo a variável isolada mais importante para a aprendizagem significativa de novos conhecimentos aquilo que o aluno já sabe, os materiais instrucionais foram elaborados a partir do conhecimento prévio dos alunos, o que nos permite conhecer e identificar subsunçores para que os conceitos estudados sejam aprendidos de forma significativa;
- Assumindo que cada aluno aprende de forma diferente, utilizamos diversos materiais e estratégias didáticas, objetivando que a aprendizagem ocorresse de forma significativa;
- As aulas foram pautadas por estratégias que possibilitassem aos alunos a compreensão dos conceitos que estavam sendo discutidos em situações práticas/reais, promovendo a articulação teoria-prática;
- Nossas aulas pretenderam a construção do conhecimento de conceitos, de atitudes e procedimentos por meio do debate sobre aspectos voltados à cultura e significados para/na visão do mundo do trabalho, como uma integração dos princípios de uma formação integral;
- O processo de avaliação adotado foi coerente com a forma de trabalho desenvolvida, representando uma importante etapa de verificação de aprendizagem significativa, em um viés de avaliação contínua e cumulativa.

Embasados nesses fragmentos teóricos, apresentamos no capítulo seguinte o percurso metodológico da pesquisa, descrevendo os instrumentos utilizados para a coleta dos dados.

4 PERCURSO METODOLÓGICO

Neste capítulo apresentamos o percurso metodológico que delineou a busca pelas respostas ao nosso problema de pesquisa, a qual se classifica como estudo de caso, que consiste “no estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos, de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento [...] e seus propósitos são os de proporcionar uma visão global do problema ou de identificar possíveis fatores que o influenciam ou são por ele influenciados” (GIL, 2002, p. 54-55).

Num estudo de caso existe uma particularidade importante de ser investigada e essa investigação requer a utilização de diversos procedimentos metodológicos. Além disso, como exige um contato mais próximo do pesquisador com os eventos e situações a serem investigadas, “possibilita descrever ações e comportamentos, captar significados, analisar interações, compreender e interpretar linguagens, estudar representações, sem desvinculá-los do contexto e das circunstâncias especiais em que se manifestam” (ANDRÉ, 2013, p. 97).

A nossa análise, embora apresente alguns vieses quantitativos, será essencialmente qualitativa e, de acordo com Bogdan e Biklen (1994), este tipo de investigação possui cinco características: (i) *a fonte direta de dados é o ambiente natural*, pelo fato de as ações serem mais bem compreendidas nesse tipo de ambiente; (ii) *é fundamentalmente descritiva*, sendo os dados analisados com suas riquezas de detalhes; (iii) *os investigadores interessam-se mais pelo processo do que simplesmente pelos resultados*, tentando (iv) *analisar os seus dados de forma indutiva*, de modo que as questões importantes são levantadas no decurso investigativo e; (v) *o significado é de importância vital*, sendo que os investigadores interessam-se pelos modos pelos quais as pessoas dão sentido às situações de suas vidas.

Em função de a nossa análise ser descritiva, quando oportuno, apresentamos recortes⁵ de falas e/ou materiais produzidos pelos alunos, os quais aparecerão, quando estiverem no meio do texto, em itálico e entre aspas. Ao apresentarmos os excertos produzidos pelos alunos, estes serão denominados pelos signos **A1**, **A2**...**A30**, nos referindo ao termo genérico aluno e não adotando uma ordem alfabética para essa classificação, mas sim uma distribuição aleatória que visa preservar suas identidades.

Assumimos que a redação das análises leva em consideração que cada leitor (neste caso, o pesquisador), a partir de suas bases teóricas, dá um significado próprio aos textos, em suas diferentes formas. Isso significa que “diferentes teorias possibilitam os diferentes

⁵ Esses recortes aparecerão na forma como foram dados pelos alunos, sem que façamos correções gramaticais.

sentidos de um texto. Como as próprias teorias podem sempre modificar-se, um mesmo texto sempre pode dar origem a novos sentidos” (MORAES, 2003, p. 193).

A pesquisa foi aplicada em dois momentos (2016 e 2017), com alunos do segundo ano do curso de edificações do IFFAR, *Campus Santa Rosa*. Embora o pesquisador estivesse com afastamento integral para qualificação, a instituição permitiu que o mesmo desenvolvesse a pesquisa *in loco*. Com isso, contamos, nos dois momentos, com a ajuda da professora regente (que estava ministrando a disciplina de física), a qual assistiu a diversas aulas, sempre levantando questões sobre a forma com que percebia o trabalho. No ano de 2017, também tivemos a participação da professora que assumiu a disciplina de conforto após o término da nossa investigação (chamaremos de professora colaboradora⁶). Ela teve relevante contribuição nos assessoramentos e nas apresentações dos fornos solares.

A primeira intervenção, no primeiro semestre de 2016, ocorreu em uma turma de vinte e seis alunos. Os resultados obtidos desta aplicação nos deram subsídios para aperfeiçoar nossos instrumentos e nossa metodologia de análise. Desse modo, apresentamos nesta tese o desenvolvimento da segunda aplicação e, quando pertinente, faremos referência ao primeiro estudo, designado estudo piloto.

A segunda intervenção se deu no primeiro semestre de 2017, com uma turma de trinta e quatro⁷ alunos, sendo catorze meninas e vinte meninos, com idades entre 15 e 18 anos. Dos alunos, quatro eram repetentes, sendo que dois deles estavam repetindo o segundo ano, enquanto os outros dois haviam reprovado no primeiro ano. Ainda, três alunos receberam um atendimento diferenciado nas aulas, em função de possuírem algum tipo de laudo médico. Faremos, abaixo, uma breve descrição⁸ desses alunos como forma de situar suas dificuldades, limitações e potencialidades:

Aluno **A20**: apresenta transtorno de déficit de atenção e hiperatividade e faz uso de medicações anti-convulsivas, pois na primeira infância teve meningite e, em decorrência disso, apresenta comprometimento neurológico. Durante as aulas, careceu de um atendimento mais individualizado, especialmente na resolução de exercícios. Nos atendimentos em sua classe, algumas vezes era necessário que construíssemos todo o raciocínio em função de não conseguir estabelecer vínculos entre as etapas. Suas avaliações, embora fossem iguais aos dos

⁶ Esta professora assumiria a disciplina de conforto logo no início do ano. Porém, como recém tinha chegado à instituição, foi definido que ela acompanharia as aulas de conforto enquanto desenvolvíamos a investigação.

⁷ Nas análises dos instrumentos individuais, usaremos apenas os dados produzidos por trinta alunos, pelo fato de quatro deles não terem entregado o termo de consentimento livre e esclarecido devidamente assinado. Naqueles instrumentos realizados em grupos, supriremos os nomes desses alunos dos quais não temos o termo.

⁸ Características dos alunos coletadas e construídas com o auxílio da psicóloga da instituição, Mariane Copetti, uma das servidoras que faz o acompanhamento dos mesmos.

demais colegas, foram corrigidas levando em consideração sua dificuldade de raciocínio e argumentação, uma vez que não conseguimos, em diversos momentos, identificar uma evolução e uma convergência de seus pensamentos.

Aluno **A21**: apresenta dificuldades na interação social, problemas de comportamento e interesse restrito, características da Síndrome de Asperger. O aluno tinha um monitor que o acompanhava durante todas as aulas. Apresenta um desempenho intelectual em nível médio superior, mas desmotivação e um funcionamento independente dos outros. Exibe também boa memória visual e pensamento mais concreto e sua motivação para estudar é exclusivamente o resultado (recompensa). Apesar de apresentar dificuldades de adaptação escolar, participava das aulas, sobretudo na resolução de exercícios. Em função disso, em quase todas as aulas era destinada uma lista com questões para que o aluno resolvesse. Nas discussões das questões com a turma, o aluno apresentava o perfil de sempre estar correto, não aceitando críticas ao seu raciocínio. Nas provas, as questões discursivas eram respondidas de forma direta e sucinta e as que envolviam operações matemáticas, apresentavam somente a resposta final.

Aluno **A25**: apresenta epilepsia mioclônica da infância e como consequência há comprometimento do desenvolvimento neuropsicomotor e sua capacidade de atenção e sua memória está prejudicada. O seu material de estudo foi impresso com ampliação da fonte e suas provas foram mais curtas, com menor número de questões e enunciados reduzidos. Durante as aulas, era frequente ajuda para interpretar as questões, mas o aluno demonstrava bastante interesse e participação nas discussões. Nos instrumentos que serão apresentados à frente, faremos referência naqueles que o aluno teve questões diferenciadas ou suprimidas.

Considerando que sempre estivemos atentos a esses alunos, buscando que significassem os conceitos trabalhados, bem como desenvolvessem habilidades e estratégias práticas e de resoluções de problemas, da mesma forma de que estivemos com os demais, não faremos uma análise isolada deles, mas sim, como indivíduos integrantes de um grupo heterogêneo, cada um com suas particularidades. Em alguns instrumentos, quando necessário, faremos referência a esses alunos no sentido de situar suas respostas, levando em consideração suas subjetividades.

Para investigarmos a aprendizagem dos alunos no campo conceitual da física térmica, os principais conceitos trabalhados pela física foram: energia interna, temperatura, equilíbrio térmico, calor, capacidade térmica e calor específico. Já a disciplina de conforto abarcou, dentre outros, os conteúdos de mecanismos termorreguladores, trocas de energia na forma de calor e proteção solar de paredes opacas, transparentes e translúcidas. Não necessariamente o estudo desses tópicos aconteceu na sequência descrita, considerando que a convergência

interdisciplinar almejada exigiu que os professores desenvolvessem seus programas em sintonia, requerendo modificações na forma e/ou sequência de trabalho.

Além disso, alguns conceitos foram mais cuidadosamente trabalhados por uma ou outra disciplina. Por exemplo, os processos de propagação de energia na forma de calor foram estudados com maior ênfase na disciplina de conforto, enquanto a física abordou com maior destaque os calores sensível e latente. Essa divisão dos conceitos foi possível devido a confiança de um professor no trabalho do outro, sendo este um processo que se constrói com o tempo e que defendemos ser necessário para o fortalecimento da prática interdisciplinar.

A Tabela 6 apresenta, de forma sucinta, as atividades desenvolvidas em cada um dos 27 encontros que tivemos com os alunos, sendo que aqueles marcados com (*) correspondem aos momentos em que os professores de física e de conforto estiveram juntos na sala, condição esta apontada pelos alunos do estudo piloto para o aperfeiçoamento do trabalho.

Embora constem na Tabela 6 a descrição daqueles encontros nos quais estudamos o conteúdo de dilatação térmica, o mesmo não foi considerado nas nossas análises em função de não ser convergente com nossa proposta interdisciplinar. Os dados coletados sobre este conteúdo serão utilizados para escrita de artigo científico.

Tabela 6 – Atividades desenvolvidas na segunda aplicação da pesquisa.

Encontro	Data	Períodos	Atividades Desenvolvidas
1	16.02.17	2	Apresentação da proposta de trabalho. Identificação das concepções prévias dos alunos sobre os conceitos de temperatura, calor e energia interna.
2	23.02.17	2	Breve retomada sobre as concepções prévias identificadas na aula anterior. Apresentação e discussão das questões sobre os conceitos de temperatura e calor.
3	02.03.17	2	Retomada das respostas dadas às questões da aula anterior e estudo de material sobre os conceitos.
4	09.03.17	2	Apresentação e discussão das questões sobre o conceito de dilatação térmica.
5	16.03.17	2	Retomada das respostas dadas às questões da aula anterior e estudo de material sobre o conceito.
6	23.03.17	2	Lista de exercícios sobre os conceitos estudados nas

			aulas anteriores.
7	28.03.17	2	Recuperação paralela ⁹ .
8	30.03.17	2	Prova sobre temperatura, calor, energia interna e dilatação térmica.
9*	06.04.17	1	Encaminhamento do trabalho sobre a construção do forno solar, durante a aula de conforto.
10	06.04.17	2	Resolução das questões da prova aplicada na aula anterior. Diálogo sobre a proposição do trabalho referente à construção do forno solar.
11	13.04.17	2	Discussão da situação 1 do roteiro de construção do forno solar e o estudo sobre calor sensível.
12	17.04.17	2	Discussão da situação 6 do roteiro de construção do forno solar e realização de atividade experimental sobre mudança de fase.
13*	20.04.17	1	Discussão da situação 3 do roteiro sobre a construção do forno solar e o estudo sobre as propriedades térmicas dos materiais: emissividade, absorvidade e refletividade.
14	24.04.17	2	Estudo sobre calor latente.
15	08.05.17	2	Mapa conceitual inicial, construído em aula, sobre o forno solar.
16*	11.05.17	2 ¹⁰	Assessoramento para a construção do forno solar, durante a aula de conforto.
17	15.05.17	2	Gincana em comemoração aos sete anos do <i>Campus</i> .
18	22.05.17	2	Lista de exercícios sobre calor latente e calor sensível.
19*	26.05.17	4	Recuperação paralela com assessoramento para a construção do forno.
20	29.05.17	2	Breve discussão da situação 2 do roteiro de construção do forno e estudo sobre o fluxo de calor.
21*	05.06.17	2	Apresentações dos resultados do forno, na aula de física.
22*	08.06.17	1	Continuação das apresentações dos resultados do forno,

⁹ As aulas de recuperação paralela têm carga horária extra à carga horária da disciplina, devem ser desenvolvidas durante o período letivo, fora do horário regular das aulas, objetivando que o aluno tenha êxito na sua aprendizagem, evitando a não compreensão dos conteúdos, a reprovação e/ou evasão (SANTA ROSA, 2014).

¹⁰ Para a disciplina de conforto ter dois períodos, foi realizada uma troca de aula com outro professor.

na aula de conforto.			
23	12.06.17	2	Lista de exercícios sobre fluxo de calor. Entrega do mapa conceitual final sobre o forno solar.
24	19.06.17	2	Discussão da prova interdisciplinar aplicada no estudo piloto como forma de revisão dos conceitos.
25*	22.06.17	2 ⁸	Prova interdisciplinar, aplicada na aula de conforto.
26*	29.06.17	1	Resolução das questões da prova interdisciplinar, durante a aula de conforto.
27	29.06.17	2	Divulgação dos resultados finais. Questionário de opinião. Encerramento.

Fonte: Autor (2018).

Ao longo dos 27 encontros fomos construindo um diário de bordo, no qual relatamos os acontecimentos e discussões relevantes nos episódios de ensino-aprendizagem, a partir de nossas observações, vivências e intervenções. Esse instrumento permite ao autor refletir sobre os processos mais significativos na dinâmica do trabalho, sendo um guia para a reflexão da prática, favorecendo a tomada de consciência sobre seu trabalho (PORLÁN; MARTÍN, 1999). Assim, é um importante instrumento que será utilizado, sempre que conveniente, na análise dos dados, por apresentar pontos significativos da nossa prática.

As atividades descritas na Tabela 6 serão apresentadas abaixo mais detalhadamente, de modo que as questões que aparecem em caixas/bordas serão analisadas no capítulo seguinte. Ressalta-se que até o oitavo encontro, as atitudes interdisciplinares foram feitas individualmente pelos professores, em suas aulas. A partir do nono encontro, o trabalho interdisciplinar teve como elemento motivador a construção do forno solar, que norteou o estudo dos conceitos relacionados à física térmica e às propriedades térmicas dos materiais.

A seguir apresentamos cada um dos instrumentos utilizados na nossa investigação.

Instrumento 1 (II) – Questionário para identificação das concepções prévias dos alunos sobre os conceitos de temperatura, calor e energia interna

No encontro 01 (aula do dia 16.02.17), os alunos responderam a doze perguntas de múltipla escolha, para que pudéssemos identificar seus conhecimentos prévios sobre os referidos conceitos, bem como para ativar sua estrutura cognitiva para novas aprendizagens. Essas perguntas foram adaptadas de Gómez e Hernández (2010), Grings et al. (2006) e

Silveira e Moreira (1996). Nossa intenção com esse questionário não foi fazer um comparativo tipo pré e pós teste, mas registrar as concepções iniciais dos alunos para embasar nosso planejamento. As perguntas foram as seguintes:

1. Uma pessoa crê que deve usar água fervendo para preparar uma xícara de chá e te diz: “não posso fazer chá se me encontrar acampado no cume de uma montanha muito alta porque a água não ferve a grandes altitudes”. Qual seria sua resposta a essa pessoa:

- A. “claro que ferve, porém a uma temperatura menor que a daqui da cidade”.
- B. “isso não é certo, pois a água sempre ferve à mesma temperatura”.
- C. “estou de acordo, pois no cume da montanha a água não chega a seu ponto de ebulição”.

2. Suponha que depois de cozinhar alguns ovos em água fervente, você resolve os esfriar colocando-os em uma bacia com água fria. Qual processo explica melhor o resfriamento?

- A. A temperatura se transfere dos ovos para a água.
- B. O frio se move da água para os ovos.
- C. Energia se transfere dos ovos para a água.

3. Porque usamos casacos nos dias de inverno?

- A. Para manter o frio fora.
- B. Para gerar calor.
- C. Para reduzir a perda de calor.

4. Qual das seguintes afirmações define melhor o conceito de temperatura?

- A. A medida do calor de um corpo.
- B. A medida da energia cinética das moléculas de um gás.
- C. A medida de quão quente está um corpo.

5. Suponha que você aqueça 2 litros de água no fogo por certo tempo e que a temperatura dessa água se eleve em 4°C. Se você colocar 4 litros de água no mesmo fogo, pelo mesmo intervalo de tempo, em quanto se elevará a temperatura?

- A. 2°C
- B. 4°C
- C. 8°C

6. Associamos a existência de calor:

- A. A qualquer corpo, pois todo corpo possui calor.
- B. Somente a corpos que estão quentes.
- C. Às situações nas quais ocorre, necessariamente, transferência de energia.

7. Para que se possa falar em calor:

- A. É suficiente um único corpo.
- B. São necessários, pelo menos, dois corpos.
- C. É suficiente um único corpo, mas este tem que estar quente.

8. Para que se possa admitir a existência de calor deve haver:

- A. Uma diferença de temperatura.
- B. Uma diferença de massas.
- C. Uma diferença de energias.

9. No interior de uma residência que não tenha sido aquecida e nem resfriada durante vários dias:

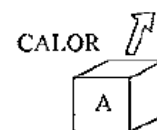
- A. A temperatura dos objetos de metal é inferior à temperatura dos objetos de madeira.
- B. A temperatura dos objetos de metal é a mesma dos demais objetos da casa.
- C. Nenhum objeto apresenta temperatura.

10. A energia interna de um corpo pode ser associada com:

- A. Calor.
- B. Energia cinética de átomos ou moléculas.
- C. Energias potenciais de átomos ou moléculas.

11. Se observar a figura, sem dispor de nenhuma outra informação, pode-se dizer que o cubo A possui, em relação ao ambiente que o circunda:

- A. Temperatura mais elevada.
- B. Mais energia.
- C. Mais calor.



12. O que acontece quando colocamos um termômetro, em um dia de temperatura ambiente igual a 21°C , em água a uma temperatura mais elevada?

- A. A temperatura e a energia interna do termômetro aumentam.
- B. A temperatura do termômetro aumenta, mas sua energia interna permanece constante.
- C. Nem a temperatura do termômetro e nem sua energia interna se modificam; apenas a coluna do líquido termométrico se dilata.

Instrumento 2 (I2) – Questões sobre o conceito de temperatura, calor e energia interna

Buscando iniciar o processo de construção do conceito de temperatura, relacionando-o com a energia interna e diferenciando-o do conceito de calor, no encontro 02 (aula do dia 23.02.17) foram apresentadas dez questões, de modo que os alunos, em grupos de quatro ou cinco componentes, deveriam respondê-las em uma folha para ser entregue. Para cada questão, foi destinado um tempo de cerca de cinco minutos de debate nos grupos. Elas foram propostas não no sentido de identificar as concepções prévias dos alunos, visto que isto aconteceu no questionário descrito anteriormente, mas sim com o intuito de suscitar o debate sobre aspectos que os mesmos vivenciam no seu cotidiano e que são importantes de serem considerados antes do estudo de material instrucional.

Como as questões estão em um nível crescente de dificuldade, elas foram apresentadas uma a uma, para permitir que os alunos fossem enriquecendo suas estruturas cognitivas sem serem desestabilizados de forma repentina. Depois de todas as questões respondidas, foi realizado o debate com a turma. As questões propostas foram as seguintes:

1. Uma das formas caseiras de verificar a temperatura corporal é por meio do tato. Essa forma é precisa? Por quê?
2. Ao utilizar um termômetro para verificar a temperatura dos corpos, é necessário que ocorra o equilíbrio térmico. O que significa equilíbrio térmico? Expliquem.
3. Suponha que vocês aqueçam 1l de água no fogo por certo tempo e que sua temperatura se eleve em 2°C . Se vocês aquecerem 2l de água no mesmo fogo, pelo mesmo tempo, em quanto se elevará a temperatura? Expliquem sua resposta.

4. Em uma previsão do tempo, qual expressão é correta cientificamente: “hoje a temperatura é de 32°C ” ou “hoje o calor é de 32°C ”? Justifiquem.

5. Relacionando com o curso de edificações, quais são os fatores que vocês acreditam que influenciam diretamente para uma maior ou menor temperatura das casas? Justifiquem.

6. Uma amostra de hidrogênio gasoso está à temperatura de 273K. Se o gás for aquecido até que as moléculas tenham suas energias cinéticas com valores dobrados, qual será sua temperatura? Justifiquem.

7. O que vocês entendem por energia interna? Todos os corpos possuem esse tipo de energia?

8. Quais são as escalas usadas para medir temperatura? Em cada uma delas, qual é a temperatura de fusão do gelo e da ebulição da água? Esses valores são fixos, ou podem variar? Se variam, de que dependem?

9. Das temperaturas abaixo relacionadas, qual delas é a mais baixa? Justifiquem.

A. 36°C

B. 95°F

C. 310K

10. A tabela apresenta as substâncias com suas respectivas temperaturas de fusão e ebulição. Na construção de um termômetro para medir temperaturas entre -60°C e +60°C, qual substância termométrica deve ser utilizada? Expliquem.

Substância	T _{fusão} (°C)	T _{ebulição} (°C)
Nitrogênio	-210	-196
Éter	-114	34
Mercúrio	-39	357
Água	0	100
Álcool	-115	78

Instrumento 3 (I3) – Prova sobre temperatura, calor, energia interna e dilatação térmica

Os conceitos que apareceram nas questões anteriores, após serem sistematizados mediante estudo de material instrucional, foram solicitados na prova, composta por doze questões, a qual foi realizada sem consulta e individualmente, no encontro 08 (aula do dia 30.03.17). Assumindo como premissa a teoria da aprendizagem significativa, na maior parte das vezes, elaboramos questões num contexto diferente daquele apresentado durante as aulas.

Utilizamos diferentes tipos de questões como forma de abranger os diversos tipos de aprendizagem dos alunos. Esses diferentes tipos de questões foram propostos uma vez que, embora o foco da instituição não seja o preparo para o vestibular e/ou Exame Nacional do Ensino Médio, a maioria dos alunos realizará essas provas; logo, podemos contribuir para que tenham êxito, pois estarão familiarizados com diferentes abordagens. As questões que compuseram a prova foram as seguintes:

1. (UFMT) Após fazer um bolo, um cozinheiro coloca um cobertor sobre o bolo para que não esfrie, depois que o tira do forno. Do ponto de vista da física, pode-se explicar a atitude do cozinheiro da seguinte forma¹¹:

- A. A temperatura é transmitida do cobertor para o bolo, mantendo-o aquecido.
- B. Há transmissão de calor do cobertor para o bolo, de forma a mantê-lo aquecido.
- C. O cobertor dificulta a transmissão de calor do bolo ao meio ambiente.
- D. O cobertor tem a propriedade de aquecer os corpos que estão por ele cobertos.

2. Suprimida por se referir ao conteúdo de dilatação térmica.

3. Suprimida por se referir ao conteúdo de dilatação térmica.

4. Suprimida por se referir ao conteúdo de dilatação térmica.

5. Um termômetro foi graduado numa escala arbitrária E, sendo que para a temperatura de fusão do gelo foi atribuído o valor de -50°E e para a temperatura de ebulição da água o valor de 10°E . A temperatura de 400°C corresponde a quantos $^{\circ}\text{E}$, nesta escala arbitrária?

6. (UFTM - adaptada) Normalmente, o corpo humano começa a “sentir calor” quando a temperatura ambiente ultrapassa os 24°C . A partir daí, para manter seu equilíbrio térmico, o organismo passa a eliminar o calor através do suor (mecanismo termorregulador). Se a temperatura corporal subir acima de 37°C , é caracterizada como hipertermia e abaixo de 35°C , hipotermia. Se a temperatura de uma pessoa com hipertermia variar de $37,3^{\circ}\text{C}$ para $39,3^{\circ}\text{C}$, de quanto será esta variação nas escalas Fahrenheit e Kelvin¹²?

7. Suprimida por se referir ao conteúdo de dilatação térmica

8. “Calor e temperatura são sinônimos”. Essa afirmação é verdadeira? Se sim, discuta-a. Se não, diga o que há de errado.

9. O que acontece com as moléculas de um corpo, quando este é aquecido? Justifique.

10. Suprimida por se referir ao conteúdo de dilatação térmica.

11. A que corresponde a energia interna de um corpo?

12. Suprimida por se referir ao conteúdo de dilatação térmica

Instrumento 4 (I4) – Forno Solar

Consideramos a construção do forno solar como elemento motivador para o trabalho interdisciplinar proposto nesta tese. Seu princípio de funcionamento está diretamente

¹¹ Questão retirada de <https://www.doraci.com.br/downloads/fisica/bernoulli_1-6.pdf>. Acesso 23 out. 2018.

¹² Questão adaptada de <<https://www.colegiodinamicojatai.com.br/wp-content/uploads/2018/10/TOP-10-DIN%C3%82MICO-F%C3%8DSICA-M%C3%93DULO-7-EXERC%C3%8DCIOS.pdf>>. Acesso 23 out. 2018.

relacionado à elevação da temperatura em seu interior, uma vez que funciona como uma estufa, na qual o isolamento térmico dificulta as trocas de energia na forma de calor entre o seu interior e o meio externo. Sendo assim, apresentamos o seguinte problema a ser resolvido pelos alunos, em grupos de quatro ou cinco componentes: (a) elaborem um roteiro de construção de um forno solar com materiais de baixo custo, descrevendo os materiais utilizados e o motivo da escolha desses; (b) a partir do roteiro, construam o forno e façam registros de todas as etapas da construção; (c) criem estratégias, façam testes e registros para que o forno de vocês tenha a melhor eficiência possível.

Para ajudar os alunos, elaboramos uma lista com sete situações (chamaremos de situações norteadoras, à luz de Vergnaud) que inicialmente deveriam ser pesquisadas e respondidas pelos grupos. As respostas facilitavam a construção de aspectos metodológicos e de materiais necessários para a construção dos protótipos, bem como conduziam as discussões e estudo dos conceitos. No decorrer das aulas das duas disciplinas, os alunos eram chamados a debaterem essas situações para posterior sistematização, a partir de material instrucional, sendo que todas elas, de alguma forma, eram consideradas na construção do protótipo.

Conforme as situações iam sendo pesquisadas, no encontro 15 (aula do dia 08.05.17), foi lançado um desafio para os alunos. Para saber qual forno seria mais eficiente, eles deveriam aquecer 100ml de água, inicialmente à temperatura ambiente, dentro do protótipo, em um intervalo de, pelo menos, uma hora. Esse desafio foi proposto como forma de garantir que todos os alunos tivessem um mesmo padrão de medida, diminuindo as chances, por exemplo, de o termômetro ser colocado diretamente em um ponto concentrador de radiação.

Justificamos o trabalho de pesquisa apresentado aos alunos, tendo em vista que

as pequenas pesquisas são atividades em que o aluno deve obter as respostas para um problema por meio de um trabalho prático, tanto no laboratório escolar como fora dele. Estas tarefas têm como objetivo aproximar o aluno, mesmo que seja de uma forma muito simplificada, do trabalho científico mediante a observação e a formulação de hipóteses, ao mesmo tempo em que potencializam diversos procedimentos de trabalho (estratégias de busca, análise de dados, etc.). Da mesma maneira, são úteis para estabelecer conexões entre os conceitos teóricos e suas aplicações práticas, enquanto ajudam na transferência dos conhecimentos escolares para contextos mais cotidianos (POZZO; CRESPO, 2009, p. 66).

Neste aspecto de proposição de um trabalho experimental, o mesmo justifica-se pelo fato de ser importante a familiarização dos alunos com o mundo físico, fundamentados na utilização de conhecimentos conceituais e processuais. Quando os mesmos são encorajados a explorar e testar suas ideias, o trabalho experimental tem um significativo papel a desempenhar, a partir de teorias bem compreendidas por eles. Além disso, favorece a

construção e desenvolvimento de conceitos, uma vez que, ao mesmo tempo em que os reafirma, possibilita a reformulação de alguns para aprender outros (SARAIVA-NEVES et al., 2006). Isso significa que as atividades experimentais, na medida em que permitem uma ação do sujeito sobre um objeto, possibilitam que seu campo conceitual se estruture e enriqueça, em particular em termos de modelos de utilização dos conceitos (LOPES, 2002).

As situações norteadoras apresentadas aos alunos foram:

Primeira Situação: ao ir à praia, é notável a diferença entre a temperatura da água do mar e da areia. De manhã, por exemplo, a areia está bem mais quente que a água do mar; à noite, no entanto, a areia está fria e a água do mar está morna. Por que isso acontece? O que existe de diferente entre a areia e a água do mar?

Segunda Situação: ao deixar duas colheres, uma de madeira e outra de metal, encostadas na borda de uma panela sobre a chama de um forno, decorrido algum tempo é mais fácil segurar a colher de madeira do que a de metal. Por que isso acontece? O que tem de diferente nas propriedades desses dois materiais?

Terceira Situação: no verão, quando você sai para a praia ou para dar uma corrida na avenida, a sua camiseta é de cor clara, preferencialmente branca. Por que a camiseta escolhida não pode ser de cor escura ou até mesmo preta?

Quarta Situação: é extremamente recomendável que antes de sair de casa as pessoas passem protetor solar e, a cada duas horas de exposição ao Sol, façam a reaplicação. Nesse sentido, o que existe entre o Sol e a Terra? Como o “calor” do Sol “chega” até nós?

Quinta Situação: você já deve ter percebido que a fumaça que sai pelo cano de descarga dos carros ou do carvão queimando para assar um churrasco tende a subir. Como é a temperatura da fumaça em relação ao ar? Por que isto ocorre? Baseando-se neste fato, o ar condicionado nas nossas casas deve ser instalado na parte de cima ou de baixo da parede?

Sexta Situação: uma queimadura com vapor de água a 100°C pode ser mais danosa e mais dolorida do que uma queimadura com água no estado líquido também a 100°C. Devido a que isso ocorre?

Sétima Situação: num dia de verão, ao deixar o carro estacionado ao sol por um grande intervalo de tempo, não é nada confortável adentrá-lo para sair dirigindo. O que acontece para tornar o espaço interno do carro tão aquecido? Qual a relação entre o vidro e o efeito estufa?

Ao propormos esse conjunto de situações norteadoras, buscamos modificar a prática do laboratório tradicional, o qual serve, basicamente, para provar leis e teorias e, desse modo, acaba fragmentando o ensino prático e o teórico. Ao invés disso, objetivamos criar situações ricas para favorecer e motivar a aprendizagem significativa dos sujeitos. Para Tamir (1991,

apud Borges, 2002), existem diversos níveis de investigação no laboratório (Tabela 7), que vão desde os problemas, os procedimentos e as conclusões fornecidos pelo professor, até o caso em que todas as etapas são abertas, de proposição dos alunos. Dependendo da abordagem que se dá, as aulas experimentais podem proporcionar oportunidades para que os alunos criem e testem suas hipóteses, planejem e executem ações metodológicas, buscando produzir resultados confiáveis.

Tabela 7 – Diversos níveis de investigação no laboratório didático.

Nível de investigação	Problemas	Procedimentos	Conclusões
Nível 0	Dados	Dados	Dados
Nível 1	Dados	Dados	Em aberto
Nível 2	Dados	Em aberto	Em aberto
Nível 3	Em aberto	Em aberto	Em aberto

Fonte: Tamir (1991, *apud* Borges, 2002).

Com base na Tabela 7, caracterizamos nossa atividade como estando no nível 2 de investigação, uma vez que, dado o problema, os alunos é que deveriam decidir como e que dados coletar, fazer as medições e obter suas conclusões. Defendemos essa caracterização assumindo que as situações não se constituíram de procedimentos metodológicos para a efetivação do trabalho, mas sim, elementos motivadores e direcionadores para a pesquisa.

Para ajudar os alunos na produção dos protótipos, tivemos dois momentos de assessoramento (encontro 16, aula do dia 11.05.17 e encontro 19, aula do dia 26.05.17), nos quais, além de retomarmos os conceitos abordados nas situações norteadoras e sistematizados em aula, debatíamos a escolha dos materiais e as devidas vedações. Com o forno pronto, os alunos apresentaram seus resultados e conclusões para a turma. Nesse momento, os três professores (física, conforto e colaboradora) puderam fazer questionamentos e apontamentos sobre o trabalho desenvolvido, além da avaliação conjunta do mesmo.

Aproximadamente nove meses depois do término da segunda intervenção didática (março de 2018), sorteamos um aluno por grupo de trabalho para dissertarem sobre a construção do forno solar. A questão sobre a qual os alunos deveriam escrever foi a seguinte: no primeiro semestre do ano passado, vocês construíram um forno solar com materiais de baixo custo. A proposição do trabalho foi promover a interdisciplinaridade entre a física e o

conforto das edificações. Sobre o protótipo construído pelo seu grupo, descreva e explique os conceitos e propriedades térmicas envolvidos na sua construção e no seu funcionamento.

Instrumento 5 (I5) – Mapas conceituais

A partir dos conceitos aplicados na construção do forno, os alunos elaboraram dois mapas conceituais: um inicial, feito no encontro 15 (aula do dia 08.05.17) e outro final, feito em casa e entregue no encontro 23 (aula do dia 12.06.17). Estes mapas foram comparados entre si para verificar se houve evolução conceitual.

Instrumento 6 (I6) – Prova interdisciplinar

A prova, aplicada no encontro 25 (aula do dia 22.06.17), consistiu de sete questões que foram elaboradas de forma conjunta pelos dois professores. Em relação ao estudo piloto, conseguimos avançar e pensar toda a prova com questões interdisciplinares, não fazendo distinção entre aquelas da física e aquelas de conforto. Dessa forma, a correção também foi conjunta, com a mesma nota sendo utilizada nas duas disciplinas.

Para responderem a esta avaliação, os alunos puderam fazer uso de uma “cola autorizada”, correspondendo a uma página, manuscrita, na qual podiam destacar aspectos considerados importantes das disciplinas, excetuando-se exemplos matemáticos e definição de conceitos. Esse material foi pensado para que os alunos não precisassem memorizar as normas técnicas de desempenho térmico das edificações. As questões foram as seguintes:

1. Para construir o forno solar, foi necessário que vocês escolhessem os materiais de acordo com suas propriedades físicas para manter o interior do mesmo o mais aquecido possível. Por exemplo, utilizaram a cor preta em função da maior absorvidade térmica e conseqüentemente, menor taxa de refletividade. Fazendo o contraponto com uma edificação, para melhorar o conforto térmico, pode ser utilizado o alumínio polido como subcobertura em telhados. Qual propriedade justifica a escolha do alumínio polido? Quais as características dessa propriedade?
2. Por que componentes construtivos com elevada capacidade térmica são indicados para climas quentes e secos onde a temperatura atinge valores muito altos durante o dia e extremamente baixos durante a noite?
3. Dentro de uma edificação, as trocas térmicas ocorrem continuamente. No inverno, por exemplo, para impedir que ocorra perda de energia na forma de calor de dentro da residência, é interessante não ter pontos de fuga, como janelas e/ou portas abertas. Efeito similar a este foi utilizado na construção do forno. Imaginemos que uma casa tenha estado fechada por um período

longo de tempo. Ao entrar nessa casa e logo tocar em alguns objetos, você tem a sensação de que os metálicos estão mais frios do que os não-metálicos. Devido a qual propriedade física isso acontece? Explique.

4. Complete os espaços com uma das palavras entre parênteses para tornar a frase correta¹³:

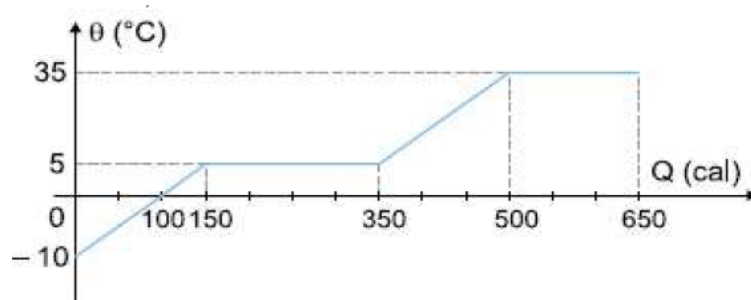
A. Quanto maior a altitude, menor é a pressão atmosférica e _____ é a temperatura de ebulição da água. (menor, maior).

B. Durante o dia, a temperatura no deserto é elevada, e à noite sofre uma grande redução. Isso ocorre em virtude do _____ calor específico da areia. (grande, pequeno).

C. Uma roupa escura absorve _____ quantidade de radiação que uma roupa clara. (maior, igual, menor).

D. A transferência de calor do Sol para a Terra é feita pelo processo de _____. (condução, convecção, irradiação).

5. Sabe-se que o homem se sente melhor em um ambiente com umidade baixa, mesmo com temperatura elevada, do que em lugares de umidade elevada e temperaturas menores, devido ao fato de, nestes últimos, o suor demora mais para evaporar. A evaporação ocorre por meio de trocas de energia na forma de calor latente, uma vez que há mudança de fase. Sobre esse conceito, o gráfico a seguir refere-se à transformação de 20g de uma substância que se encontra, inicialmente, no estado sólido. Com base no gráfico, julgue as afirmativas abaixo como verdadeiras (V) ou falsas (F), justificando as falsas¹⁴.

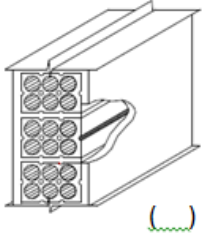
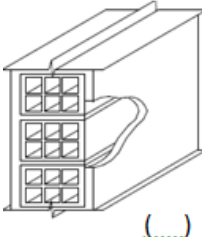
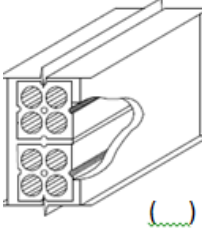


- () A capacidade térmica da substância no estado líquido é igual a 10cal/°C.
- () A temperatura de fusão da substância é 35°C.
- () A temperatura de vaporização da substância é 5°C.
- () O calor específico da substância no estado sólido é igual a 0,5cal/g.°C.
- () O calor latente de fusão da substância é igual a 10cal/g.

¹³ Questão retirada <<http://www.nelsonreyes.com.br/Lista%205%20L.pdf>>. Acesso em 21 out. 2018.

¹⁴ Adaptada de <http://projeto medicina.com.br/site/attachments/article/269/008_fisica_calorimetria_2.pdf>. Acesso 21 out. 2018.

6. A ABNT NBR 15.575 é um divisor de águas na construção civil brasileira, pois as edificações de uso habitacional passaram a ter parâmetros mínimos de desempenho a ser atendido. Em se tratando de conforto térmico da edificação na Zona Bioclimática 2, qual das composições de paredes externas terá o melhor desempenho de acordo com as recomendações da referida norma? Assinale uma das alternativas.

Parede/Descrição	U [W/(m ² .K)]	CT [kJ/(m ² .K)]	φ [horas]
 <p>Parede de tijolos de 6 furos circulares, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x15,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 20,0 cm</p>	1,92	202	4,8
 <p>Parede de tijolos de 6 furos quadrados, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 9,0x14,0x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 19,0 cm</p>	2,02	192	4,5
 <p>Parede com 4 furos circulares Dimensões do tijolo: 9,5x9,5x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 14,5 cm</p>	2,49	186	3,7

7. O Zoneamento Bioclimático propõe a divisão do território brasileiro em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima e, para cada uma destas zonas, formulou-se um conjunto de recomendações técnico-construtivas que otimizam o desempenho térmico das edificações, através de sua melhor adequação climática. Tendo em vista as recomendações para a Zona Bioclimática onde se situa a cidade de Santa Rosa é possível afirmar com base na NBR 15220 – Parte 3 (marque verdadeiro ou falso):

() O resfriamento evaporativo é uma das principais estratégias a serem adotadas na Zona Bioclimática 2 para amenizar o desconforto térmico em períodos com alta temperatura como o verão.

() Temperaturas internas mais agradáveis também podem ser obtidas através do uso de paredes (externas e internas) e coberturas com maior massa térmica, de forma que o calor armazenado em seu interior durante o dia seja devolvido ao exterior durante a noite, quando as temperaturas externas diminuem.

() A ventilação cruzada é uma importante estratégia para a Zona Bioclimática 2, durante o período de verão. Para isso é necessário planejar as aberturas (portas e janelas) de maneira a permitir que o vento possa circular com facilidade dentro da edificação. Além disso, é necessário atentar para a direção dos ventos predominantes na região onde a edificação será implantada.

() A proteção solar de esquadrias, evitando a incidência direta da radiação solar é uma estratégia a ser adotada ao longo de todo ano na Zona Bioclimática 2.

() O uso de aquecimento artificial será necessário para amenizar a eventual sensação de desconforto térmico por frio.

Das sete questões da prova, faremos a análise de apenas cinco delas em função de lacunas que temos acerca das propriedades térmicas dos materiais construtivos. Embora os conceitos envolvidos nas questões seis e sete (ventilação, capacidade térmica, atraso térmico) sejam compartilhados pelas disciplinas, os aspectos relativos à constituição dos materiais e das edificações são de domínio da área técnica e, muitas vezes, definidos por normativas.

Instrumento 7 (I7) – Questionário de opinião

Como última etapa da aplicação da pesquisa, no encontro 27 (aula do dia 29.06.17), os alunos responderam a um questionário de opinião sobre o trabalho desenvolvido. Consideramos que esse instrumento é importante porque representa um retorno da nossa ação didática, apontando pontos positivos e negativos, bem como proposições de novos procedimentos metodológicos e conceituais, pelo fato de esta ser uma abordagem que seguirá fazendo parte do nosso fazer pedagógico. As perguntas solicitadas aos alunos foram:

1. Foi possível perceber que as disciplinas de física e conforto térmico foram trabalhadas de forma diferenciada? Justifique em quais aspectos.

2. O objetivo do trabalho interdisciplinar foi possibilitar a convergência das ementas das disciplinas de física e conforto, possibilitando que os conceitos de ambas fossem aprendidos de forma significativa. Quais conceitos contribuíram para isso?

3. O que é preciso ser modificado/aperfeiçoado para que fique mais explícita a sintonia entre as disciplinas e entre os professores?

4. Na prova integrada, você conseguiu identificar a conexão das duas disciplinas? Isso facilitou ou dificultou o entrelaçamento dos conceitos abordados? Por quê?

5. Qual o motivo da sua escolha pela instituição e pelo curso técnico em edificações? O trabalho desenvolvido de forma interdisciplinar fez com que sua visão frente à atuação profissional sofresse modificação? De que forma?

6. Qual a importância atribuída à tarefa de construção do forno solar para a aprendizagem dos conceitos envolvidos? A linguagem utilizada pelos professores ao debaterem as situações norteadoras eram similares para definir/elucidar os conceitos?

7. Considerações gerais sobre o trabalho.

Embora tenhamos especificado uma quantidade expressiva de instrumentos, as interações em aula também buscaram estimular que os alunos tornassem explícitas suas concepções e entendimento acerca de conceitos e fenômenos, ativando, dessa forma, os subsunçores necessários para a aprendizagem significativa do campo conceitual da física térmica. Das nossas percepções sobre a evolução conceitual dos alunos, elaboramos materiais instrucionais para ajudá-los a progredirem cognitivamente. Isso significa que, embora estivéssemos constantemente buscando favorecer a aprendizagem significativa, nem todos os dados coletados serão utilizados para verificar evidências deste tipo de aprendizagem. A Tabela 8 mostra o peso dos instrumentos que compuseram a nota do semestre.

Tabela 8 – peso dos instrumentos utilizados na análise dos dados para a nota do semestre.

Instrumentos Avaliativos	Peso
Prova sobre calor, temperatura, energia interna e dilatação térmica	2,4
Forno solar	3,0
Prova interdisciplinar	3,0
Mapas conceituais interdisciplinares ¹⁵	0,6
Participação em aula	1,0

Fonte: Autor (2018).

Como forma de tornar explícita a relação e evolução conceitual dos alunos, dividimos os instrumentos elencados acima em três blocos, de modo que esta divisão aconteceu no sentido de clarificar as etapas da pesquisa, que basicamente compreendeu três momentos:

¹⁵ Definimos 0,3 pontos para cada um dos mapas, de modo que, o aluno que entregou os dois mapas ganhou 0,6 pontos e o aluno que entregou somente um dos mapas ganhou 0,3 pontos. Definimos dessa forma em função desses instrumentos serem idiossincráticos, não tendo mapa certo ou errado.

Primeiro Bloco de instrumentos: engloba os três primeiros instrumentos (questionário para identificação das concepções prévias dos alunos sobre os conceitos de temperatura, calor e energia interna **(I1)**); questões sobre o conceito de temperatura, calor e energia interna **(I2)** e; prova sobre temperatura, calor, energia interna e dilatação térmica **(I3)**). Como esse primeiro bloco corresponde às ações disciplinares, buscamos explorar o avanço dos alunos sobre os conceitos, a partir do enfoque da disciplina de física.

Segundo Bloco de instrumentos: diz respeito à construção do forno solar **(I4)** e dos mapas conceituais **(I5)**, que representam a proposição coletiva de um trabalho prático para significar a relação conceitual das disciplinas de física e conforto, seja pelo papel motivador que esse tipo de trabalho traz, seja pela complementaridade dos conceitos no entendimento de situações práticas. A ênfase na análise desse bloco constitui a busca por soluções eficientes para o funcionamento do forno solar, com a correta utilização de conceitos científicos, seja ao longo da construção dos protótipos (em grupos) ou na elaboração dos mapas (individuais).

Terceiro Bloco de instrumentos: abrange os dois últimos instrumentos descritos (prova interdisciplinar **(I6)** e questionário de opinião **(I7)**) e destaca o vínculo com os dois blocos anteriores, no sentido de buscar a relação dos conceitos básicos da física térmica com o entendimento de conceitos abordados pelas duas disciplinas. Além disso, esse bloco representa um momento de avaliação individual dos alunos para explicitação do conhecimento aprendido e suas percepções acerca das ações desenvolvidas.

O capítulo seguinte traz a análise e discussão dos dados coletados a partir do nosso percurso metodológico, delineado conforme descrito acima.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Assumindo os argumentos construídos nos referenciais teóricos, defendemos que uma aprendizagem significativa ocorre quando o aluno domina progressivamente determinado campo conceitual. Na busca por evidências deste tipo de aprendizagem, procuramos, nas respostas dos alunos, fragmentos que nos ajudem a identificar (i) posse de significados claros, precisos, diferenciados e transferíveis; (ii) desenvolvimento, elaboração e diferenciação de conceitos, em termos de detalhe e especificidade; (iii) incorporação, à estrutura cognitiva, de proposições e conceitos novos e; (iv) aquisição de novos significados (MOREIRA; MASINI, 1982; SOBIECZIAK, 2017).

Dividimos nossos instrumentos em três blocos, de modo que, para as análises, fizemos uma categorização dos registros produzidos pelos alunos, sendo que suas falas serão apresentadas em itálico e entre aspas, quando aparecerem dentro do texto. Cabe salientar que as atividades propostas aos alunos foram realizadas tanto de forma individual (**I1**, **I3**, **I5**, **I6** e **I7**) quanto em grupos (**I2**, **I4**), conforme analisado abaixo. Iniciemos pela apresentação e discussão dos resultados referentes ao primeiro bloco de instrumentos.

5.1 PRIMEIRO BLOCO DE INSTRUMENTOS

Neste primeiro bloco, analisamos a evolução conceitual dos alunos referente aos conceitos de calor, temperatura e energia interna, durante a realização da atividade predominantemente disciplinar.

5.1.1 O conceito de calor

Uma vez que aplicamos um questionário para identificar as concepções prévias dos alunos sobre a física térmica (**I1**), iniciamos com esse instrumento para analisar a evolução do entendimento dos alunos sobre o conceito de calor, do qual consideramos as questões seis e onze, respondidas por vinte e nove alunos.

Questão 06 (II): associamos a existência de calor:

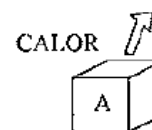
- A. A qualquer corpo, pois todo corpo possui calor.
- B. Somente a corpos que estão quentes.

C. Às situações nas quais ocorre, necessariamente, transferência de energia.

Esta questão teve como objetivo verificar a forma com que os alunos compreendem a energia na forma de calor; como uma energia em trânsito ou como algo contido nos corpos. Para dezessete alunos, o calor é entendido como uma propriedade intrínseca dos corpos (alternativa A), enquanto que para três, é um atributo apenas dos corpos quentes (alternativa B). Os demais nove alunos entendem esse conceito como uma energia em trânsito, ainda que a alternativa correspondente (alternativa C) não apresente detalhes sobre os requisitos para que essa energia seja transferida de um corpo para outro.

Questão 11 (II): se observar a figura, sem dispor de nenhuma outra informação, pode-se dizer que o cubo A possui, em relação ao ambiente que o circunda:

- A. Temperatura mais elevada.
- B. Mais energia.
- C. Mais calor.



Uma vez que na questão anterior a maioria dos alunos considerou calor como uma característica intrínseca dos corpos, era de se esperar que nesta também retomassem isso, assinalando a alternativa C. Porém, somente oito alunos marcaram essa afirmação. Por outro lado, treze alunos assinalaram que é necessário existir uma diferença de temperatura entre os corpos (alternativa A), sendo a temperatura do corpo A maior que a do meio para que o fluxo de energia ocorra no sentido indicado. Os demais oito alunos, ao escolherem como correta a alternativa B, demonstraram pensar que o corpo que possui mais energia (sem especificar, qual delas) em relação ao outro é quem vai transferi-la na forma de calor.

Com base nas ideias prévias, o conceito de calor foi novamente abordado nas questões introdutórias sobre temperatura, calor e energia interna (I2). Como esse instrumento foi respondido em grupos, os alunos se organizaram da seguinte forma, sendo que vinte e nove alunos estavam nessa aula: grupo G1: alunos A20, A22, A25 e A26; grupo G2: alunos A14, A15, A19 e A24; grupo G3: alunos A10, A13, A18 e A28; grupo G4: alunos A3, A6, A7 e A27; grupo G5: alunos A5, A8, A9, A11 e A17; grupo G6: alunos A1, A12, A21 e A29 e; grupo G7: alunos A2, A4, A16 e A23. Passemos à análise das respostas:

Questão 4 (I2): em uma previsão do tempo, qual expressão é correta cientificamente: “hoje a temperatura é de 32°C” ou “hoje o calor é de 32°C”? Justifiquem.

As respostas dadas pelos grupos puderam ser agrupadas da seguinte forma:

- O grupo **G2** descreve calor como uma propriedade intrínseca dos corpos, dando indicativo de que, para esses alunos, todos os corpos possuem calor, uma vez que o calor “*se remete aos corpos*”;
- No caso do grupo **G4**, calor é encarado como sinônimo de temperatura, haja vista que corresponde ao “*movimento das moléculas*”. Esse entendimento é também destacado por Mortimer e Amaral (1998), que afirmam que calor e temperatura são muitas vezes considerados idênticos pelos alunos;
- Já o grupo **G1** não expressou de forma direta seu entendimento sobre o conceito, mas afirma que reconhece que se está falando de temperatura pela unidade de medida, uma vez que “*a expressão correta é hoje a temperatura é de 32°C, porque é unidade de medida*”;
- Para os grupos **G5** e **G6**, “*calor é energia*”. Ainda que esses alunos não expressem uma compreensão científica totalmente correta para esse conceito, não o caracterizam como substância, concepção reportada na literatura (SILVA et al., 1997; LOUZADA, et al., 2015);
- O grupo **G3** manifesta o calor como sendo uma propriedade intrínseca dos corpos, mas dá um passo importante ao considerar que “[...] *o calor vem de um corpo que necessita de um corpo*”, ou seja, explícita, ainda que sem detalhes, que para existir energia na forma de calor deve haver pelo menos dois corpos. Esta noção científica é importante porque deixa claro que não faz sentido falar em calor de um corpo, uma vez que para haver energia na forma de calor deve existir diferença nas temperaturas de dois corpos ou entre duas partes de um mesmo corpo (MORTIMER; AMARAL, 1998);
- O grupo **G7** expressa o calor como uma sensação térmica, que é o “[...] *que sentimos quando a temperatura está elevada*”, dado este que corrobora às ideias de Amaral e Mortimer (2001), de que a primeira noção de calor está ligada à sensação térmica de quentura.

Na prova sobre os conceitos de temperatura, calor, energia interna e dilatação térmica (I3), buscamos indícios de aprendizagem significativa do conceito de calor na primeira e na oitava questão. Desse instrumento temos as respostas de somente vinte e nove alunos, em função do arquivo escaneado do aluno **A23** ter sido corrompido. Também, a questão de número oito foi respondida pela totalidade dos alunos, enquanto a questão de número um não esteve presente na prova do aluno **A25**, em função de ter respostas semelhantes, o que poderia

induzi-lo ao erro, uma vez que, como descrito no capítulo anterior, sua capacidade de atenção e sua memória é prejudicada.

Questão 01 (I3): após fazer um bolo, um cozinheiro coloca um cobertor sobre o bolo para que não esfrie, depois que o tira do forno. Do ponto de vista da física, pode-se explicar a atitude do cozinheiro da seguinte forma:

- A. A temperatura é transmitida do cobertor para o bolo, mantendo-o aquecido.
- B. Há transmissão de calor do cobertor para o bolo, de forma a mantê-lo aquecido.
- C. O cobertor dificulta a transmissão de calor do bolo ao meio ambiente.
- D. O cobertor tem a propriedade de aquecer os corpos que estão por ele cobertos.

Para esta questão, o aluno **A15** assinalou a afirmativa A como correta, sugerindo que é a temperatura que é transmitida entre os corpos; já os alunos **A20** e **A24** marcaram a alternativa B, que pode indicar o cobertor como uma fonte de calor. Os demais vinte e cinco alunos assinalaram a afirmativa correta C, demonstrando entender que o cobertor dificulta a transmissão de energia na forma de calor do bolo ao meio, o que representa um indício de aprendizagem significativa em função de haver uma qualificação do conceito, surgindo um novo significado em relação às concepções prévias (MOREIRA; MASINI, 1982).

Questão 08 (I3): “calor e temperatura são sinônimos”. Essa afirmação é verdadeira? Se sim, discuta-a. Se não, diga o que há de errado.

No caso de uma questão direta e aberta, diversos tipos de respostas foram dados, sendo categorizadas da seguinte forma:

As respostas coerentes do ponto de vista científico incluem nove alunos que externalizaram de forma satisfatória que calor corresponde a um fluxo de energia, que passa de um corpo a uma temperatura maior para outro a uma temperatura menor, tal como destacado pelo aluno **A7**, que “[...] o calor é a transferência de energia de um corpo de maior temperatura para um corpo de menor temperatura”. Destes alunos, três apresentam o possível invariante operatório que o corpo de menor temperatura recebe energia na forma de calor até que ambos atinjam o equilíbrio térmico, como reportado por Grings et al. (2006), e ilustrado pelo aluno **A28**, que “[...] o corpo de maior temperatura vai transferir energia para o de menor, assim chegando a um equilíbrio térmico, onde não existe mais calor”.

As respostas parcialmente coerentes do ponto de vista científico foram dadas por seis alunos, dentre eles **A19**, que argumentou que calor “*é a energia em trânsito entre dois corpos*”. Já o aluno **A30** expressou que “*o calor é uma forma de energia*”. Qualificamos essas respostas como parcialmente coerentes porque não são completas, deixando dúvidas sobre o total entendimento desses alunos sobre o conceito. Ainda que expressem elaboração do conceito, este não é claro (MOREIRA; MASINI, 1982).

Entre as respostas incoerentes do ponto de vista científico, diversas não são condizentes com as discussões realizadas em aula e com a conceituação científica do calor. Três alunos entendem esse conceito como uma transmissão de temperatura entre corpos, sendo que existe calor “*quando há o fluxo de temperatura entre dois corpos*” (aluno **A1**). Três alunos argumentam que calor é a mesma coisa que temperatura, tal como extraído do excerto produzido pelo aluno **A20**, que esses conceitos são “*quase a mesma coisa*”. Outros dois alunos revelam um conceito de calor relacionado à sensação térmica, já que “*o calor é o que alguém sente quando toca um corpo com mais energia*” (aluno **A16**). Para o aluno **A2**, calor é “*a energia interna de um corpo*”, enquanto outros dois alunos julgam calor como uma propriedade dos corpos, “*que um corpo recebe ou dá para outro corpo*” (aluno **A11**).

Algumas respostas indefinidas foram externalizadas por três alunos, os quais, embora destaquem que calor e temperatura são diferentes, não explicam qual a diferença existente entre os conceitos. O aluno **A14** salienta que “*calor e temperatura não são sinônimos*” e o aluno **A5**, que “*calor não é a denominação certa para dizermos que está quente*”.

Das questões analisadas para o conceito de calor, podemos situar a evolução conceitual dos alunos em três categorias: satisfatória, parcialmente satisfatória e insatisfatória. A Tabela 9 mostra a distribuição dos vinte e oito alunos que responderam todas as questões em cada uma dessas categorias. Nessa categorização, tomamos as asserções referentes à aprendizagem significativa, que é aquela na qual as novas ideias interagem de maneira substantiva e não arbitrária com os conhecimentos relevantes disponíveis na estrutura cognitiva dos alunos (MOREIRA, 2009, 2012).

Nesse sentido, os instrumentos e as atividades neles propostas foram estruturados como forma de possibilitar que os alunos explicitassem suas concepções prévias sobre o conceito de calor para, depois, em grupos, contraporem suas ideias para a formulação de um significado comum, que podia ou não ser mais rico e diferenciado. Após a sistematização desse conceito, em interação com outros (como temperatura e energia, por exemplo), o entendimento dos alunos sobre ele foi novamente solicitado na prova individual.

Tabela 9 – categorização da evolução conceitual dos alunos sobre o calor.

Satisfatória	Parcialmente Satisfatória	Insatisfatória
A6, A7, A8, A13, A14, A17, A27 e A28.	A1, A5, A9, A10, A11, A12, A15, A18, A19, A21, A22, A24, A26, A29 e A30.	A2, A3, A4, A20 e A25.

Fonte: Autor (2018).

O aluno **A27** é um exemplo, dentre os oito, que demonstrou uma evolução conceitual satisfatória. Suas concepções prévias apontavam calor como uma propriedade intrínseca dos corpos. Nas questões introdutórias sobre esse conceito, explicitou que calor e temperatura são a mesma coisa (LOUZADA et al., 2015), ao afirmar que “*o calor é o simples movimento das moléculas*”. Já as suas respostas na prova indicaram avanços em relação ao conceito: que a função de um cobertor é a de dificultar a transmissão de energia na forma de calor do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura e; demonstrando aquisição e enriquecimento de conceitos, premissa necessária para inferir indícios de aprendizagem significativa (MOREIRA; MASINI, 1982), afirmou que “*calor é energia em trânsito entre corpos quando existe diferença de temperatura entre eles*”.

Dos quinze alunos que apresentaram uma evolução conceitual parcialmente satisfatória, destacamos as respostas do aluno **A29**. Inicialmente, ele concebia calor como uma propriedade intrínseca dos corpos quentes, mas que sua propagação exige uma diferença de temperatura entre os corpos. A partir daí, reconhece que “*calor é uma energia*”, ainda que não descreva detalhes sobre essa energia. Findando o estudo do primeiro bloco, o aluno evolui na medida em que argumenta que “*calor é energia em trânsito*”. Consideramos, com isso, que o aluno teve uma evolução conceitual parcialmente satisfatória em função de não ter externalizado de maneira completa a condição necessária para que exista fluxo de energia na forma de calor entre dois corpos. Contudo, é possível afirmarmos que o mesmo qualificou este conceito em interação com outros (energia, por exemplo), bem como o diferenciou em relação às suas concepções prévias (MOREIRA; MASINI, 1982).

Dos cinco alunos que tiveram uma evolução conceitual insatisfatória, exploramos o caso do aluno **A4**. Analisando suas respostas, percebe-se que inicialmente ele concebe calor como uma propriedade intrínseca dos corpos. Também, defende que calor “*é a sensação térmica que sentimos quando a temperatura está elevada*”. Na prova, retoma a concepção de

que calor e temperatura são sinônimos, afirmando que “*calor é um exemplo de energia cinética, ou seja, quanto maior o calor, mais as moléculas vão se movimentar*”. Isso demonstra que estes conceitos não estão claramente diferenciados, uma vez que, comparadas as concepções prévias do aluno com aquelas cientificamente aceitas, alguns elementos conceituais estão em conflito, já que calor corresponde a uma energia em trânsito entre dois corpos quando existe diferença de temperatura entre eles (VAZQUEZ DIAZ, 1987).

As respostas dadas pelos alunos e que nos levaram à categorização apresentada podem estar atreladas tanto à forma como nos expressamos no dia a dia, quanto podem também ser induzidas pelos livros didáticos (GOMES, 2012; VAZQUEZ DIAZ, 1987), dando a entender que calor e temperatura são sinônimos. Da forma como explicitado no capítulo 2, os livros analisados permitem alguns entendimentos inadequados de calor como sendo substância (HEWITT, 2009; PIETROCOLA, 2016; LAMBERTS et al., 2014); como representando a mesma coisa que temperatura (PIETROCOLA et al., 2016); ou ainda como um estado diferente do frio (DUART et al., 2016), o que dificulta a aprendizagem significativa.

5.1.2 O conceito de temperatura

Para a análise do entendimento dos alunos sobre o conceito de temperatura, escolhemos duas questões do questionário de identificação das concepções prévias (**I1**) (a primeira delas respondida por vinte e nove alunos e a de número quatro, respondida por vinte e oito alunos); duas dos questionamentos introdutórios sobre temperatura, calor e energia interna (**I2**) (questões quatro e seis, respondidas por vinte e nove alunos); e duas da prova sobre temperatura, calor, energia interna e dilatação térmica (**I3**) (questões oito e nove, das quais temos respostas de vinte e nove alunos). Passemos à análise dessas questões.

Questão 01 (I1): uma pessoa crê que deve usar água fervendo para preparar uma xícara de chá e te diz: “não posso fazer chá se me encontrar acampado no cume de uma montanha muito alta porque a água não ferve a grandes altitudes”. Qual seria sua resposta a essa pessoa:

- A. “claro que ferve, porém a uma temperatura menor que a daqui da cidade”.
- B. “isso não é certo, pois a água sempre ferve à mesma temperatura”.
- C. “estou de acordo, pois no cume da montanha a água não chega a seu ponto de ebulição”.

Esta questão teve como objetivo verificar como os alunos associam os efeitos da pressão atmosférica na temperatura de ebulição da água. A alternativa A foi assinalada por treze alunos, indicando coerentemente que, com o aumento da altitude, a pressão atmosférica diminui e conseqüentemente a temperatura de ebulição da água é reduzida. O mesmo número de alunos assinalou a letra B, acreditando, de forma incorreta, que a pressão atmosférica não exerce influência no ponto de ebulição e que, sendo assim, a água somente ferve a 100°C (LOUZADA et al., 2015). Os outros três alunos marcaram a afirmativa C, tendo a percepção equivocada de que, em grandes altitudes, a água não ferve.

Questão 04 (II): Qual das seguintes afirmações define melhor o conceito de temperatura?

- A. A medida do calor de um corpo.
- B. A medida da energia cinética das moléculas de um gás.
- C. A medida de quão quente está um corpo.

Quinze alunos assinalaram a alternativa A, indicando o possível invariante operatório que a temperatura é a intensidade do calor dos corpos. Por outro lado, oito alunos assinalaram a afirmativa C, dando um indicativo de que a temperatura, a nível macroscópico, está associada à sensação de quente ou de frio. Os demais cinco alunos assinalaram a letra B, que expressa a temperatura relacionada ao grau de agitação das moléculas que compõem um corpo. Desse modo, treze alunos expressaram concepções coerentes para o conceito de temperatura, seja a nível macro ou microscópico. Contudo, no decorrer da intervenção didática foi recorrente o debate sobre as sensações de quente e frio nem sempre corresponderem a uma diferença real de temperatura, em função das propriedades dos materiais que constituem os corpos (AMARAL; MORTIMER, 2001).

Depois de terem respondido o questionário, os alunos discutiram o conceito de temperatura em pequenos grupos, fazendo convergir seus pontos de vista a um entendimento comum. Os grupos ficaram organizados da seguinte maneira: grupo **G1**: alunos **A20**, **A22**, **A25** e **A26**; grupo **G2**: alunos **A14**, **A15**, **A19** e **A24**; grupo **G3**: alunos **A10**, **A13**, **A18** e **A28**; grupo **G4**: alunos **A3**, **A6**, **A7** e **A27**; grupo **G5**: alunos **A5**, **A8**, **A9**, **A11**, **A17**; grupo **G6**: alunos **A1**, **A12**, **A21** e **A29** e; grupo **G7**: alunos **A2**, **A4**, **A16** e **A23**. Desse instrumento, duas questões serão analisadas.

Questão 04 (I2): em uma previsão do tempo, qual expressão é correta cientificamente: “hoje a temperatura é de 32°C” ou “hoje o calor é de 32°C”? Justifiquem.

As respostas dadas pelos alunos dos grupos **G2**, **G3**, **G5** e **G7** não nos permitem identificar seus entendimentos acerca do conceito. Por exemplo, o grupo **G3** destaca apenas que a expressão correta é que a temperatura é de 32°C, “*porque o calor vem de um corpo que necessita de um corpo*”, enquanto o grupo **G5** evidencia que “*hoje a temperatura é de 32°C, pois o calor (energia) é específico do corpo*”. Já o Grupo **G2** afirma que a expressão correta é “*hoje a temperatura é de 32°C, pois a temperatura se remete ao ambiente e o calor aos corpos*”. Por sua vez, o grupo **G7** declara que o correto é “*hoje a temperatura é de 32°C. Pois calor é a sensação térmica que sentimos quando a temperatura está elevada*”.

Os outros três grupos (**G1**, **G4** e **G6**) reconhecem que se está falando de temperatura por meio de sua unidade de medida, como destacado pelo grupo **G4**, que afirma que “*hoje a temperatura é de 32°C porque os °C são uma unidade de medida de temperatura*”. Esse reconhecimento da unidade de medida é um importante atributo na distinção entre os conceitos, correspondendo a um subsunçor que deve ser enriquecido.

Questão 06 (I2): uma amostra de hidrogênio gasoso está à temperatura de 273K. Se o gás for aquecido até que as moléculas tenham suas energias cinéticas com valores dobrados, qual será sua temperatura? Justifiquem.

Cinco grupos (**G1**, **G2**, **G4**, **G6** e **G7**) deram um indicativo apropriado da relação da temperatura a nível microscópico com a energia cinética das moléculas, ao afirmarem, por exemplo, que “*a temperatura será de 546K, porque energia cinética é diretamente proporcional à temperatura*” (grupo **G6**), como destacado em Young e Freedman (2008).

Os outros dois grupos (**G3** e **G5**) mostraram um entendimento de que o aumento da energia cinética das moléculas implica um aumento no número dessas moléculas, tal como expressado por **G5**, que a temperatura da amostra de hidrogênio passa a ser de “*546K, pois as moléculas se multiplicam*”, uma vez que “*a energia cinética dobra*”. De respostas como esta, ainda que não possamos evidenciar uma relação adequada entre aumento de temperatura, aumento de energia cinética e o correspondente aumento do número de moléculas, identificamos uma associação satisfatória ($2E \rightarrow 2T$), indicando que energia cinética e

temperatura aumentam na mesma proporção. Disso decorre que as respostas podem corresponder apenas a uma forma inadequada de expressão.

Na prova referente aos conceitos de temperatura, calor, energia interna e dilatação térmica, buscamos indícios da evolução do conceito de temperatura em duas questões.

Questão 08 (I3): “calor e temperatura são sinônimos”. Essa afirmação é verdadeira? Se sim, discuta-a. Se não, diga o que há de errado.

As vinte e nove respostas podem ser categorizadas da seguinte maneira:

As respostas coerentes do ponto de vista científico foram dadas por dezoito alunos. Catorze deles externalizam de forma apropriada que a temperatura está associada ao grau de agitação das moléculas de um corpo ou ainda, que é proporcional à energia cinética dessas moléculas. O aluno **A22**, por exemplo, justifica que a *“temperatura é o movimento (energia cinética) das moléculas; quanto mais quente, mais movimento consequentemente a temperatura será maior”*. De maneira semelhante, o aluno **A13** argumenta que a *“temperatura é o grau de agitação das moléculas; quanto maior for a agitação, maior será a temperatura; quanto menor a agitação, menor a temperatura”*. Além destes, quatro alunos explicitaram a temperatura como uma grandeza associada ao estado de quente ou frio de um corpo, o que é pertinente quando considerada a nível macroscópico. Algumas respostas que elucidam esse entendimento são: *“temperatura é frio, quente, morno, gelado”* (aluno **A4**) e *“temperatura é a sensação de quente ou frio”* (aluno **A5**) e apontam, contudo, a necessidade de tornarmos explícita a relação nem sempre confiável entre a sensação de quente ou frio sentida pelo tato com o real estado do corpo (MORTIMER; AMARAL, 1998).

Os registros de seis alunos ilustram respostas parcialmente coerentes do ponto de vista científico. Quatro deles relacionam, de forma incompleta, temperatura e energia. O aluno **A30**, por exemplo, argumenta que a *“temperatura é o estado energético ao qual o corpo se encontra”*, enquanto o aluno **A16** afirma que *“a temperatura varia com a quantidade de energia das moléculas de um corpo, ou seja, a energia interna”*. Essas respostas, ainda que explicitem uma associação de forma equivocada entre os conceitos, mostram que os alunos conseguem relacioná-los e que, possivelmente, apenas a expressem de maneira imprecisa, uma vez que o aluno internaliza um conceito quando dá significado aos materiais ou situações, traduzindo-o para suas palavras próprias (POZO; CRESPO, 2009). Os outros dois alunos não deixaram evidente o que entendem por temperatura; porém, o aluno **A2** a

reconhece pela unidade de medida, uma vez que “*a temperatura seria medida em graus*” e o aluno **A8** defende que uma diferença de temperatura entre dois corpos é a condição para existir energia na forma de calor, uma vez que “*a temperatura são as variações para termos o calor. Por exemplo, se temos dois blocos de temperaturas diferentes, o bloco de maior temperatura passará para o de menor, havendo então o calor*”.

Dois alunos tiveram suas respostas classificadas como incoerentes do ponto de vista científico. O aluno **A29** afirmou que temperatura “*é a forma usada para expressar a quantidade de calor*”, o que pode ser um indicativo de que não aprendeu de forma significativa, mantendo a relação de que temperatura é intensidade do calor (LOUZADA et al., 2015). Já o aluno **A20**, da mesma forma que anteriormente citado (na análise do conceito de calor), compreende calor e temperatura como sinônimos, que são “*quase mesma coisa pode-se dizer pros dois*”, o que também não evidencia uma aprendizagem significativa.

Aquelas respostas tidas como indefinidas incluem três alunos e não nos permitem inferir seus entendimentos acerca do conceito. O aluno **A21** apenas respondeu que a afirmação é falsa, pois “*calor e temperatura não são sinônimos*”. Por sua vez, o aluno **A9** afirmou que “*temperatura é de acordo com o corpo, ambiente, ela pode variar*”. Já o aluno **A3** escreveu que “*para a pessoa sentir calor, ela precisa da temperatura constante em seu corpo, uma variação se chama calor, para senti-lo depende da temperatura corporal*”. Essas respostas podem indicar que não houve diferenciação entre conceitos novos com as ideias já estabelecidas, nem aquisição de novos significados (MOREIRA; MASINI, 1982).

Questão 09 (I3): o que acontece com as moléculas de um corpo quando este é aquecido? Justifique.

Essa questão será analisada referente à energia de movimentação das moléculas associada a um incremento de temperatura, sem considerarmos os efeitos da temperatura na dilatação dos corpos. Apresentamos essa questão de forma aberta para identificarmos como os alunos utilizam conceitos para darem conta de responder às diferentes situações, buscando assim, indícios de aprendizagem significativa.

Dos vinte e nove alunos, cinco não relacionaram o aumento de temperatura sofrido pelo corpo com o aumento da energia cinética de suas moléculas. Já um número expressivo de alunos (vinte) explicitou uma compreensão adequada do ponto de vista científico de que a temperatura é uma grandeza relacionada ao grau de agitação das moléculas de um corpo.

Dentre essas respostas, o aluno **A3** afirma que “*as moléculas de um corpo quando começa a ser aquecido, elas ficam com mais energia, começam a se movimentar mais, ficam mais agitadas*”. Já o aluno **A7** destaca que as moléculas “*passam a se movimentarem com maior velocidade e intensidade, pois a agitação das mesmas está diretamente associada à temperatura*”. Essas respostas evidenciam aprendizagem significativa na medida em que elucidam a diferenciação entre conceitos novos e ideias já estabelecidas, o que significa que o conceito de temperatura evoluiu a partir das concepções iniciais; também, destacam significados claros e diferenciados (MOREIRA; MASINI, 1982; SOBIECZIAK, 2017).

Por outro lado, quatro alunos deram respostas que permitem entender que as moléculas dos corpos somente começam a se movimentar quando este sofre um aumento de temperatura, tal como apontado pelo aluno **A27**, que “*as moléculas começam a se agitar conforme aumenta a sua temperatura*”. Isto nos conduz a uma reflexão sobre a forma de nos expressarmos, bem como sobre as definições apontadas pelos livros didáticos, merecendo ressalvas porque é improvável que tenhamos como medir (nas condições de sala de aula) um maior ou menor grau de agitação das moléculas. Isso corrobora as ideias de Hülsendeger et al. (2006), as quais argumentam que é difícil para o aluno compreender grandezas que são invisíveis, cabendo a eles, nesse caso, a confiança naquilo que o professor explica sobre o movimento ininterrupto das partículas e sua dependência com a variação da temperatura.

Acompanhando a evolução das respostas dadas às diversas questões sobre o conceito de temperatura, pudemos identificar e distribuir os vinte e sete alunos que responderam todas as questões analisadas em quatro categorias, mostradas na Tabela 10: satisfatória, parcialmente satisfatória, estável (em virtude de terem entendimento adequado ao longo de todos os instrumentos) e retrocesso conceitual. A partir dessa categorização, apresentamos, a seguir, os dados de alguns alunos que mostram e ratificam essa distribuição.

Tabela 10 – categorização da evolução conceitual dos alunos sobre a temperatura.

Satisfatória	Parcialmente Satisfatória	Estável	Retrocesso Conceitual
A2, A4, A6, A8, A13, A15, A17, A18, A19, A22, A24, A26, A27, A28 e A29.	A5, A9, A11, A12, A14 e A25.	A1, A3, A7 e A10.	A20 e A21.

Ainda que em menor número, dois alunos demonstraram um retrocesso conceitual, como é o caso do aluno **A20**. No questionário de concepções prévias, ele expressou de maneira adequada a relação existente entre pressão e temperatura, mas demonstrou uma incoerência ao assinalar que a temperatura corresponde à medida do calor. A partir daí, relacionou a temperatura com sua unidade de medida, afirmando que a expressão correta é *“hoje a temperatura é de 32° porque é unidade de medida”*. Também expressou de maneira adequada a relação entre energia cinética e temperatura, afirmando que *“se a temperatura do hidrogênio era 273K e foi aquecido para que dobre sua temperatura, ela passou à 576K”*. Já nas questões da prova, retomou dizendo que calor e temperatura *“são quase a mesma coisa”*, de forma análoga às concepções prévias. Também, não conseguiu expressar a dependência da temperatura de um corpo com a energia cinética das partículas que o constituem.

Embora este aluno tenha sido categorizado como apresentando um retrocesso conceitual, é importante considerar que o mesmo recebeu um atendimento diferenciado durante as aulas, em virtude de suas subjetividades. Nos instrumentos que deveriam ser respondidos de forma individual, consideramos as repostas que nos permitissem identificar indícios de aprendizagem significativa, por meio de relações pertinentes entre os conceitos e as situações que eles representam/significam. Além do mais, sobre esse retrocesso conceitual apresentado pelos dois alunos, ambos com atendimento diferenciado, é importante destacar que, por mais bem intencionados que estivemos ao longo das ações didáticas, muitas vezes podemos não ter dado a atenção necessária para a promoção de uma aprendizagem significativa dos mesmos ou ainda, que eles necessitam de outros tempos e processos.

Dos quatro alunos que tiveram uma evolução conceitual estável (respostas dadas ao longo dos instrumentos indicam um entendimento satisfatório sobre o conceito), mostramos as respostas do aluno **A1**. No questionário de concepções prévias, o mesmo expressou corretamente a relação existente entre temperatura e pressão, bem como o fato de a temperatura corresponder, em estado macroscópico, à medida de quão quente ou frio está um corpo. Também reconhece a temperatura por sua unidade de medida, enquanto expressa que *“calor é energia”*. O aluno ainda reconhece a relação entre a temperatura dos corpos com a energia cinética de suas moléculas, sendo que a *“energia cinética é diretamente proporcional à temperatura”*. Nas questões da prova, o aluno define corretamente que *“a temperatura é a medida do grau de agitação das moléculas de um corpo, de modo que quando um corpo é aquecido, suas moléculas passam a ficar mais agitadas”*.

Na categoria de alunos que apresentaram uma evolução conceitual parcialmente satisfatória foram distribuídos seis alunos e, dentre eles, está o aluno **A5**. Para ele, pressão e

temperatura estão relacionadas, de forma que se a primeira diminui, a segunda também o faz. Porém, associa temperatura à medida do calor dos corpos, no questionário de identificação das concepções prévias. Nas questões introdutórias sobre os conceitos, não expressa de maneira relevante o seu entendimento a respeito da temperatura, mas relaciona corretamente a dependência desta com a energia cinética das moléculas do corpo. No último instrumento desse bloco (prova), exterioriza de maneira coerente que a temperatura está associada à “*sensação de quente ou frio*” que sentimos quando tocamos em um corpo, ainda que se deva analisar com cuidado essa afirmação, mas não dá conta de relacionar a agitação das moléculas de um corpo quando este é aquecido.

Os demais quinze alunos exibiram uma evolução conceitual satisfatória sobre temperatura, tal como o aluno **A24** que, no questionário de identificação das concepções prévias assinalou incorretamente que a água sempre ferve à mesma temperatura e que esta se refere à medida do calor de um corpo. Nos questionamentos introdutórios, não podemos inferir, a partir da quarta questão qual a compreensão que o aluno tem sobre temperatura, uma vez que afirma apenas que essa grandeza “*se remete ao ambiente*”. Por outro lado, expressa corretamente a relação entre temperatura e energia cinética, afirmando que “*a temperatura da amostra de hidrogênio será de 546K, pois ela irá dobrar em proporção à energia*”. Suas asserções na prova indicam uma evolução satisfatória, por exemplo, quando afirma que a “*temperatura é a grandeza que mede o grau de agitação das moléculas de um corpo*” e que “*quando a temperatura de um corpo aumenta, suas moléculas irão se mover rapidamente*”, o que corresponde à definição cientificamente aceita para o conceito.

Com exceção dos alunos que apresentaram um retrocesso conceitual, podemos afirmar que os demais deram indícios de terem aprendido significativamente pelo fato de terem feito uso de significados claros, precisos e diferenciados, algumas vezes reinterpretados com suas palavras para explicarem as questões; por terem demonstrado aquisição, elaboração e qualificação do conceito, num processo interativo com outros conceitos, como o de energia cinética, por exemplo; além de fornecerem detalhes em termos do conceito construído frente às ideias já estabelecidas (MOREIRA; MASINI, 1982; SOBIECZIAK, 2017).

5.1.3 O conceito de energia interna

O conceito de energia interna se relaciona diretamente com a temperatura, de modo que sempre que houver variação de temperatura de um corpo, haverá variação de sua energia interna (PIETROCOLA et al., 2016). Porém, corpos com mesma temperatura podem ter

diferentes valores de energia interna, uma vez que esta também é dependente da quantidade de matéria que constitui o corpo (MARQUES; ARAÚJO, 2009). Na nossa investigação, abordamos as relações entre energia interna, temperatura e calor sem avançarmos às leis da termodinâmica. Ao contrário, estivemos preocupados em construir uma significação clara desses conceitos para que depois, no estudo da termodinâmica, os alunos tivessem os subsunçores relevantes para uma aprendizagem significativa.

Assim, a definição de energia interna que buscamos construir é a de que ela corresponde à soma das energias cinéticas de todos os átomos e moléculas que constituem um corpo, acrescida da soma de todas as energias potenciais decorrentes das interações entre essas partículas (YOUNG; FREEDMAN, 2008). Nesse caso, usamos o termo *corpo* ao invés de *sistema*, em função da complexidade inerente à significação deste último, num momento em que os estados e processos termodinâmicos não correspondem ao foco da nossa investigação. Contudo, conduzimos as discussões de modo a tornar explícito o fato de as variáveis externas ao corpo não influenciarem no valor de sua energia interna.

Ainda que a relação entre calor, temperatura e energia interna pareça simples, o próprio significado de energia interna é complexo, uma vez que, mesmo sabendo de sua associação com o número de moléculas que constituem um corpo e ao seu grau de agitação molecular, ela não pode ser medida diretamente. Disso decorre o fato de os alunos precisarem aceitar a existência de uma energia que não pode ser vista nem sentida, mas que é determinada indiretamente pela variação de temperatura (HÜLSENDEGER et al., 2006).

Na análise da evolução conceitual dos alunos acerca da energia interna serão consideradas quatro perguntas: duas do questionário de identificação das concepções prévias (questões dez e doze, respondidas por vinte e nove alunos), uma das questões introdutórias acerca da física térmica (questão sete, também respondida por vinte e nove alunos) e uma questão da prova (questão onze, da qual temos as respostas de vinte e sete alunos).

Questão 10 (II): a energia interna de um corpo pode ser associada com:

- A. Calor.
- B. Energia cinética de átomos ou moléculas.
- C. Energias potenciais de átomos ou moléculas.

A maior parte dos alunos (dezesseis) assinalou, incorretamente a letra A, corroborando os resultados apresentados por Sözbilir (2003) e Barreto et al. (2014), que a energia interna

corresponde ao calor do corpo. Outros oito alunos assinalaram somente a letra B, enquanto os demais assinalaram somente a afirmativa C. Como não informamos aos alunos que podia haver mais de uma alternativa correta (neste caso, B e C), como forma de gerar novos questionamentos, ao longo das discussões em sala de aula fomos explicitando e diferenciando a definição de energia interna, acompanhando a evolução conceitual dos alunos.

Questão 12 (II): o que acontece quando colocamos um termômetro, em um dia de temperatura ambiente igual a 21°C, em água a uma temperatura mais elevada?

- A. A temperatura e a energia interna do termômetro aumentam.
- B. A temperatura do termômetro aumenta, mas sua energia interna permanece constante.
- C. Nem a temperatura do termômetro e nem sua energia interna se modificam; apenas a coluna do líquido termométrico se dilata.

Sendo a energia interna associada à temperatura dos corpos (HÜLSENDEGER et al., 2006), doze alunos assinalaram a letra A, que mostra adequadamente essa associação. Por outro lado, seis alunos acreditam que apenas a temperatura do termômetro aumenta (letra B), o que demonstra que não fazem a associação entre esses dois conceitos. Os outros onze alunos assinalaram a letra C, indicando que nem a temperatura e nem a energia interna do termômetro se alteram quando o mesmo é colocado em água a uma temperatura mais alta.

Depois de identificadas as concepções prévias dos alunos e de uma breve discussão sobre o conceito, os mesmos, em pequenos grupos, deveriam construir uma definição para a energia interna, fazendo convergir os seus entendimentos individuais.

Questão 07 (I2): o que vocês entendem por energia interna? Todos os corpos possuem esse tipo de energia?

Essa questão foi composta de duas perguntas como forma de fazer com que os alunos expressassem seus pontos de vista de modo mais explicativo, evitando, assim, respostas diretas. Os grupos se compuseram da seguinte forma: grupo G1: alunos A20, A22, A25 e A26; grupo G2: alunos A14, A15, A19 e A24; grupo G3: alunos A10, A13, A18 e A28; grupo G4: alunos A3, A6, A7 e A27; grupo G5: alunos A5, A8, A9, A11, A17; grupo G6: alunos A1, A12, A21 e A29 e; grupo G7: alunos A2, A4, A16 e A23.

Referente à segunda parte da questão, os grupos **G1**, **G2**, **G5**, **G6** e **G7** afirmaram que todos os corpos possuem energia interna. Desses, os alunos do grupo **G2** justificam que “*todos corpos possuem energia interna pois todos possuem moléculas que se movimentam, embora essa movimentação varie de um corpo para outro*”. Já o grupo **G3** afirma que este tipo de energia “*não está presente em todos os corpos*”, enquanto os alunos do grupo **G4** acreditam que ela está “*presente em todos os corpos que possuem calor*”, indicando uma comparação inadequada entre estes conceitos.

Numa tentativa de defini-la, o grupo **G2** argumenta que a “*energia interna é a energia gerada pela movimentação das moléculas internas de cada corpo*”, o que é adequado cientificamente, haja vista que ela não inclui as interações entre as moléculas do corpo e sua vizinhança (YOUNG; FREEDMAN, 2008). Em contrapartida, os grupos **G5** e **G7** salientam inadequadamente que a energia interna corresponde ao calor, novamente confirmando os resultados apontados por Sözbilir (2003) e Barreto et al. (2014).

Sobre como se comporta a energia interna, os alunos do grupo **G4** destacam que ela “*é fixa*”, sem detalhar o que querem dizer com essa expressão. Já o grupo **G1** externaliza que este tipo de energia “*não é transmitida*”, o que pode dar um indicativo incorreto, se estiver se referindo a um determinado valor (fixo), mas, por outro lado, é verdadeiro do ponto de vista de que seu valor é modificado em função de outras trocas de energia, como calor, por exemplo. Esse mesmo raciocínio pode ser empregado à resposta do grupo **G6**, o qual considera que ela “*é intransferível*”. Porém, este grupo acredita que “*ela é influenciada por fatores externos*”, o que não é aceito cientificamente.

O conceito foi retomado na prova, em uma questão elaborada de forma direta, dando margem para que os alunos o relacionassem com outros conceitos, como temperatura e calor.

Questão 11 (I3): a que corresponde a energia interna de um corpo?

As respostas dadas por vinte e sete alunos foram categorizadas da seguinte forma:

As respostas coerentes do ponto de vista científico, externalizadas por quatro alunos, indicam um entendimento mais próximo do aceito cientificamente, que a energia interna corresponde à soma das energias dos movimentos das moléculas de um corpo, sem considerar a interação com o que está fora dele. A resposta dada pelo aluno **A3** ilustra isso, ou seja, a “*energia interna é a energia que vem das moléculas, em movimento dentro do corpo*”. Da

mesma forma, o aluno **A19** externaliza que “*a energia interna corresponde a soma de todas as energias de um corpo, internamente*”.

Dezesseis alunos expressaram suas respostas de forma parcialmente coerentes do ponto de vista científico. O aluno **A5**, por exemplo, afirma que a energia interna é “*a soma de todas as energias do corpo*”; o aluno **A18**, argumenta que a “*energia interna é a soma de todas as energias de um corpo (cinética, potencial)*”; já o aluno **A9** externaliza que “*a energia interna são todas as energias de um corpo*”. Como se percebe, essas respostas não apontam a independência da energia interna com fatores externos ao corpo. Nesta mesma categoria aparece o aluno **A1**, que mostrou um entendimento estável sobre a transmissão da energia interna (da mesma forma como apontado na questão anterior). Ele afirma que a “*energia interna de um corpo vem a ser uma energia da qual não é possível transferir de um corpo para outro. É uma energia fixa*”, o que nos leva a duas possibilidades de compreensão: que ela é fixa no sentido de não sofrer variação (incorreto do ponto de vista científico); ou que é modificada por meio de trocas de energia na forma de calor (o que é correto), ou seja, da mesma forma que a temperatura não é trocada entre corpos, a energia interna também não o é, embora possam sofrer variação (HÜLSENDEGER et al., 2006).

Os demais sete alunos deram respostas incoerentes do ponto de vista científico, de modo que destes, (i) quatro descreveram a energia interna como sendo a temperatura do corpo, ou seja, ela “*corresponde a temperatura que um corpo se encontra*” (aluno **A4**); (ii) dois relacionaram energia interna ao calor, que “*o calor corresponde à energia interna de um corpo*” (aluno **A2**) e; (iii) o aluno **A21** apenas mencionou um símbolo arbitrário utilizado para se referir à energia interna, “*o K_i* ”. No caso deste último aluno, em função de o mesmo apresentar um pensamento mais concreto, é importante considerar que a argumentação sobre um conceito imaterial é prejudicada, o que nos indica um cuidado maior na apresentação deste tipo de questão em outros instrumentos.

Uma vez que a transferência de energia térmica entre corpos envolve o entendimento do conceito de energia interna e sua modificação em função dessa transferência, é igualmente necessário para a assimilação da energia interna um conhecimento da constituição molecular da matéria, do conceito microscópico de temperatura, bem como das várias formas de energia associadas à estrutura molecular (VAZQUEZ DIAZ, 1987). A compreensão desses conceitos, contudo, muitas vezes acaba sendo incompleta pelo fato de os alunos precisarem confiar naquilo que diz o professor ou os materiais instrucionais acerca do universo atômico e suas interações, que são invisíveis a eles (HÜLSENDEGER et al., 2006).

Assumindo a complexidade que envolve a compreensão do conceito, bem como o fato de termos nos limitado ao seu estudo introdutório, foi possível classificar a evolução conceitual dos vinte e seis alunos que responderam todas as questões analisadas em quatro categorias, conforme Tabela 11: satisfatória, parcialmente satisfatória, insatisfatória e estável. Apresentamos, a seguir, as respostas dadas por um aluno para ilustrar cada categoria.

Tabela 11 – categorização da evolução conceitual dos alunos sobre a energia interna.

Satisfatória	Parcialmente Satisfatória	Insatisfatória	Estável
A3, A7 e A15.	A5, A6, A8, A9, A14, A17, A22, A24, A27, A28 e A29.	A1, A2, A4, A10, A11, A12, A13, A18, A21, A25 e A26.	A19.

Fonte: Autor (2018).

O aluno **A19**, classificado na categoria evolução conceitual estável, apresentou desde o início, concepções aceitas cientificamente acerca da energia interna. Ainda que tenha assinalado corretamente que a energia interna está relacionada somente à energia cinética dos átomos ou moléculas, externaliza a relação proporcional entre temperatura e energia interna no questionário de identificação das concepções prévias. Depois, nas questões introdutórias, o grupo do qual o aluno fez parte elaborou que a “*energia interna é a energia gerada pela movimentação das moléculas internas de cada corpo. Todos corpos possuem energia interna pois todos possuem moléculas que se movimentam, embora essa movimentação varie de um corpo para outro*”. Essa afirmação exprime um indicio de aprendizagem significativa pelo desenvolvimento, elaboração e diferenciação do conceito (MOREIRA; MASINI, 1982). Na questão da prova, o aluno destacou que “*a energia interna corresponde a soma de todas as energias de um corpo, internamente*”, o que pode indicar, implicitamente, que ele considera a energia interna como dependente apenas dos fatores internos ao corpo, o que é coerente.

Dentre os onze alunos que apresentaram uma evolução conceitual insatisfatória, destacamos o aluno **A13**. Entendendo que a energia interna está associada ao calor, ele não percebe a relação existente entre o aumento da temperatura com o respectivo aumento da energia interna do corpo, como indicado nas questões que buscavam identificar as ideias prévias. Nas questões introdutórias, sua resposta classifica a energia interna como a “*energia que está presente dentro dos corpos, não está presente em todos*”, não demonstrando um entendimento claro sobre o conceito. Já na prova, o aluno externaliza que a energia interna

corresponde à “*soma de todas as energias do corpo*”, novamente demonstrando lacunas na compreensão do conceito. Das respostas dadas pelo aluno, consideramos que o mesmo apresenta uma evolução conceitual insatisfatória na medida em que não relaciona a energia interna com a temperatura dos corpos e nem externaliza o fato de as variáveis externas aos corpos não influenciarem no valor de sua energia interna.

Onze alunos apresentaram uma evolução conceitual parcialmente satisfatória, como ilustrado pelo aluno **A6**. Este externaliza, no questionário de concepções prévias, a energia interna como uma relação ao calor, corroborando ideias de Grings et al. (2006, 2008). Além disso, inicialmente não conseguiu relacionar de maneira correta a relação entre um acréscimo de temperatura com o aumento da energia interna. Essas respostas foram novamente dadas nas discussões ocorridas no grupo do qual o aluno fez parte, o qual afirma que “*energia interna é a energia fixa que está presente em todos os corpos que possuem calor*”. Contudo, a resposta que o aluno deu na prova, é que a energia interna é “*a soma de todas as energias de um corpo: cinética, térmica, eletromagnética, elástica, dentre outras*”. A diferença desta categoria com a anterior, é que nesta os alunos, ainda que implicitamente, compreendem a energia interna como dependente apenas das energias associadas à interação molecular.

As respostas dadas pelo aluno **A15** ilustram a categoria dos três alunos que apresentaram uma evolução conceitual satisfatória. No começo, ele relacionou corretamente a energia interna à energia cinética de átomos ou moléculas, mas não o fez com a energia potencial dessas partículas. Também, não expressou corretamente a relação entre o acréscimo de temperatura e o consequente aumento da energia interna. A resposta de seu grupo frente o que entendem por energia interna e se todos os corpos possuem esse tipo de energia, teve um avanço considerável, uma vez que destacam que “*energia interna é a energia gerada pela movimentação das moléculas internas de cada corpo. Todos corpos possuem energia interna pois todos possuem moléculas que se movimentam, embora essa movimentação varie de um corpo para outro*”. Esse entendimento se torna mais rico e diferenciado, representando um indício de aprendizagem significativa quando, na prova, ele explicita que “*a soma de todas as energias de um corpo corresponde a energia interna, entre essas energias estão a translacional das moléculas, cinética, rotacional, etc*”. Estes alunos foram categorizados como tendo uma evolução conceitual satisfatória em função de relacionarem a energia interna com a temperatura dos corpos e externalizarem o fato de as variáveis externas aos corpos não influenciarem no valor de sua energia interna.

Como já explicitado, não estivemos preocupados em aprofundar o conceito de energia interna nessa primeira parte do trabalho, mas sim de relacioná-la à temperatura. Para isso, por

mais que não tenhamos adentrado na definição de *sistema*, buscamos deixar claro, nas nossas discussões, o fato de esta grandeza estar relacionada somente às interações das moléculas internas ao corpo, desprezando a interação destas com o que está fora do mesmo.

Porém, este conceito foi o de mais difícil entendimento para os alunos, o que pode ser resultado do mesmo não poder ser medida diretamente. Porém, a evolução conceitual atingida por um número significativo de alunos (dezesseis) demonstra um ancoradouro válido para a sistematização das leis da termodinâmica, uma vez que estes fizeram associação entre energia interna e energia das moléculas do corpo, sendo um facilitador para a compreensão da energia interna como uma energia de movimentação e interação molecular (SILVA, 1999).

5.1.4 Considerações sobre o primeiro bloco

Avaliando os três primeiros instrumentos relativos aos conceitos de calor, temperatura e energia interna, ainda que tenhamos tido evidências de aprendizagem significativa dos alunos para os conceitos, fica clara a dificuldade dos mesmos em diferenciá-los, o que pode ser resultado das magnitudes que os mesmos representam, ou seja, enquanto a temperatura e a energia interna representam o estado de um corpo ou sistema, o calor mede as mudanças sofridas por estes, que pode induzir a temperatura como uma mistura de calor e frio (tidos como opostos) ou ainda, como uma medida do calor (POZO; CRESPO, 2009).

A linguagem da ciência, ao mesmo tempo em que pode representar um obstáculo para a aprendizagem dos conhecimentos científicos, também media a geração de pensamento dos alunos (QUÍLEZ-PARDO, 2016). Isso nos dá um indicativo de que a forma como nos expressamos, bem como aquela apresentada pelos livros podem resultar em uma compreensão equivocada acerca dos conceitos estudados.

O conceito de energia interna foi o de mais difícil entendimento por parte dos alunos, fato este que pode estar relacionado com a abstração do conceito e com a própria conceitualização de energia, que ganha significados diferentes de acordo com a situação estudada e com o fenômeno envolvido. Para avançarmos na discussão desse conceito, um caminho a ser traçado é o uso de analogias, que ajudam a fazer a mediação no processo de aprendizagem de conceitos desconhecidos, por meio de estabelecimento de relações de semelhança e diferença com situações familiares (ZAMBON; TERRAZZAN, 2013).

Foi possível identificar uma aprendizagem significativa dos alunos na medida em que ficou perceptível uma evolução para os conceitos, tal qual apontada por Pozo e Crespo (2009) e detalhada na Tabela 12. Os fatos e dados dos quais o aluno parte e que o levam a adotar

determinadas crenças são acumulados em sua relação com o mundo que os rodeia ou ainda de conhecimentos que recebem na escola.

Para poderem explicar as mudanças que a matéria sofre, os alunos estabelecem relações entre os estados inicial e final do processo, de modo que, quando se trata do calor, ele desempenha, em alguns casos, o papel de agente da mudança. Como estágio de alfabetização científica, o ensino da física busca construir uma visão em termos da interação entre corpos ou sistemas, necessária para compreender e diferenciar entre energia, calor e temperatura.

A evolução conceitual dos alunos se encaixa na distribuição proposta por Pozo e Crespo (2009) (Tabela 12) uma vez que, suas respostas, se inicialmente explicitavam calor como sinônimo de temperatura ou como uma substância fluida que transita entre os corpos, progrediram a um entendimento de que o calor é uma energia transferida entre corpos, até a compreensão mais completa cientificamente de que o calor corresponde a uma energia transferida entre dois corpos interagentes em função de uma diferença de temperatura entre eles. A Tabela 13 mostra o número de respostas dadas pelos alunos, nas diferentes questões, nos três instrumentos analisados, para o conceito de calor.

Tabela 12 – interação e energia: da teoria dos alunos às teorias científicas.

Fatos e dados dos quais o aluno parte	Causalidade linear e unidirecional	Interação e sistemas
O calor é algo material e tem uma “substância oposta”: o frio.	O calor é o agente causador da mudança que vai de um corpo para outro.	Calor é a energia transferida entre dois corpos ou sistemas que interagem, como resultado de uma diferença de temperatura.
Calor e temperatura são a mesma coisa.	Existe uma relação linear entre calor e temperatura.	Temperatura é uma medida da energia cinética média das partículas que formam um corpo ou sistema.
A temperatura de um corpo depende de suas características macroscópicas.	A energia é transferida do corpo que tem mais energia para o que tem menos.	A energia é transferida sempre do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura.

Tabela 13 – respostas dos alunos para a conceitualização do calor.

Instrumento 1	Instrumento 2	Instrumento 3
Calor é uma propriedade dos corpos (20 respostas)	Calor é uma propriedade dos corpos (18 respostas)	Calor é uma propriedade dos corpos (02 respostas)
	Calor é energia em trânsito quando existe diferença de temperatura (13 respostas)	Calor é energia em trânsito quando existe diferença de temperatura (40 respostas)
Calor é energia em trânsito (09 respostas)	Calor é energia em trânsito quando existe diferença de energia (08 respostas)	Calor é energia interna (03 respostas)
	Calor é energia (09 respostas)	Calor é transferência de temperatura (04 respostas)
-	Calor é sensação térmica (05 respostas)	Calor é sensação térmica (02 respostas)
-	Calor é temperatura (04 respostas)	Calor é temperatura (03 respostas)

Fonte: Autor (2018).

Da mesma forma que para o conceito de calor, a Tabela 14 mostra a evolução das respostas dos alunos ao longo dos instrumentos para o entendimento acerca da temperatura, de modo que a percepção final da maior parte deles é que a temperatura representa a medida da energia cinética média das partículas que constituem o corpo, representando um indicativo de aprendizagem significativa para o conceito.

Como destacado anteriormente, a energia interna ainda é confusa para os alunos, indicando uma dificuldade de compreensão dessa grandeza abstrata, mas que é relacionada à temperatura e ao tamanho dos corpos. A Tabela 15 mostra as repostas dos alunos, ao longo dos três instrumentos por ora analisados, demonstrando seus entendimentos acerca do conceito.

Tabela 14 – respostas dos alunos para a conceitualização da temperatura.

Instrumento 1	Instrumento 2	Instrumento 3
A temperatura varia com a altitude (16 respostas)	A temperatura é medida em graus (05 respostas)	A temperatura é medida em graus (02 respostas)
Temperatura é calor (15 respostas)	-	Temperatura é calor (05 respostas)
A temperatura é associada à sensação de quente ou frio (08 respostas)	-	A temperatura é associada à sensação de quente ou de frio (04 respostas)
A temperatura é proporcional à energia cinética dos átomos (05 respostas)	A temperatura é proporcional à energia cinética dos átomos (29 respostas)	A temperatura é proporcional à energia cinética dos átomos (43 respostas)

Fonte: Autor (2018).

Tabela 15 – respostas dos alunos para a conceitualização da energia interna.

Instrumento 1	Instrumento 2	Instrumento 3
Energia interna é calor (16 respostas)	Energia interna é calor (09 respostas)	Energia interna é calor (03 respostas)
Energia interna é associada à energia cinética dos átomos (08 respostas)	Energia interna é associada à energia cinética dos átomos (04 respostas)	Energia interna é associada à energia cinética dos átomos (07 respostas)
Energia interna são as energias potenciais de átomos (05 respostas)	Todos os corpos possuem energia interna (21 respostas)	Energia interna é a soma de todas as energias do corpo (16 respostas)
Energia interna é proporcional à temperatura (12 respostas)	Energia interna é fixa (04 respostas)	Energia interna é temperatura (04 respostas)
Energia interna é independente da temperatura (17 respostas)		

Fonte: Autor (2018).

As respostas mostradas nas Tabelas 13 a 15 indicam uma aprendizagem significativa dos alunos sobre os conceitos analisados em função de estes apresentarem significados claros e transferíveis, sendo diferenciados em termos de detalhe e especificidade, incorporados à estrutura cognitiva dos alunos a partir de interações com suas concepções prévias, o que resultou na aquisição de novos significados (SOBIECZIAK, 2017).

A seguir, apresentamos os resultados obtidos a partir dos dados coletados com os instrumentos do segundo bloco (**I4** e **I5**), de modo que os conceitos analisados até aqui se entrelaçam no entendimento de outros.

5.2 SEGUNDO BLOCO DE INSTRUMENTOS

Apresentamos nesse segundo bloco, os resultados alcançados com a construção do forno solar (**I4**) por meio da proposta interdisciplinar, bem como da elaboração dos mapas conceituais (**I5**), a partir do estudo dos conceitos necessários à construção do forno.

5.2.1 O forno solar¹⁶

Desde o planejamento das atividades que compuseram a proposta de construção do forno até os assessoramentos e avaliação dos resultados alcançados, assumimos uma postura condizente com Vergnaud (1998), que os professores são mediadores e seu papel consiste essencialmente em ajudar os alunos a desenvolverem seus repertórios de esquemas e representações, sendo a primeira ação de mediação a seleção das sete situações norteadoras.

Não necessariamente o estudo das situações aconteceu na sequência apresentada, o que indica um caminho para favorecer a interdisciplinaridade. Também, algumas delas não foram trabalhadas com detalhes por uma disciplina, uma vez que a outra estava abordando-as com mais ênfase. Exemplo disso são aquelas que envolvem os processos de propagação de energia na forma de calor (segunda, quarta e quinta situações), que foram mais aprofundados por conforto, enquanto o estudo das trocas de calor sensível e latente (primeira e sexta situações) foi intensificado nas aulas de física.

Considerando os roteiros produzidos e as apresentações dos resultados obtidos, foi possível identificar o entendimento teórico dos alunos, ao menos de modo parcial, para a abordagem das situações. Com base nesses materiais, bem como nos registros feitos no diário

¹⁶ O resultado do estudo piloto foi publicado em SILVA, J. C.; ROTTA, R.; GARCIA, I. K. O forno solar como ponte entre a física e o conforto das edificações. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 35, n. 2, 2018.

de bordo, elencamos os conceitos mais diretamente aplicados ao forno e as correspondentes justificativas dos alunos para a exploração dos mesmos. Os grupos de trabalho se organizaram da seguinte forma: grupo **G1**: alunos **A15**, **A16**, **A19** e **A24**; grupo **G2**: alunos **A20**, **A25** e **A26**; grupo **G3**: alunos **A14**, **A18** e **A21**; grupo **G4**: alunos **A3**, **A10**, **A13** e **A28**; grupo **G5**: alunos **A6**, **A7**, **A12** e **A27**; grupo **G6**: alunos **A1**, **A8**, **A17**, **A22** e **A29**; grupo **G7**: alunos **A2**, **A4**, **A23** e **A30**; grupo **G8**: alunos **A5**, **A9** e **A11**.

Cabe salientar que os grupos **G2**, **G3**, **G4** e **G8** têm, cada um, um aluno que não entregou o termo de consentimento livre e esclarecido devidamente assinado e, em função disso, não aparece identificado no grupo. Porém, entendemos que as respostas dadas, ao mesmo tempo em que correspondem ao coletivo, representam o entendimento individual dos sujeitos. Em razão disso utilizamos os argumentos descritos pelos grupos, suprimindo aqueles alunos que não nos autorizaram a utilizar seus dados.

Quando da explicação sobre o andamento do trabalho envolvendo a construção do forno, no encontro 10 (aula do dia 06.04.17), dois questionamentos notáveis feitos pelos alunos foram: “*professor, o forno serve pra alguma coisa ou só para botar a gente construir mesmo?*” (aluno **A7**) e “*a gente não vai ter conteúdo agora, porque nas situações que vocês falaram não tem conteúdo?*” (aluno **A23**). A partir desses, discorremos sobre a aplicação do conhecimento em situações práticas, que têm influência direta na atuação profissional e para mostrar que os conteúdos podem ser estudados de forma diferente daquela tradicional. Além disso, elucidamos que a base constitutiva de cada situação norteadora inclui pelo menos um conceito importante que será sistematizado a partir das respostas trazidas por eles.

Um primeiro conceito abordado nas situações norteadoras e considerado na construção do forno foi o de **isolante térmico**, uma vez que, para o forno ter seu funcionamento semelhante aos demais, o seu interior deve manter uma temperatura “alta” em relação ao exterior. Dessa forma, os materiais escolhidos para a construção dos protótipos deveriam garantir um bom isolamento térmico. A Tabela 16 mostra algumas justificativas dadas pelos alunos para a seleção dos materiais utilizados para esse fim.

Tabela 16 – falas dos alunos para justificar a escolha dos materiais que garantem o isolamento térmico do forno solar.

Grupo	Conceito: isolante térmico
G1	<i>Usamos o isopor porque demora mais para perder calor; O que define se um material é bom condutor de calor são seus elétrons livres,</i>

por isso os metais são bons condutores de calor;

O material onde o processo de condução é muito lento é chamado de mau condutor ou isolante;

O papelão foi escolhido por ser um mau condutor térmico, ou seja, ele irá demorar mais para armazenar calor, mas também vai demorar para perde-lo.

Escolhemos madeira por ter calor específico de 0,6, o que faz com que ela não perca calor tão rápido;

G2 *O isopor é um mau condutor térmico, porque tem bolsas de ar e evita o processo de condução térmica;*

Com as vedações bem feitas, dentro da caixa se forma calor.

Usamos papelão e isopor para reter o calor no forno;

G3 *O Isopor atrasa a saída do calor pelas laterais (Retenção do Calor) devido ao seu alto calor específico, assim, mantemos o calor onde ele é desejado.*

Utilizamos a madeira porque tem a função de isolamento térmica;

Utilizamos o isopor, que impede trocas de calor com o ambiente;

Usamos serragem que é quase melhor que a madeira, porque pode ter ar entre seus pedaços;

G4 *Para evitar que aconteçam trocas de energia entre o interior do forno, e o ambiente, foi utilizado isopor na parte superior do forno;*

Com o isopor e a madeira agindo como isolantes, a perda de calor não acontecerá, assim ficando armazenado no interior do forno.

Usamos madeira que tem coeficiente de baixa condutibilidade térmica;

Usamos também isopor como isolante térmico e não deixa o calor sair;

G5 *Nosso forno tem os três processos de propagação do calor, porque esse ferro embaixo esquenta a água por condução [...] como é um bom condutor, primeiro ele baixa a temperatura da água, mas depois que ele esquenta, transfere energia mais rápido para a água.*

A madeira tem baixa condutividade e ela mantém o calor e é bom isolante;

A gente usou jornal que não deixa o calor de dentro tenha contato com o

G6 *meio de fora e usamos picado porque tem maior contato de ar para isolar;*

Ambos os materiais, isopor e jornal são ótimos isolantes térmicos, fazendo com que a temperatura interna não se dissipe para o meio externo.

G7 *A gente usou uma caixa de isopor, que já é bem vedada e o isopor isola bem*

o interior do forno;

A caixa a gente cortou porque ia ter muita sombra;

O isopor contém numerosas porções de ar e o ar, é um excelente isolante térmico;

Fenômeno semelhante acontece nos tijolos na parede das casas: o que funciona como isolante térmico ali [...] é o ar aprisionado lá dentro;

Em lugares frios, constróem-se janelas com vidro duplo [...] por causa do ar que fica aprisionado entre as placas de vidro.

Usamos papelão porque sua condutividade é baixa;

Para reduzir a sombra, a gente forrou a caixa com isopor;

G8 *Foi utilizada uma caixa de papelão na parte externa e uma caixa de isopor na parte interna, além de camadas extras de isopor no interior;*

O isopor tem baixa condutibilidade térmica (0,025).

Fonte: materiais produzidos pelos alunos.

Para conseguirem um bom isolamento térmico, ou seja, “para evitar que aconteçam trocas de energia entre o interior do forno, e o ambiente” (grupo **G4**), todos os grupos escolheram utilizar isopor, uma vez que ele tem “baixa condutibilidade térmica” (grupo **G8**). Justificando com mais detalhes essa escolha, o grupo **G1** afirmou que “o que define se um material é bom condutor de calor são seus elétrons livres, por isso os metais são bons condutores de calor e o material onde o processo de condução é muito lento é chamado de mau condutor ou isolante”, ou seja, esses alunos fazem uma associação da estrutura atômica para classificar os materiais em bons ou maus condutores de energia na forma de calor, o que representa um indício de aprendizagem significativa subordinada (AUSUBEL, 2003).

Com maior riqueza de detalhe e especificidade, demonstrando posse de significados claros, precisos e diferenciados (SOBIECZIAK, 2017), quatro grupos indicaram o fato de o isopor ter bastante ar na sua constituição, o que “evita o processo de condução térmica” (grupo **G2**), em função de o ar ser “um excelente isolante térmico” (grupo **G7**). Também, os alunos do grupo **G6** decidiram usar ainda jornal para ajudar no isolamento e o usaram “picado porque tem maior contato de ar para isolar”. Já o grupo **G4** utilizou também a serragem, a qual “é quase melhor que a madeira, porque pode ter ar entre seus pedaços”.

O grupo **G7**, indo além do forno solar, trouxe, para as edificações, aplicações do ar como isolante térmico, tal como “acontece nos tijolos na parede das casas: o que funciona

como isolante térmico ali não é o barro dos tijolos, e sim o ar aprisionado lá dentro e em lugares frios, constróem-se janelas com vidro duplo [...] por causa do ar que fica aprisionado entre as placas de vidro”. Respostas como essa, além de representarem indícios de aprendizagem significativa, reafirmam nossa proposta de trabalho interdisciplinar, o qual, por meio de ações cooperativas e de transferência de significados entre os professores, ajuda e motiva os alunos a construírem o conhecimento de forma integral, diminuindo as barreiras entre as disciplinas.

Ainda sobre a utilização do isopor para vedação do forno, enquanto os demais grupos o utilizaram em chapas associadas às estruturas feitas em madeira ou papelão, os grupos **G7** e **G8** usaram uma caixa de isopor pronta, o que garante o acabamento em termos de vedação. Além disso, como compraram caixas com altura considerável, diminuíram o tamanho dessa dimensão a fim de reduzir a sombra no interior do forno, o que ratifica a importância dos assessoramentos, momentos nos quais, os professores faziam apontamentos acerca dos projetos e da construção dos protótipos.

As Figuras 1 e 2, apresentadas a seguir, mostram o isolamento térmico dos fornos solares feito com isopor, respectivamente, pelos grupos **G4** e **G8**. A primeira delas ilustra a utilização do isopor para o isolamento de uma caixa de madeira; já a segunda mostra uma caixa de isopor como estrutura do forno.

Figura 1 – isolamento térmico do forno solar construído pelo grupo **G4**.



Fonte: alunos do grupo **G4**.

Figura 2 – isolamento térmico em isopor do forno solar do grupo **G8**.



Fonte: alunos do grupo **G8**.

Atribuindo ao calor específico das substâncias a propriedade que define um isolante ou condutor térmico, o grupo **G3** justificou que o isopor possui alto valor de calor específico, dado este que é impreciso, podendo ser incorreto, pois não esclarece um padrão de comparação. Para ilustrar isso, tomemos como referência o valor do calor específico da água, de $1\text{cal/g}^{\circ}\text{C}$; como o calor específico do isopor fica entre $0,32$ e $0,35\text{cal/g}^{\circ}\text{C}$, este é um valor baixo em relação à água.

Também justificando sua escolha em função do calor específico das substâncias, o grupo **G2** utilizou madeira para fazer a casca do forno, uma vez que ela tem “*calor específico de 0,6, o que faz com que ela não perca calor tão rápido*”. Respostas como essas nos apontam a necessidade de mais momentos de estudos coletivos entre os professores, para buscarmos entendimentos semelhantes para os conceitos, evitando, assim, que os alunos tenham visões distorcidas sobre os mesmos.

A relação que os alunos podem ter feito entre calor específico e condutividade térmica é no sentido que, quanto menor o calor específico de um material, menos energia na forma de calor ele precisa para variar sua temperatura; comparando com os condutores, estes conduzem energia na forma de calor mais facilmente, variando sua temperatura mais rapidamente. Em outras palavras, é possível que os alunos tenham, de forma inconsciente, o entendimento que “o calor específico é uma espécie de inércia térmica porque expressa a resistência de uma substância a mudanças em sua temperatura” (HEWITT, 2009, p. 185).

Utilizando argumentos sobre condutores e isolantes térmicos, os alunos do grupo **G5** propuseram um sistema diferenciado de aquecimento da água relativo ao desafio lançado. Para isso, colocaram uma base de ferro no interior do forno e sobre esta, o copo com água. Essa idealização representa um indício de aprendizagem significativa por indicar uma extensão e qualificação dos conceitos a partir de sucessivas interações, resultando em uma diferenciação entre eles, na medida em que os alunos afirmam que o *“forno tem os três processos de propagação do calor, porque esse ferro embaixo esquenta a água por condução [...] como é um bom condutor, primeiro ele baixa a temperatura da água, mas depois que ele esquenta, transfere energia mais rápido para a água”*.

Conforme se percebe da Tabela 16, as justificativas dadas pelos alunos para o isolamento térmico do forno conceituam o calor como substância, tal como retirado dos excertos *“(...) mantemos o calor onde ele é desejado”* (grupo **G3**); *“[...] a perda de calor não acontecerá, assim ficando armazenado no interior do forno”* (grupo **G4**) e; *“[...] não deixa o calor de dentro tenha contato com o meio de fora”* (grupo **G6**). Essas expressões, assim como detalhado nos resultados do primeiro bloco de instrumentos, ilustram as concepções dos alunos acerca do conceito de calor que, apesar de sistematizado, muitas vezes continua representando uma propriedade intrínseca dos corpos.

Sendo o isolamento térmico uma condição essencial para o funcionamento do forno, outros fatores, que incluem a escolha da tinta, o uso de elementos reflexivos e o fechamento com vidro também influenciam diretamente na sua eficiência. Da terceira situação norteadora, analisamos as justificativas dos alunos para os materiais escolhidos em função dos conceitos da **absorvidade e refletividade**.

O início da sistematização dessa situação aconteceu no encontro 13 (aula do dia 20.04.17), momento no qual estivemos os dois professores juntos na sala, em uma aula integrada. Esta foi uma ocasião diferente tanto para nós quanto para os alunos. Alguns alunos nos olhavam disfarçados, enquanto tentávamos nos ajustar nas falas para debatermos as propriedades térmicas dos materiais, como emissividade, absorvidade e refletividade, as quais acontecem na superfície do material. Conforme os conceitos eram discutidos, alguns alunos demonstravam tentativas de relacioná-los com o forno solar. O aluno **A6** perguntou se os *“materiais com alta emissividade mantêm o forno mais aquecido”*, e o aluno **A4**, se *“dá pra usar espelhos dentro do forno”*.

Tentando responder de forma ampla, levantando novos questionamentos, a professora de conforto apresentou exemplos de edificações construídas dentro das normas técnicas que exibem um conforto térmico ideal, destacando o uso de mantas de isolamento, cor de telhado

e câmara de ar. Relacionando esses conceitos com o forno, discutimos brevemente o trabalho de Lima e Amorin (2013), o qual fez estudos comparativos da temperatura de residências (em maquetes) que tiveram seus telhados pintados com cor diferente.

A Tabela 17 apresenta as respostas dos alunos referentes à absorvidade da radiação solar em função da cor da superfície. Como a taxa de absorvidade à radiação corresponde ao quociente entre a radiação solar absorvida por uma superfície e a radiação solar incidente sobre essa superfície, a cor possui papel fundamental para essa propriedade; enquanto a taxa de absorvidade da cor preta é de 97%, a cor branca absorve 20% (DUART et al., 2016). Dessa propriedade, os oito grupos utilizaram a cor preta para fazer a pintura do forno.

Tabela 17 – falas dos alunos para justificar a utilização da cor preta no forno solar.

Grupo	Conceito: absorvidade
G1	<i>Usamos a tinta preta só na caixa interna, porque não faz sentido pintar a de fora de preto, porque o isopor não vai deixar o calor entrar; A tinta preta [...] é para absorção de calor; A cor preta absorve luz solar e converte em radiação infravermelha (não pode ser vista, mas é sentida, na forma de calor).</i>
G2	<i>A caixa de madeira é de cor preta porque absorve mais calor; Fizemos um fundo preto para ter alta absorvidade e pegar mais calor; A cor escura não reflete os raios solares, conseqüentemente absorve mais o “calor” e então a temperatura aumenta.</i>
G3	<i>A gente usou tinta preta porque a tintura preta absorve mais calor; A cor preta o absorve, (absorção do calor).</i>
G4	<i>Pintamos o fundo com tinta preta para obter uma maior absorção.</i>
G5	<i>A tinta preta [...] tem maior capacidade de absorção térmica.</i>
G6	<i>Pintamos de preto [...], pois a cor preta tem uma alta taxa de absorvidade e uma baixa taxa de refletividade, fazendo com que o calor penetre e não reflita de volta para o ambiente.</i>
G7	<i>Pintamos de tinta preta porque o preto tem uma baixa taxa de refletividade, absorvendo bastante o calor do sol [...] fazendo com que quase todo o calor absorvido não escape.</i>
G8	<i>Para uma melhor absorção da radiação solar utilizamos tinta preta para</i>

cobrir o exterior;

A principal característica da tinta preta é a sua ausência de cor que faz com que a radiação solar não seja refletida para o ambiente, mas seja absorvida pela superfície pintada.

Fonte: material produzido pelos alunos.

Com exceção do grupo **G1**, os demais pintaram as faces internas e externas na cor preta. O argumento dado pelos alunos desse grupo é válido, no sentido que “*não faz sentido pintar a (caixa) de fora de preto, porque o isopor não vai deixar o calor entrar*”. Uma vez que existe um isolamento térmico feito com isopor, por mais que a superfície externa da caixa, caso fosse pintada de preto, absorvesse uma maior quantidade de radiação solar, ela não chegaria ao interior do forno.

Ainda que o calor seja encarado como uma substância, os alunos do grupo **G2** relacionaram de forma apropriada o incremento da temperatura em função da absorção da radiação solar, uma vez que “*a cor escura não reflete os raios solares, conseqüentemente absorve mais o “calor” e então a temperatura aumenta*”. Com esta mesma concepção acerca do calor, os alunos dos grupos **G6**, **G7** e **G8** relacionaram pertinentemente que as taxas de absorvidade e refletividade são inversamente proporcionais, tal como expressado pelo grupo **G6**, que “*a cor preta tem uma alta taxa de absorvidade e uma baixa taxa de refletividade, fazendo com que o calor penetre e não reflita de volta para o ambiente*”.

A Figura 3 mostra a pintura feita com tinta preta no forno construído pelo grupo **G6**.

Figura 3 – acabamento externo feito com tinta preta do forno solar construído pelo grupo **G6**.



Fonte: alunos do grupo **G6**.

Sabendo que as taxas de absorvidade e refletividade são inversamente proporcionais e que os materiais empregados no forno devem concentrar a maior parte da radiação em seu interior, por meio da propriedade da refletividade, todos os grupos utilizaram papel alumínio e/ou espelhos, seja no revestimento interno do forno, seja em abas moveáveis (vide Figura 4).

O motivo da escolha de um ou outro material se deu, sobretudo, pelo menor custo e pela estrutura da(s) caixa(s) ser mais ou menos resistente. Como esses materiais diminuem a troca térmica por condução, favorecem que a radiação seja refletida no interior do forno. As respostas dadas pelos alunos para a utilização desses materiais estão compiladas na Tabela 18.

Figura 4 – utilização de abas moveáveis no forno solar construído pelo grupo **G2**.



Fonte: alunos do grupo **G2**.

Tabela 18 – falas dos alunos para justificar a utilização de espelhos e/ou papel alumínio.

Grupo	Conceito: refletividade
G1	<i>O papel alumínio terá a função de refletir os raios solares para o interior do forno, por ter como propriedade a refletividade.</i>
G2	<i>A gente revestiu com papel alumínio por ele absorver calor, refletindo os raios para dentro do forno.</i>
G3	<i>O Alumínio reflete o calor recebido pelo Sol (Irradiação).</i>
G4	<i>Usamos o alumínio para o calor ser direcionado para dentro do forno.</i>
G5	<i>O papel alumínio utilizado proporciona uma reflexão dos raios solares para o centro.</i>
G6	<i>O papel alumínio a gente colocou porque reflete entre eles e mantém o calor</i>

no centro [...] e o espelho foi usado com a mesma função do alumínio.

Os materiais metálicos são ótimos refletores e condutores de luz e calor, fazendo com que os raios de sol sejam refletidos.

G7 *O papel alumínio que a gente colocou é porque ele reflete a radiação de volta pra dentro da caixa, porque é altamente refletor.*

A gente cobriu o isopor com papel alumínio para não passar calor pra fora.

G8 *Cobrimos o interior com papel alumínio para refletir a radiação na direção do alimento que estiver dentro do forno.*

Fonte: materiais produzidos pelos alunos.

Como se percebe na Tabela 18, os alunos do grupo **G2** deram uma resposta ambígua, que pode refletir um não entendimento acerca das propriedades da refletividade e absorvidade. Para eles, o revestimento com papel alumínio ocorreu “*por ele absorver calor, refletindo os raios para dentro do forno*”. Porém, ainda que a justificativa não seja adequada, a utilização do papel alumínio no protótipo cumpriu seu objetivo de manter uma parcela da radiação em seu interior, em virtude de sucessivas reflexões, pelo fato de que “*os materiais metálicos são ótimos refletores e condutores de luz e calor, fazendo com que os raios de sol sejam refletidos de uma parede para a outra*”.

Para os demais grupos, a importância, tanto do papel alumínio como do espelho, reside no fato de eles refletirem “*a radiação de volta pra dentro da caixa, porque é altamente refletor*” (grupo **G7**), no sentido que existe, ainda que imaginário, um concentrador focal, em função de estes materiais proporcionarem “*uma reflexão dos raios solares para o centro*” (grupo **G5**). Essas ponderações demonstram, na sua maioria, uma pertinência entre a refletividade e o efeito causado no interior do forno, o que nos permite afirmar que os alunos fizeram a devida associação, bem como utilizaram os argumentos de que, enquanto a absorvidade é uma função da cor do material e indica o quanto de radiação solar será absorvida, a refletividade, que também depende da cor do material, diz o quanto da radiação incidente será refletida (LAMBERTS et al., 2014). A Figura 5 mostra o acabamento em papel alumínio para o forno solar construído pelo grupo **G5**.

Da mesma forma que explicitado anteriormente, nas justificativas dos alunos para a utilização de materiais reflexivos apareceu a noção de calor como substância (LOUZADA et al., 2015; SILVA et al., 1999; HÜLSENDEGER et al., 2006). Isso novamente reforça a tese

de que os alunos não substituem a forma de se expressarem em um curto intervalo de tempo e que o mais importante é a diferenciação entre os conceitos nos diferentes tipos de situações.

Figura 5 – acabamento em papel alumínio feito no forno solar construído pelo grupo **G5**.



Fonte: alunos do grupo **G5**.

Os alunos se preocuparam em construir um forno com bom isolamento térmico; que o protótipo absorvesse uma parcela significativa da radiação solar, bem como refletisse a maior parte dessa radiação para seu interior. Mas esses materiais, sozinhos, não garantem uma temperatura alta no interior do forno, ainda que em um tempo relativamente curto.

Como é sabido, num dia de verão, ao deixar o carro estacionado ao Sol por um grande intervalo de tempo, não é confortável adentrá-lo para sair dirigindo, em função da alta temperatura em seu interior, efeito este provocado, sobretudo, pelos vidros completamente fechados. A explicação para este efeito, chamado de efeito estufa¹⁷, foi solicitada aos alunos na sétima situação norteadora, como forma de suscitar o debate sobre a utilização excessiva de vidros nas edificações e o contraponto com o aquecimento de um forno solar. A Tabela 19 mostra as justificativas dos alunos para a escolha do vidro como cobertura do forno solar.

Referente ao conforto térmico nas edificações é conveniente considerar que a utilização exacerbada de vidros ocasiona um desconforto térmico, pelo fato de que “a maior parte da radiação solar incidente, que é transmitida pelos vidros, é absorvida pelas superfícies internas e pelos objetos, aquecendo-os. Essas superfícies aquecidas no interior do ambiente emitem radiação de onda longa, a qual não passa pelo vidro” (DUART et al., 2016, p. 179). A

¹⁷ O estudo do efeito estufa foi superficial, o que pode ter deixado lacunas no processo de atribuição de significado pelos alunos. Isso significa que seus entendimentos nem sempre foram externalizados da forma aceita cientificamente, o que pode ser resultado de não termos melhor discutida a sétima situação norteadora.

Figura 6 mostra o forno finalizado, construído pelo grupo **G7**, na qual dá pra perceber o fechamento superior realizado com vidro fumê. O grupo optou pela utilização deste tipo de vidro por ele ser absorvente o que, ao mesmo tempo em que diminui a transmissão da onda curta, aumenta a absorção nesse comprimento de onda, uma vez que “este tipo de material (película ou vidro) é também altamente absorvente à radiação de onda longa e pouco reflexivo tanto à onda longa quanto à onda curta” (LAMBERTS et al., 2014, p. 203).

Tabela 19 – falas dos alunos para justificar a utilização de vidros ou plástico para o fechamento do forno.

Grupo	Conceito: efeito estufa
G1	<i>A gente usou vidro fumê porque ele funciona melhor, porque retém bastante o calor e por isso não é recomendado em edificações; A radiação infravermelha não passa pela tampa de vidro [...] criando, assim, um efeito semelhante ao efeito estufa.</i>
G2	<i>Encaixar a peça de vidro na parte superior como forma de “tampa” para que o calor não “escape” do forno.</i>
G3	<i>O efeito estufa que o vidro faz protege o calor dentro do forno; Usamos vidro como uma tampa, para permitir a entrada de calor na forma de luz solar, mas impedir a saída do calor.</i>
G4	<i>O vidro é colocado na parte de cima, permitindo a entrada dos raios solares, e quando os mesmos se transformam em “calor”, não conseguem atravessar o vidro e voltar para o ambiente; O vidro permite que a radiação entre no forno, mas impede a saída do mesmo na forma de radiação infravermelha.</i>
G5	<i>O vidro não deixa o ar quente sair, sendo [...] o responsável pelo forno ter o funcionamento de uma estufa, pois como é transparente, o vidro proporciona a entrada dos raios solares, porém não deixando que o calor saia.</i>
G6	<i>O vidro liso e transparente não deixa as ondas longas passar de volta, fazendo efeito estufa; [...] os raios solares tem livre passagem para dentro do ambiente, mas o vidro não permite a sua saída, depois de se tornarem ondas longas, mantendo o ambiente superaquecido.</i>
G7	<i>O vidro serve para criar o efeito estufa e esquentar o forno; O forno solar é uma estufa com cobertura transparente para dar passagem</i>

aos raios do sol e impedir que o calor saia.

G8

A tampa de vidro faz com que o ar dentro do forno seja isolado do meio externo fazendo com que sua temperatura aumente;

O forno irá ficar com uma temperatura maior, por causa do seu isolamento causado pelo vidro.

Fonte: material produzido pelos alunos.

Figura 6 – forno solar construído pelo grupo **G7**, com fechamento superior com vidro fumê.



Fonte: alunos do grupo **G7**.

Os demais grupos optaram por utilizar vidro transparente como fechamento superior do forno, como mostrado na Figura 7, o que, em função de sua “alta absorvidade à onda longa causa o fenômeno conhecido por efeito estufa. Em outras palavras: uma vez transmitido para dentro, o calor encontra dificuldades em sair pelo vidro, sendo então acumulado no ambiente interior” (LAMBERTS et al., 2014, p. 202). Destacamos aqui as respostas dadas por dois grupos que corroboram essa citação: para o grupo **G5**, “o vidro não deixa o ar quente sair, sendo [...] o responsável pelo forno ter o funcionamento de uma estufa, pois como é transparente, o vidro proporciona a entrada dos raios solares, porém não deixando que o calor saia”; de forma semelhante, o grupo **G6** explicita que “o vidro liso e transparente não deixa as ondas longas passar de volta, fazendo efeito estufa; [...] os raios solares tem livre passagem para dentro do ambiente, mas o vidro não permite a sua saída, depois de se tornarem ondas longas, mantendo o ambiente superaquecido”.

Figura 7 – forno construído pelo grupo **G4**, com fechamento superior com vidro transparente.



Fonte: alunos do grupo **G4**.

Como pode ser visto, tanto nas respostas dos alunos mostradas na Tabela 19 quanto na explicação que aparece nos livros (DUART et al., 2016; LAMBERTS et al., 2014), as justificativas dadas quanto à utilização dos vidros na construção do forno exprimem calor como substância, o que ratifica que as concepções prévias dos alunos não são completamente modificadas, permanecendo mesmo durante e após a instrução.

Com o emprego dos materiais listados acima e justificados a partir de conceitos referentes às situações norteadoras, a água colocada no forno atingiu as temperaturas apresentadas na Tabela 20, para uma exposição solar superior a uma hora, como proposto aos alunos.

Tabela 20 – Elevação de temperatura sofrida pela água nos fornos solares.

Grupo	T_{inicial} (°C)	T_{final} (°C)	ΔT (°C)
G1	24,3	43,7	19,4
G2	--	53,1	--
G3	16,9	28,9	12
G4	14,5	49	34,5
G5	13,7	58,1	44,4
G6	22,3	46,7	24,4
G7	15,4	38,4	23
G8	16,2	52,9	36,7

Fonte: material apresentado pelos alunos.

Como pode ser visto na tabela acima, não é possível identificar a variação da temperatura sofrida pela água no caso do forno construído pelo grupo **G2**, em função de o mesmo ter feito somente o registro da temperatura final do líquido. Os demais grupos obtiveram resultados satisfatórios, sobretudo os grupos **G4**, **G5** e **G8** que, apesar de usarem materiais de baixo custo, fizeram um bom isolamento térmico e boas vedações, que refletiram no resultado final. Sobre isso, é pertinente destacar que as medidas foram realizadas no período de inverno, quando a radiação solar não é tão intensa.

Cabe destacar que, apesar de termos lançado um desafio para os alunos, este foi no sentido de motivação para o trabalho e não de cobrança em termos de nota. Essa motivação repercutiu no excelente desempenho e envolvimento dos alunos, o que ratifica nossa tese de que a construção do forno solar constituiu um importante instrumento para o favorecimento de uma aprendizagem significativa dos alunos sobre os conceitos da física térmica.

Numa perspectiva de aprendizagem significativa crítica a partir da proposta de trabalho, o grupo **G1** trouxe afirmações que respondem aos nossos objetivos, como, por exemplo, que *“(...) um forno solar sustentável, feito com materiais disponíveis em qualquer região e que poderia facilmente ser construído por pessoas que vivem em lugares onde as temperaturas são mais elevadas, usando este fator a seu favor e poupando gastos com energia elétrica”* e *“percebemos como é fácil usar a luz solar a nosso favor e também, chegamos a conclusão de que é uma energia barata e que está disponível a todas as pessoas independente da sua classe social”*.

Essa construção do conhecimento aconteceu num sentido de que as sete situações norteadoras apresentadas aos alunos abarcaram conceitos importantes da física térmica e que convergem com as propriedades térmicas dos materiais utilizados nas edificações, resultando em uma complementaridade de conteúdos. Visto que eram os alunos quem deveriam buscar as respostas para posterior debate com os colegas, isso favoreceu que os conceitos fossem sistematizados a partir das concepções e entendimentos deles, promovendo a diversidade de estratégias como forma de propiciar a aprendizagem significativa crítica (MOREIRA, 2006).

Esse favorecimento foi evidenciado no encontro 15 (aula do dia 08.05.17) quando, em uma conversa com os alunos, perguntamos a eles se estavam percebendo a relação entre as disciplinas e se a forma como os dois professores abordavam os conceitos era convergente. Os diálogos abaixo reafirmam nossa visão do trabalho e demonstram que os alunos estavam motivados a aprender por perceberem a integração das disciplinas.

Aluno A7 – *“eu consigo ver mais ou menos, porque a parte mais específica de conforto envolve mais os materiais e as técnicas de construção das casas”*.

Professor – mas não tem conceitos que os dois professores abordam sobre isso?

Aluno A7 – *“tem a questão das taxas de emissividade, absorvidade, reflexividade, dos materiais em si”*.

Professor – mas esses conceitos, convergem pelas aulas dos dois professores?

Aluno A7 – *“sim, o que é mais do forno, sim”*.

Aluno A8 – *“o que eu mais percebo é que assim a gente consegue aplicar o que aprende”*.

Professor – a ideia é justamente essa, sair do foco conceito-exercício-prova, para dar significado ao que vocês aprendem.

Aluno A8 – *“sim, a gente consegue ver as disciplinas juntas. No trabalho do forno”*.

Dos diálogos ilustrados acima, temos apontamentos importantes: (i) é ainda um desafio fazer com que as normas de desempenho das edificações sejam integradas às duas disciplinas, visto que há uma falta grande de conhecimento da área técnica para ser abordado na aula de física e; (ii) o fazer interdisciplinar representa uma convergência entre as disciplinas, mas não necessariamente de todo um programa de conteúdos. Nesse sentido, as especificidades de cada disciplina são estudadas à parte, quando da não existência de conexões aparentes entre as áreas.

Apesar dessas dificuldades, a tarefa de construção do forno atendeu nossas expectativas, pois além de permitir que os alunos relacionassem os conceitos das duas disciplinas, proporcionou o entendimento desses conceitos em situações práticas. Isso justifica nossa defesa do referencial da interdisciplinaridade e da aprendizagem significativa, já que o fazer interdisciplinar agrega as concepções prévias dos alunos para a compreensão de um fenômeno que, uma disciplina sozinha, provavelmente não daria conta de explicar.

Além dos momentos durante as aulas, os assessoramentos foram muito frutíferos para o enriquecimento do trabalho. No encontro 19 (aula do dia 26.05.17), por exemplo, a maioria dos alunos estava entusiasmada com a tarefa; enquanto alguns faziam as atividades na sala de aula, outros utilizaram o laboratório do curso para realizar a pintura do forno e fazer o isolamento térmico com isopor. Uma vez que esses momentos fora da aula propiciam uma relação mais próxima com os alunos, aproveitamos para questioná-los se estavam gostando e aprendendo com a construção do forno, o que gerou os dois diálogos que seguem.

Aluno A22 – *“eu tô gostando, mas não tô aprendendo nada”*.

Professor – Hum. Por que você está usando isopor para revestir a sua caixa?

Aluno A22 – *“porque o isopor funciona bem pra isolar o forno”*.

Professor – isolar como?

Aluno A22 – *“isolar a temperatura”*.

Professor – e porque você está pintando de preto?

Aluno A22 – *“porque o preto absorve mais o calor e daí reflete menos”*.

Professor – e você não está aprendendo nada com isso?

Aluno **A22** – “*ah, isso sim, mas...*”.

Aluno **A12** – “*dá bastante trabalho fazer isso, mas vale a pena*”.

Professor – mas você está conseguindo entender os conceitos envolvidos?

Aluno **A12** – “*sim, só de tem que pensar o que usar de material. A professora (de conforto) sugeriu feltro, que a gente não tinha pensado e isola bem, sem derreter*”.

Esses diálogos nos motivam a continuar na defesa do nosso referencial pelo envolvimento dos alunos na construção do forno e pela significação que deram aos conceitos. Além disso, é importante destacar que os alunos não se dão conta, sozinhos, neste tipo de abordagem, da sua aprendizagem. E isso está, muito provavelmente, atrelado à noção tradicional de aprendizagem que possuem, na qual são sujeitos passivos, com as respostas prontas a seus questionamentos (quando estes existem) e com todo o conteúdo transmitido pelo professor. E modificar essas noções implica uma mudança de atitudes no ensino, uma vez que, muitas vezes, enquanto professores,

queixamo-nos de que os alunos são passivos, mas praticamente não lhes deixamos espaços de participação autônoma; de que eles não têm sensibilidade aos problemas sociais, científicos e tecnológicos que os rodeiam, mas a ciência é ensinada como uma realidade própria, um conjunto de conhecimentos formais que formam uma torre de cristal isolada do ruído mundano. Lamentamos que eles se limitem a repetir como papagaios tudo quanto dizemos, mas não valorizamos suas próprias ideias ou então consideramos que elas não passam de “erros conceituais” (POZO; CRESPO, 2009, p. 33-34).

Do trabalho prático desenvolvido, os resultados são estimulantes e nos motivam a continuar porque, em vários momentos, foram identificadas evidências de aprendizagem significativa. Além disso, a abordagem interdisciplinar corrobora com a proposta institucional, sendo satisfatória na medida em que os alunos faziam a relação dos conceitos de ambas as disciplinas, demonstrando que conseguiam estabelecer vínculos entre eles, reforçando os aspectos da interdisciplinaridade e ilustrado pela fala do grupo **G1**, que “*com o auxílio de nossos professores e a partir das situações cotidianas, foi possível entender diversos processos que ocorrem em decorrência das trocas de calor, das variações de temperatura e das mudanças de fases de alguns corpos*”.

Considerando que a aprendizagem mecânica dificilmente oportuniza retomada satisfatória dos conceitos aprendidos, buscamos, aproximadamente nove meses após o término da nossa segunda intervenção didática, avaliar a efetividade da aprendizagem significativa dos alunos. Como descrito na metodologia, sorteamos um aluno por grupo de trabalho da construção do forno para responder o seguinte questionamento: no primeiro semestre do ano passado, vocês construíram um forno solar com materiais de baixo custo. A

proposição do trabalho foi promover a interdisciplinaridade entre a física e o conforto das edificações. Sobre o protótipo construído pelo seu grupo, descreva e explique os conceitos e propriedades térmicas envolvidos na sua construção e no seu funcionamento.

Os alunos sorteados de cada grupo foram os seguintes: grupo **G1** (aluno **A19**), grupo **G2** (aluno **A26**), grupo **G3** (aluno **A18**), grupo **G4** (aluno **A28**), grupo **G5** (aluno **A12**), grupo **G6** (aluno **A22**), grupo **G7** (aluno **A23**) e grupo **G8** (aluno **A9**), de modo que todos eles concordaram em responder a questão proposta. Percebemos, por meio dos gestos que faziam, que buscavam recordar os conhecimentos aprendidos e, em alguns momentos, faziam questionamentos, do tipo: “*professor, como funciona aquele conceito do ar-condicionado, que desce e sobe?*” (aluno **A22**) e “*preciso explicar o que é capacidade térmica ou posso só dizer como funciona?*” (aluno **A28**). Nesse momento, novamente argumentamos que a ideia era que eles expressassem aquilo que recordavam das aulas e da construção do protótipo.

A partir das respostas dadas, procuramos elementos que representem indícios de aprendizagem significativa dos alunos acerca das propriedades envolvidas na construção dos fornos, mas também elementos que apontem lacunas no processo de aprendizagem, os quais servem para repensarmos novas intervenções. Da mesma forma que apresentado anteriormente, as tabelas a seguir ilustram as respostas às propriedades mais expressivas dos protótipos (isolamento térmico, efeito estufa, refletividade e absorvidade térmica). Iniciemos pela análise do **isolamento térmico**, cujas respostas aparecem na Tabela 21.

Tabela 21 – falas dos alunos para justificar a escolha dos materiais que garantem o isolamento térmico do forno solar, retomadas no questionário.

Aluno	Conceito: isolante térmico
A19	<i>Determinados materiais foram escolhidos, em razão de serem bons isolantes térmicos, como o isopor, que manteve o calor retido no interior do forno. [...] apesar de que o calor por ela absorvido não chegou a aquecer o forno, pois as várias camadas de isopor isolaram.</i>
A26	<i>Madeira e isopor por possuírem baixa condutibilidade térmica, portanto, ambos manteriam a temperatura. Encontramos dificuldades na vedação entre as bordas da caixa e a tampa, pois com a alta temperatura os materiais derretiam.</i>
A18	<i>Entre a caixa maior e menor, foi utilizado isopor, para impedir a perda de calor do recipiente.</i>

No caso o interior do forno, usamos como exemplo: isopor, madeira, pedaços de jornal e serragem, assim isolando a troca de energia do ambiente interno com o externo.

A28 *Materiais condutores têm a capacidade de absorver uma maior energia. Seus elétrons, partículas estão mais espaçadas, quando estão sujeitas a uma fonte de calor, conseguem se agitar mais facilmente, “esquentando” o material. São exemplos: ferro.*

No centro do forno, colocamos uma superfície de metal, pois o metal possui baixo calor específico e, por conta disso, seria capaz de aquecer rapidamente.

Como materiais isolantes, utilizamos isopor e madeira, para que o calor de dentro do forno não se dissipasse.

A12 *Aprendemos que o calor nada mais é do que a troca de um corpo mais quente para um mais frio. Há, também, duas divisões para o calor: calor sensível e calor latente, que se diferenciam da seguinte forma. Calor sensível é a mudança de temperatura de um corpo, sem alterar seu estado. Calor latente é a mudança de estado de um corpo, sem alterar sua temperatura.*

A madeira que é um bom condicionante térmico.

A22 *Conseguimos fazer o teste e proporcionar um calor razoável, pois os materiais além de ser de baixo custo, são ótimos condutores de energia.*

Foi utilizado uma caixa de isopor como forno, por ser um bom isolante térmico, devido a isso ela evitava que o calor saísse do forno.

A23 *Devido a caixa ser muito grande dividimos ela internamente e colocamos papel picado nas partes excedentes com o intuito de isolar o calor onde queríamos.*

A09 *Iniciamos a construção com uma caixa de isopor, forrada internamente por mais pedaços de isopor.*

Fonte: questionário respondido pelos alunos.

Percebe-se das respostas expostas na Tabela 21, que todos os alunos retomaram a função do isopor, e/ou da serragem, e/ou do jornal e/ou da madeira como isolantes térmicos, favorecendo um aquecimento satisfatório no interior do forno. Sobre a importância desse isolamento térmico, o aluno **A19**, por exemplo, descreve que, por mais que a caixa tenha sido pintada de preto para absorver uma maior parte da radiação solar, esta “*não chegou a aquecer o forno, pois as várias camadas de isopor isolaram*”.

Sobre o cuidado com o isolamento para tornar o forno solar viável, o aluno **A26** argumenta que seu grupo encontrou “*dificuldades na vedação entre as bordas da caixa e a tampa, pois com a alta temperatura os materiais derretiam*”, levantando a dificuldade em se trabalhar com materiais de baixo custo, mas, ao mesmo tempo, salienta que os materiais escolhidos, por “*possuírem baixa condutibilidade térmica, [...] manteriam a temperatura*”. Estas respostas, ainda que não explicitem riqueza de detalhes sobre o motivo da escolha dos materiais, fornecem indícios de aprendizagem significativa.

Fazendo o contraponto com isolantes térmicos, um aluno explicita a função dos condutores como “*materiais que têm a capacidade de absorver uma maior energia*” (aluno **A28**) e outro, que o calor específico dos materiais influencia na variação da sua temperatura, sendo que “*o metal possui baixo calor específico e, por conta disso, seria capaz de aquecer rapidamente*” (aluno **A12**). Dessa última resposta, é possível que o aluno tenha o entendimento que “o calor específico é uma espécie de inércia térmica porque expressa a resistência de uma substância a mudanças em sua temperatura” (HEWITT, 2009, p. 185).

Com uma incoerência entre a função do isolamento e os materiais utilizados, o aluno **A22** expressa que foi possível “*[...] os materiais além de ser de baixo custo, são ótimos condutores de energia*”, enquanto na verdade, os materiais são bons isolantes térmicos. Isso nos aponta o necessário cuidado na diferenciação dos conceitos, evitando que a aprendizagem significativa ocorra erroneamente.

Relativamente ao conceito de calor, foi recorrente a explicitação deste como substância, tal como expressado nas respostas: “*para impedir a perda de calor do recipiente*” (aluno **A18**); “*para que o calor de dentro do forno não se dissipasse*” (aluno **A12**) e; “*[...] com o intuito de isolar o calor onde queríamos*” (aluno **A23**). Como discutido, embora nosso objetivo seja o de favorecer a aprendizagem significativa, não somos ingênuos em acreditar que conseguiríamos modificar completamente a forma de expressão e de entendimento dos alunos, em um curto intervalo de tempo.

Com uma retomada melhor aceita cientificamente, dois alunos exprimem calor como energia. Para o aluno **A28**, o isolamento térmico é importante porque isola “*a troca de energia do ambiente interno com o externo*”, podendo representar um possível invariante operatório de que para haver energia na forma de calor é necessário haver uma diferença de temperatura entre corpos.

Dando indícios de apresentar o mesmo invariante operatório, o aluno **A12** argumenta que “*o calor nada mais é do que a troca de um corpo mais quente para um mais frio*”, e complementa sua resposta afirmando que “*há, também, duas divisões para o calor: calor*

sensível e calor latente, que se diferenciam da seguinte forma. Calor sensível é a mudança de temperatura de um corpo, sem alterar seu estado. Calor latente é a mudança de estado de um corpo, sem alterar sua temperatura”. Essa resposta é mais completa no sentido que retoma o que acontece com a temperatura e o estado dos corpos quando estes recebem certa quantidade de energia na forma de calor. Assim, podemos afirmar que temos indícios de aprendizagem significativa em decorrência da externalização de significados claros, precisos, diferenciados e transferíveis; elaboração e diferenciação de conceitos, em termos de detalhe e especificidade e; incorporação, à estrutura cognitiva, de conceitos novos (SOBIECZIAK, 2017).

Se o isolamento do forno é essencial para a manutenção da sua temperatura, é igualmente importante maximizar a radiação solar no seu interior, o que pode ser feito por meio das propriedades da **absorvidade** e da **refletividade**. As respostas retomadas pelos alunos para estas propriedades aparecem, respectivamente, nas Tabelas 22 e 23.

Tabela 22 – falas dos alunos para justificar a utilização da cor preta no forno solar, retomadas no questionário.

Aluno	Conceito: absorvidade
A19	<i>Foi utilizada a cor preta para pintar as laterais do forno, por ela ser uma cor absorvente.</i>
A26	<i>Pintamos os fundos e as laterais do forno com tinta preta fosca, pois cores escuras absorvem os raios solares, o que possibilitaria uma maior eficiência ao forno.</i>
A18	<i>No fundo do forno foi pintado de cor preta para a absorção do calor.</i>
A28	<i>Utilizamos materiais para absorção no fundo do forno, como por exemplo a tinta preta.</i>
A12	Nenhuma resposta direcionada a esta propriedade.
A22	<i>Cor preta, pois absorvia mais o calor e ia mante-lo aquecido por mais tempo.</i>
A23	<i>Pintamos o forno de cor preta para que ele absorvesse mais calor e não emitisse para o ambiente, o que não ajudou muito pois a tinta era diluída em água o que diminuiu a capacidade de absorção dela.</i>
A09	<i>Na parte externa, a caixa de isopor foi forrada por uma caixa de papelão pintada por tinta preta, já que a cor preta absorve calor.</i>

Analisando a tabela acima, apenas o aluno **A12** não retomou a importância da tinta preta utilizada para pintar o forno, “*por ela ser uma cor absorvente*” (aluno **A19**), “*o que possibilitaria uma maior eficiência ao forno*” (aluno **A26**). Ainda que sem maiores explicações, essas respostas representam indícios de aprendizagem significativa na medida em que corroboram que “os materiais de construção são seletivos à radiação de onda curta (radiação solar) e a principal determinante desta característica é sua cor superficial. Um material escuro absorverá a maior parte da radiação incidente enquanto que um material claro absorverá bem pouco” (LAMBERTS et al., 2014, p. 209).

Das respostas mostradas na tabela, alguns alunos novamente retomam calor como substância, afirmando, por exemplo, “[...] *foi pintado de cor preta para a absorção do calor*” (aluno **A18**), “[...] *já que a cor preta absorve calor*” (aluno **A09**) e “[...] *para que ele absorvesse mais calor e não emitisse para o ambiente*” (aluno **A23**). Por mais que a forma de expressão não esteja adequada fisicamente, a relação entre a escolha da cor preta e a sua função está correta, novamente correspondendo a uma retomada que nos permite inferir indícios de aprendizagem significativa dos alunos para a propriedade da absorvidade térmica.

Ao contrário da absorvidade, a refletividade térmica está relacionada com a capacidade de os materiais refletirem a energia. Se, por um lado, a cor preta apresenta uma boa taxa de absorvidade, as cores claras demonstram bons índices de refletividade. Melhores ainda são os níveis de refletividade de materiais como espelhos e papel alumínio, materiais estes utilizados no forno e retomados pelos alunos como forma de melhorar o desempenho dos protótipos, conforme mostrado na Tabela 23.

Tabela 23 – falas dos alunos para justificar a utilização de espelhos e/ou papel alumínio, retomadas no questionário.

Aluno	Conceito: refletividade
A19	<i>O alumínio foi utilizado como material refletor, para facilitar a entrada de calor.</i>
A26	<i>Papel alumínio pois é um material refletor, então construímos astes de papelão e revestimos com papel alumínio, para que os raios solares se voltassem intensamente para o interior do forno.</i>
A18	<i>Nas laterais papel alumínio para refletir o calor para o fundo da caixa.</i>
A28	<i>Também foi usado papel alumínio, um material refletor, com a</i>

intenção de direcionar os raios solares para o copo que estava cheio de água.

A12 *Utilizamos alumínio curvados, no intuito de gerar reflexão entre os raios solares.*

A22 *[...] alumínio e isopor para proporcionar radiação e concentrar o calor no centro e não haver perda de calor instantânea.*

A23 *Na parte de dentro do forno foi usado papel alumínio, para isolar o forno, para não perder calor e também porquê o papel alumínio é um bom absorvidor térmico.*

A09 *[...] e papel alumínio, pois, o papel alumínio, com o sol, esquentava/refletia no copo d'água.*

[...] com dois espelhos aos lados para reflexão, os espelhos eram moveis para refletir aonde o sol estava.

Fonte: questionário respondido pelos alunos.

A utilização dos materiais reflexivos foi considerada pelos alunos por serem bons refletores, refletindo a radiação solar no/para o interior do forno. Enquanto alguns grupos construíram seus protótipos apenas com caixa, outros utilizaram hastes para direcionar a radiação solar para o interior do forno, retomando satisfatoriamente a função dos materiais com suas respectivas propriedades térmicas.

O aluno **A23**, por outro lado, deu uma resposta incoerente do ponto de vista científico sobre a função do papel alumínio, afirmando que seu grupo o utilizou “*para isolar o forno, para não perder calor e também porquê o papel alumínio é um bom absorvidor térmico*”. Isso significa que, possivelmente, o aluno não conseguiu compreender as propriedades térmicas dos materiais utilizados no forno solar, embora, quando da construção do protótipo, tenha demonstrado boa participação e empenho.

Da mesma forma que nas demais propriedades, nas respostas retomadas sobre a refletividade térmica, o calor foi explicitado como algo material, tal como aparece nas respostas “*para facilitar a entrada de calor*” (aluno **A19**), “*para refletir o calor para o fundo da caixa*” (aluno **A18**), e “*concentrar o calor no centro e não haver perda de calor instantânea*” (aluno **A22**). Novamente, entra em questão o fato de os alunos não modificarem a forma de expressão, o que não significa que não aprenderam de forma significativa.

Novamente foi explicado pelos alunos, nas respostas retomadas no questionário, a indispensável utilização dos vidros como cobertura do forno para causar o chamado efeito estufa, conforme mostra a Tabela 24.

Tabela 24 – falas dos alunos para justificar a utilização de vidro ou plástico para o fechamento do forno, retomadas no questionário.

Aluno	Conceito: efeito estufa
A19	<i>O conceito de “efeito estufa” foi aplicado, pois o vidro proporcionou que o calor entrasse e não saísse do interior do interior do forno.</i> <i>A forma como o calor entra no forno foi estudada e aplicada, por convecção.</i>
A26	<i>Usamos vidro como tampa, liso para possibilitar a entrada de calor com a maior eficiência possível.</i>
A18	<i>A tampa do forno foi utilizada uma pasta escolar de plástico transparente, no entanto, essa não foi uma boa escolha pois permitia a saída do calor pelas laterais não isoladas.</i>
A28	<i>Outras questões também foram importantes na elaboração do forno, como por exemplo a utilização do vidro, conseguimos que os raios solares passassem o vidro, a partir do momento que esses raios “tocam” em alguma superfície, se transforma em calor.</i>
A12	<i>Voltando ao forno, há três formas de receber calor: condução, convecção e irradiação. Irradiação é a solar (não necessita de um meio), condução é a que possui um condutor, ou seja, a que um corpo que está recebendo calor passe este calor para outro corpo. Convecção é pelos ares, onde eles possuem densidades diferentes.</i>
A22	<i>Vidro para direcionar o raio solar para dentro do forno.</i>
A23	<i>Na parte de cima do forno, foi utilizado uma tampa de vidro para que o forno absorve-se o calor solar e que causa-se o efeito estufa no forno.</i>
A09	<i>Na parte superior foi feita uma tampa de vidro.</i>

Fonte: questionário respondido pelos alunos.

Sobre a tabela acima, as respostas do aluno **A22**, “vidro para direcionar o raio solar para dentro do forno” e do aluno **A09**, “na parte superior foi feita uma tampa de vidro” são

incompletas, uma vez que não exprimem o efeito causado pelo vidro e o mesmo não é responsável por direcionar os raios solares no interior do forno. Já a resposta do aluno **A18**, que como *“tampa do forno foi utilizada uma pasta escolar de plástico transparente, no entanto, essa não foi uma boa escolha pois permitia a saída do calor pelas laterais não isoladas”*, traz um viés de que o plástico causando o efeito estufa, mas sem um bom isolamento, não garante uma eficiência interessante do forno. Isso demonstra que este aluno também retomou conhecimentos procedimentais envolvidos na construção dos protótipos.

Três respostas indicam uma retomada satisfatória em relação ao efeito estufa, considerando as lacunas existentes nas nossas explicações. Para o aluno **A19**, *“o vidro proporcionou que o calor entrasse e não saísse do interior do interior do forno”*; o aluno **A28** argumentou que com *“a utilização do vidro, conseguimos que os raios solares passassem o vidro, a partir do momento que esses raios “tocam” em alguma superfície, se transforma em calor”*; por sua vez, o aluno **A26**, ainda que de forma não explícita, defende a utilização do vidro para causar o efeito estufa, na medida em que ele possibilita *“a entrada de calor com a maior eficiência possível”*.

Avançando em suas respostas e fornecendo indícios de aprendizagem significativa em função de desenvolvimento, elaboração e diferenciação de conceitos, em termos de detalhe e especificidade, em decorrência de sucessivas interações, incorporação, à estrutura cognitiva, de proposições e conceitos novos (SOBIECZIAK, 2017), destacamos dois alunos. O aluno **A19** retomou sucintamente que o forno aquece por convecção, fazendo referência à movimentação do ar em seu interior. De forma mais completa, o aluno **A12** remeteu sua resposta aos processos de propagação de energia na forma de calor, *“condução, convecção e irradiação. Irradiação é a solar (não necessita de um meio), condução é a que possui um condutor, ou seja, a que um corpo que está recebendo calor passe este calor para outro corpo. Convecção é pelos ares, onde eles possuem densidades diferentes”*.

Sobre o conceito de calor, novamente apareceram definições que o classificam como substância, tal como ilustram os excertos *“para que o forno absorve-se o calor solar e que causa-se o efeito estufa no forno”* (aluno **A23**) e *“proporcionou que o calor entrasse e não saísse do interior do interior do forno”* (aluno **A19**).

Da forma como apresentada nas Tabelas 21 a 24, os alunos retomaram aspectos relativos à construção dos protótipos envolvendo: (i) um bom isolamento térmico, utilizando materiais como isopor, madeira e papel; (ii) a pintura do mesmo com utilização da tinta preta, a qual tem uma alta taxa de absorvidade térmica; (iii) o melhor direcionamento/concentração dos raios solares refletidos no interior do forno, por meio da utilização de papel alumínio e/ou

espelhos e; (iv) a vedação superior com vidro (e um caso, uma pasta plástica), responsável por promover o efeito estufa, pelo fato de o vidro ser opaco à radiação de onda longa.

Fica evidente, nesse sentido, a retomada de forma satisfatória, com indicativo de aprendizagem significativa dos alunos, dos conteúdos conceituais relativos aos materiais construtivos e suas propriedades térmicas, ratificando a importância atribuída à construção do forno solar, bem como à forma interdisciplinar com que o trabalho foi desenvolvido.

Apesar de algumas inconsistências do ponto de vista científico, as propriedades térmicas dos materiais foram retomadas satisfatoriamente, embora a maneira de expressão dos alunos, especialmente sobre o conceito de calor, manteve a forma cotidianamente utilizada, atribuindo a ele uma propriedade de substância. Contudo, consideramos que isso não diminui os resultados atingidos com nossa proposição, pois temos clareza de que, diariamente, a forma como nos expressamos – e aqui incluímo-nos, é diferente daquela aceita cientificamente, de modo que “não é possível compreender a lógica das ciências com a racionalidade do conhecimento cotidiano, tal qual não é possível viver no cotidiano de forma que cada uma de nossas ações reflita uma lógica científica” (LOPES, 1996, p. 269).

Ao nos expressarmos, quando afirmamos, por exemplo, que estamos com calor ou com frio, implicitamente estamos dizendo que em função da diferença de temperatura entre nosso corpo e o ambiente, ocorrem trocas de energia, no sentido do corpo de maior para o de menor temperatura, e a essa energia em trânsito, denominamos de calor. E, quando cessa a diferença de temperatura entre esses sistemas, não faz mais sentido falarmos em calor. E esse significado físico foi o que buscamos compartilhar com os alunos ao longo da instrução. Sobre isso, por mais que um aluno internalize o significado científico do calor,

em sua vida cotidiana, contudo, ele atuará em vários contextos discursivos que reforçam a visão comum de que o calor é uma substância e de que é proporcional à temperatura, podendo haver um “calor quente” e um “calor frio”. Por exemplo, o estudante muito provavelmente pedirá um “casaco quente de lã” em uma loja, na medida em que este modo de falar é muito mais apropriado para se comunicar neste contexto do que solicitar “um casaco feito de um bom isolante térmico, que evite a transferência de energia térmica do corpo para o ambiente”. (MORTIMER et al., 2009, p. 7).

Para além dos conteúdos conceituais retomados pelos alunos, frases dadas por dois deles reforçam a importância da construção do forno solar enquanto atividade prática, para o desenvolvimento de conteúdos procedimentais, o que ajuda a aproximar de uma formação integral, na medida em que fomenta debates e ações numa perspectiva crítica do saber fazer e do pra quê fazer. O aluno **A18**, por exemplo, afirma que “o forno solar foi de grande

aprendizado, pois, nos permitiu a vivência de vários conceitos e propriedades. [...] este trabalho foi de grande importância, pois possibilitou a visão na prática dos conceitos aprendidos em aula”.

Seria possível pensarmos a construção do forno somente enquanto proposição da disciplina de física, mas, neste caso, além de não avançarmos em aspectos da interdisciplinaridade, corríamos o risco de a atividade ter um fim somente em si, sem abertura para novas possibilidades de criação de protótipos em contraponto com residências, foco este do curso. Sobre esse papel de destaque da atividade interdisciplinar, o aluno **A12**, afirma que *“durante o ano de 2017, foi apresentado aos alunos uma proposta inovadora: criar um forno solar para, com ele, aprender os conceitos de calor na física e em conforto ambiental”.*

Analisando a fala deste aluno, percebe-se que o mesmo atribui à proposta um caráter inovador, corroborando nosso objetivo ao sugerir a construção do forno. Ainda que o forno solar não seja uma invenção nossa, haja vista que sua idealização remonta a 1767 (SARMENTO, 2015), atribuímos à nossa investigação certo grau de ineditismo em função de não encontrarmos trabalhos que buscam abranger o curso e disciplinas em questão, num viés interdisciplinar. E isso foi retomado como ponto positivo do trabalho, o que nos motiva a continuar aprimorando esta investigação, bem como buscar novas propostas.

Ao elaborarmos nossos instrumentos, buscamos viabilizar que os alunos aprendessem os conceitos da física térmica de forma significativa, resultando num enriquecimento de suas estruturas cognitivas. Ainda que nem todas as respostas retomadas pelos alunos sejam adequadas cientificamente, a maior parte delas remete ao conhecimento científico construído, representando um amadurecimento em termos de conhecimento e de vivências, num processo formativo repleto de recursividades. E esses processos de retomada devem ser valorizados no intuito de identificar lacunas e potencialidades, como forma de aprimoramento da nossa prática com vistas ao favorecimento da aprendizagem significativa.

As propriedades térmicas empregadas na construção do forno foram solicitadas na elaboração dos mapas conceituais e os resultados desse instrumento são apresentados abaixo.

5.2.2 Os mapas conceituais

Uma vez que o trabalho de construção do forno solar foi realizado em grupos, nos quais os alunos deveriam entrar em consenso sobre a escolha dos materiais e das vedações a serem realizadas para que o protótipo fosse eficiente, pedimos também para que construíssem

dois mapas conceituais individuais, a fim de identificarmos como cada um concebe as relações entre as propriedades e os materiais utilizados.

O primeiro mapa foi construído no encontro 15 (aula do dia 08.05.17), a partir do seguinte encaminhamento: construam um mapa conceitual sobre o forno idealizado pelo seu grupo, descrevendo a relação entre os conceitos da forma que explicariam a partir das suas ideias ou falas. Embora os alunos já estivessem familiarizados com o mapeamento conceitual, foi bem desafiador orientá-los sobre a necessidade das palavras de ligação entre os conceitos, bem como fazer a distinção entre conceitos e exemplos. Por mais que tenhamos feito uma orientação individualizada sobre essa diferença, os mapas resultaram com demasiado número de exemplos correspondendo a conceitos. Como nosso objetivo era fazer esse direcionamento em sala de aula, os alunos não elaboraram o texto explicativo, uma vez que nas orientações individuais, pedíamos para que fossem nos explicando as relações construídas.

O segundo mapa foi solicitado aos alunos como tarefa de casa, no encontro 20 (aula do dia 29.05.17), devendo ser entregue no encontro 23 (aula do dia 12.06.17). O encaminhamento da atividade ocorreu da seguinte forma: agora que o forno de vocês está praticamente pronto e todas as situações foram debatidas, vocês devem fazer novamente um mapa conceitual sobre o forno, com a diferença que agora vocês devem entregar junto um pequeno texto explicando o mapa; esse texto não é a explicação dos conceitos, mas sim como vocês entendem esses conceitos relacionados. Além disso, pedimos para que tivessem cuidado na seleção dos conceitos, sugerindo que fizessem uma lista de conceitos e outra, de exemplos. Dos trinta alunos, **A30** não entregou nenhum dos mapas, enquanto o segundo mapa não foi entregue pelos alunos **A14**, **A16**, **A20** e **A24**.

Considerando que os mapas conceituais têm “por objetivo representar relações significativas entre conceitos na forma de proposições” (NOVAK; GOWIN, 1995, p. 31), procuramos orientar os alunos que atentassem para a construção de relações pertinentes entre os conceitos, considerando os níveis de hierarquia e evidenciando o significado da relação conceitual (MOREIRA, 2016). Contudo, como os alunos confeccionaram “os mapas do forno solar”, essa hierarquia nem sempre ficou clara, uma vez que os conceitos estavam em um mesmo grau de importância, visto que tratavam de materiais e suas propriedades que tornavam o protótipo funcional.

Sendo os mapas conceituais instrumentos importantes para buscar evidências de aprendizagem significativa, a relação de significados que eles expressam é idiossincrática, o que quer dizer que não há mapa conceitual correto. Assim, a análise que fizemos dos mapas

foi essencialmente qualitativa, de modo a “interpretar a informação dada pelo aluno no mapa a fim de obter evidências de aprendizagem significativa” (MOREIRA, 2016, p.11).

Assumindo o princípio da diferenciação progressiva, organizamos o corpo de conhecimento a partir de ideias mais gerais e inclusivas (como a explicitação dos conceitos de calor e temperatura, por exemplo), para diferenciá-los progressivamente e compreender como os fenômenos térmicos ocorrem nas edificações e nos fornos solares. Essa organização buscou promover também a reconciliação integrativa, que ocorre quando conceitos tornam-se relacionados em termos de novos significados proposicionais. Esses dois princípios foram investigados nos mapas como forma de verificar o entrelaçamento de conceitos e exemplos que unissem as disciplinas. Ainda que de forma menos abrangente, levamos em consideração os apontamentos feitos por Calheiro (2014) na busca por elementos de julgamento dos mapas, como descrito na Tabela 25.

Tabela 25 – elementos utilizados para avaliar a aprendizagem significativa dos alunos nos mapas conceituais.

Elementos/critérios	Descrição dos conceitos
Proposições	Estão relacionadas com o significado entre dois conceitos, sendo indicada pela linha que une e pela(s) palavra(s) de ligação.
Hierarquia	Verifica se um dos conceitos subordinados é mais específico e menos geral que o conceito escrito anteriormente.
Ligações cruzadas	As ligações significativas e válidas entre um segmento da hierarquia conceitual e outro segmento. As ligações podem ser criativas.
Diferenciação progressiva	As ideias mais gerais e inclusivas progressivamente diferenciadas. Um conceito geral deve se relacionar com conceitos menos gerais.
Reconciliação integrativa	Recombinação de conceitos já existentes que se reorganizam e forma outros conceitos.
Exemplos	Exemplos apropriados.

Fonte: Calheiro (2014, p. 100).

Salientamos que, como mostrados adiante, os mapas construídos pelos alunos não representam os mapas conceituais da forma como proposto por Novak e Cañas (2010), uma vez que simbolizam uma descrição dos materiais utilizados na construção do forno solar, os quais correspondem a exemplos e não especificamente a conceitos. Ainda assim, esse

instrumento é rico porque mostra o modo como os alunos justificam o fenômeno e/ou propriedade de alguns conceitos por meio dos materiais que se adequam a eles.

A partir da análise qualitativa dos mapas, as categorias criadas são: (i) mapas satisfatórios do ponto de vista científico, que incluem registros que possibilitam apontar evidências de aprendizagem significativa, com bom número de conceitos válidos, ligações pertinentes entre eles e exemplos corretos; (ii) mapas parcialmente satisfatórios do ponto de vista científico, os quais apontam indícios de uma aprendizagem significativa intermediária, sendo razoáveis em conceitos válidos, com palavras de ligação inválidas/incorretas e algumas ainda, inexistentes, além de exemplos que não ilustram adequadamente o conceito e; (iii) mapas insatisfatórios do ponto de vista científico, que nos mostram poucas evidências de aprendizagem significativa, destacando limitados conceitos válidos, com falta de palavras de ligação e/ou de relações coerentes, com exemplos não condizentes com o referido conceito. A Tabela 26 mostra a distribuição dos alunos em cada uma das categorias, para os dois mapas.

Tabela 26 – distribuição dos alunos em cada uma das categorias criadas a partir da análise dos mapas conceituais.

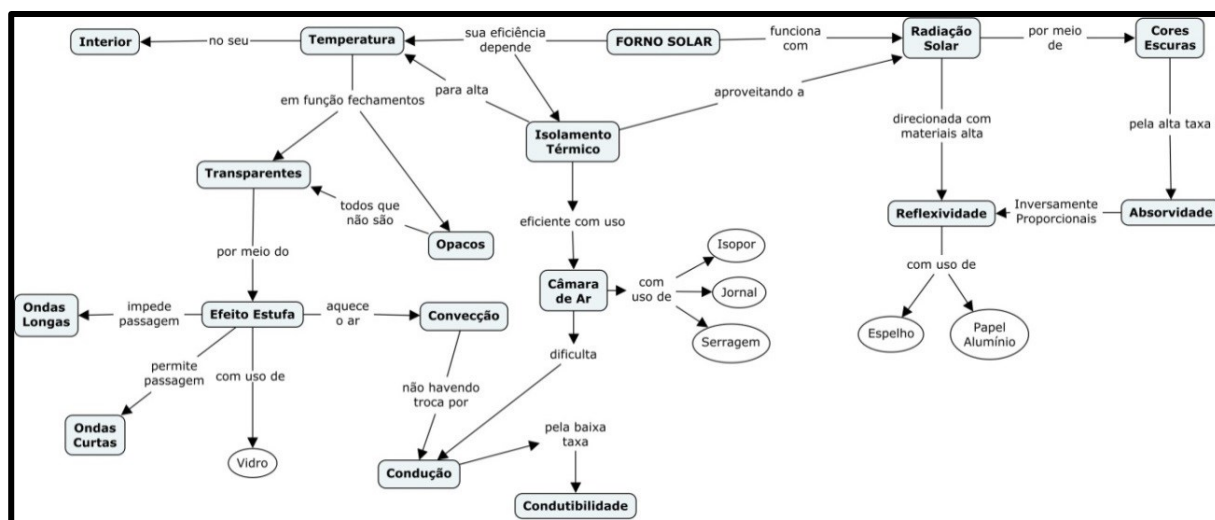
MAPA CONCEITUAL 1		
<i>Mapa satisfatório</i>	<i>Mapa parcialmente satisfatório</i>	<i>Mapa insatisfatório</i>
A8 e A17.	A1; A2; A5; A6; A7; A9; A15; A21; A23; A26 e A27.	A3; A4; A10; A11; A12; A13; A14; A16; A18; A19; A20; A22; A24, A25; A28 e A29.
MAPA CONCEITUAL 2		
<i>Mapa satisfatório</i>	<i>Mapa parcialmente satisfatório</i>	<i>Mapa insatisfatório</i>
A6; A7; A8; A12 e A17.	A1; A9; A10; A13; A15; A19; A21; A23; A26 e A27.	A2; A3; A4; A5; A11; A18; A22; A25; A28 e A29.

Fonte: autor (2018).

Para análise e classificação dos mapas, fizemos um comparativo com um mapa de referência, construído pelos professores das duas disciplinas, no qual buscamos elencar os conceitos envolvidos na construção do forno. Em função dos alunos terem utilizado muitos exemplos de materiais construtivos em seus mapas, o nosso também buscou trazer esses

elementos, a fim de que pudéssemos fazer um comparativo mais fiel à visão dos alunos. A Figura 8 mostra nosso mapa de referência, sendo que assumimos que este é *um* mapa e não *o* mapa, pois representa nossa visão em determinado espaço-tempo de relação dos conceitos.

Figura 8 – mapa conceitual de referência para o forno solar.



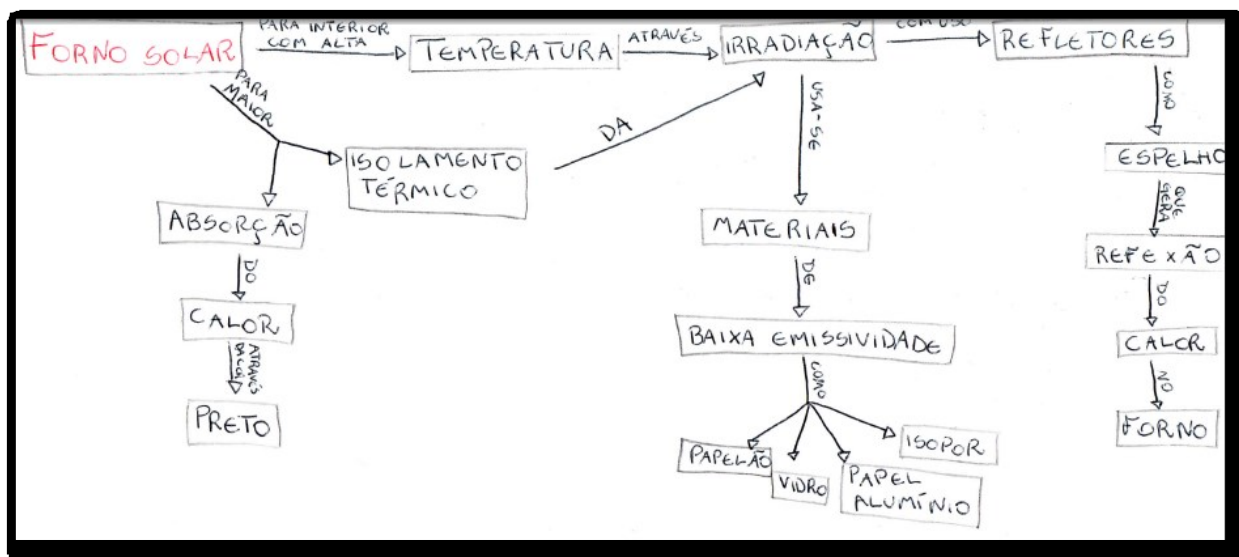
Fonte: professores de física e conforto (2018).

Para ilustrar as categorias descritas anteriormente, apresentamos os mapas produzidos por sete alunos, sendo que a escolha desses se deu como forma de mostrar a *evolução*, o *retrocesso* ou a *estabilização* nas relações construídas nos dois mapas. Os alunos **A7**, **A12** e **A19** apresentaram uma evolução entre os dois mapas; por sua vez, **A3** e **A8** construíram mapas classificados nas mesmas categorias, indicando que não modificaram de forma relevante as relações conceituais; já os alunos **A2** e **A5** apresentaram um retrocesso em termos de conceitos e suas relações. A seguir faremos a análise dos mapas construídos por esses alunos, iniciando com aqueles que apresentaram um retrocesso em seus mapas conceituais.

O primeiro mapa do aluno **A5**, mostrado na Figura 9 classificou-se na categoria parcialmente satisfatório em razão de ter um número razoável de conceitos válidos, mas com palavras de ligação incoerentes, bem como exemplos que não são condizentes com o conceito ao qual estão associados. Desta figura, também é possível perceber que as relações não demonstram um nível de hierarquia, além de haver conceitos importantes que não foram elencados, especialmente aqueles relacionados ao efeito estufa e aos processos de propagação de energia na forma de calor. Já em seu segundo mapa, como mostrado na Figura 10, o aluno

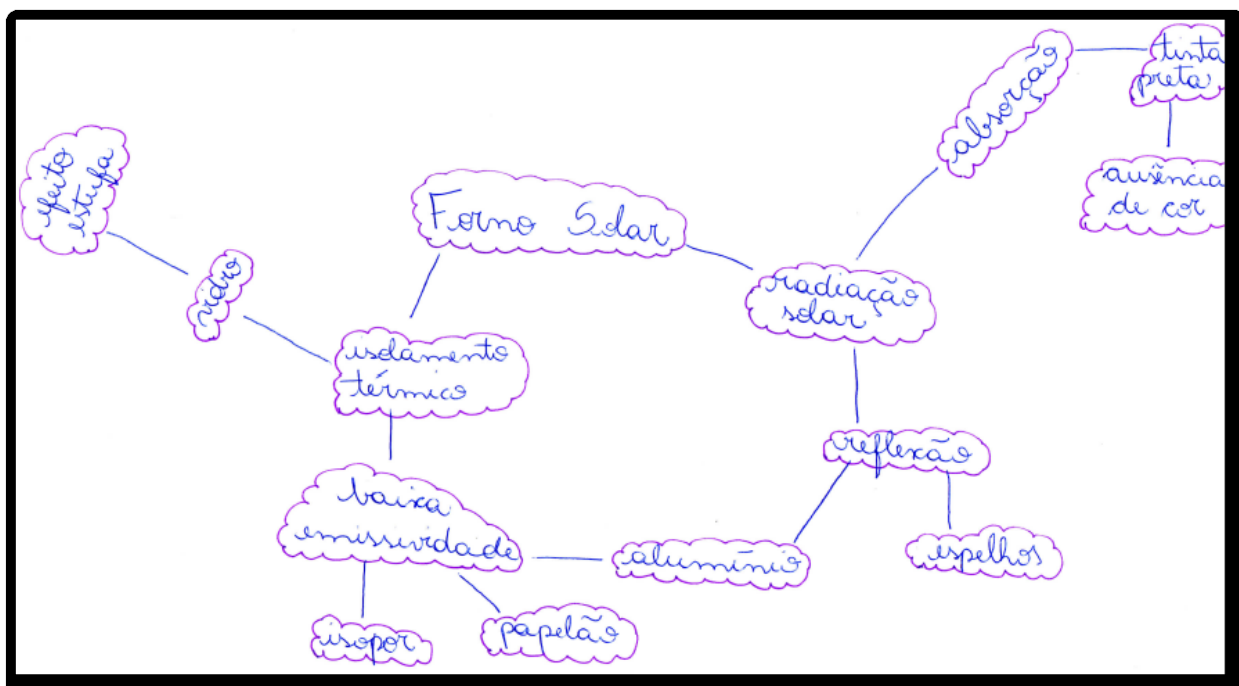
destaca conceitos (e materiais construtivos) sem deixar claros os níveis de hierarquia e sem explicitar as relações entre eles, não expressando de maneira adequada seu entendimento.

Figura 9 – mapa conceitual 1 elaborado pelo aluno A5.



Fonte: aluno A5.

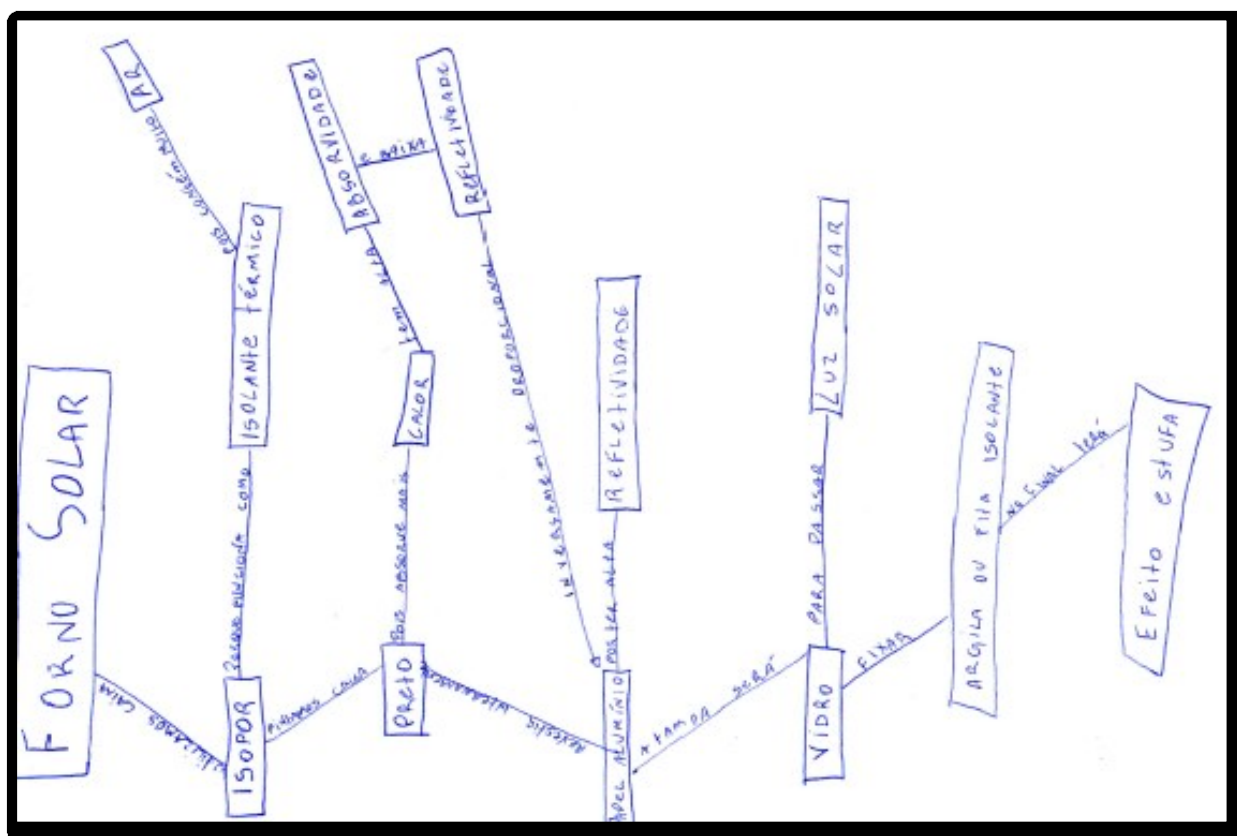
Figura 10 – mapa conceitual 2 elaborado pelo aluno A5.



Fonte: aluno A5.

O aluno A2 também apresentou um retrocesso nas relações conceituais quando comparados seus dois mapas. No primeiro deles, mostrado na Figura 11, o conceito “refletividade”, por exemplo, aparece duas vezes. Porém, é possível perceber que o aluno buscou identificar os materiais associados às propriedades envolvidas no forno (efeito estufa, absorvidade, refletividade e isolamento térmico), ainda que com pouca relação conceitual.

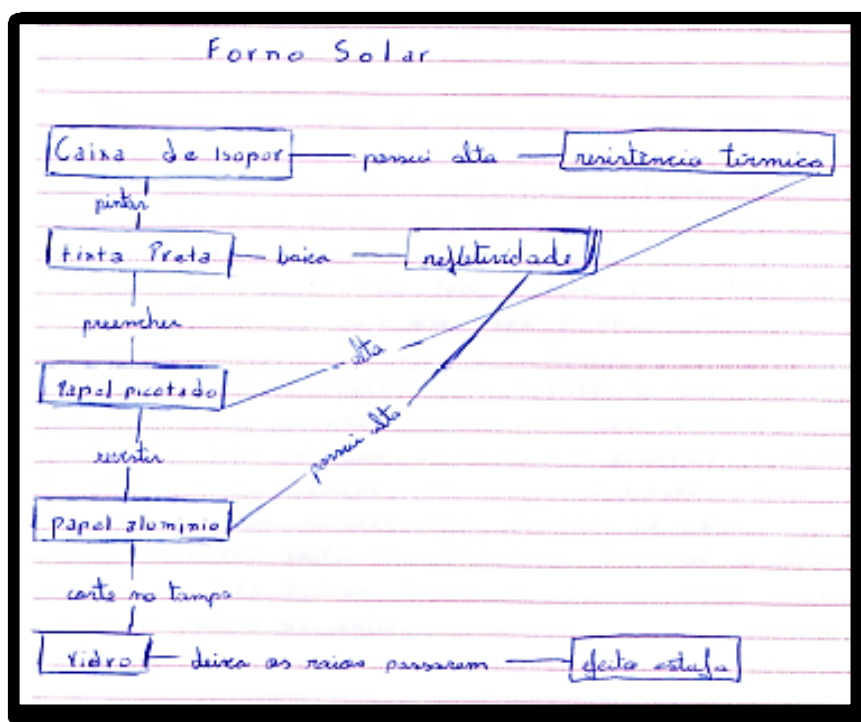
Figura 11 – mapa conceitual 1 elaborado pelo aluno A2.



Fonte: aluno A2.

Já no segundo mapa, conforme Figura 12, o aluno A2 deu mais ênfase aos materiais em si do que nos conceitos que eles representam. Não obstante, algumas associações não são pertinentes na teia de relações construídas, como destacado no texto explicativo: “*utilizamos papel picotado para elevar o fundo da caixa pois esta estava fazendo sombra*”. Comparando o mapa conceitual do aluno com as respostas de seu grupo na apresentação do forno, percebe-se que houve uma simplificação dos conceitos destacados no mapa. Ainda que seu primeiro mapa tenha sido categorizado na categoria parcialmente satisfatório, o segundo mostrou uma relação conceitual aquém do esperado e inferior à primeira construção.

Figura 12 – mapa conceitual 2 elaborado pelo aluno A2.



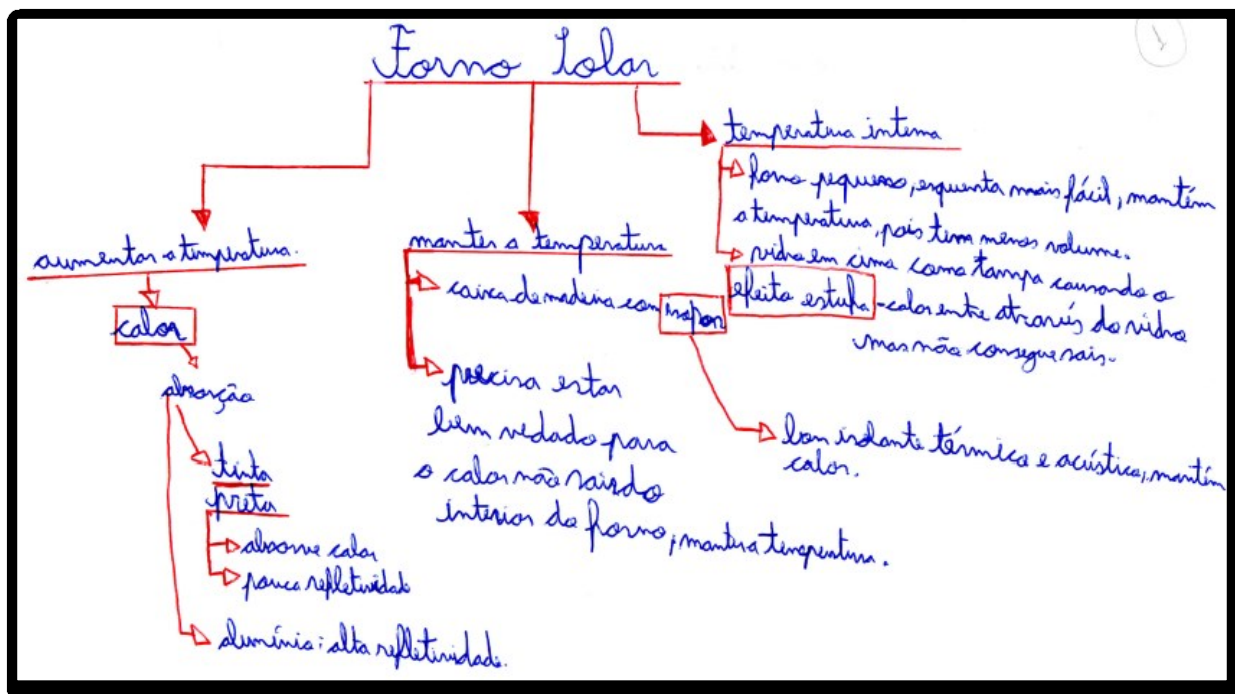
Fonte: aluno A2.

Nosso objetivo com a proposição da construção do forno solar foi possibilitar a integração das disciplinas e, com isso, facilitar a compreensão dos conceitos abordados por elas. Embora tenhamos identificado diversos aspectos de evidências de aprendizagem significativa, desde os conhecimentos prévios até a apresentação dos protótipos, nos mapas conceituais dos alunos **A2** e **A5** percebemos um retrocesso nas relações conceituais, o qual pode estar associado ao fato de os mesmos terem confundido os conceitos, não percebendo a complementaridade deles, ou ainda, somente em relação à estrutura do mapa, a qual passou a ser mais associada a exemplos do que a conceitos. Talvez, uma forma de modificar essa estrutura, fosse pedir aos alunos que construíssem mapas do campo conceitual da física térmica e das propriedades térmicas dos materiais, não focando no forno solar.

Enquanto dois alunos apresentaram um retrocesso conceitual no comparativo dos dois mapas, outros dezessete mantiveram-se nos mesmos níveis: dois no satisfatório, sete no parcialmente satisfatório e oito no insatisfatório. Apresentamos, abaixo, os mapas construídos pelos alunos **A3** e **A8**, para ilustrar que não modificaram de forma relevante as relações conceituais. O aluno **A3**, que se manteve no nível insatisfatório, construiu seus mapas de modo a identificarmos poucas evidências de aprendizagem significativa. O primeiro deles,

mostrado na Figura 13, apresenta a explicação para a escolha dos materiais. Embora essas justificativas estejam adequadas, não existe uma relação conceitual, conforme solicitado.

Figura 13 – mapa conceitual 1 elaborado pelo aluno **A3**.



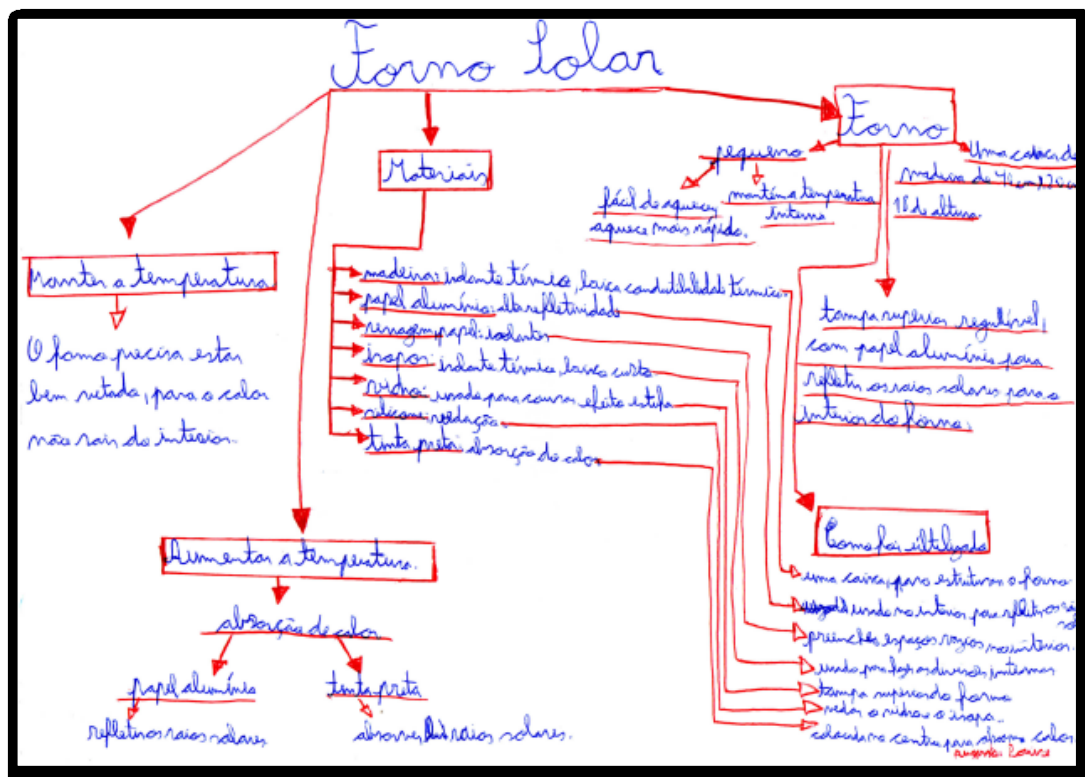
Fonte: aluno **A3**.

De forma análoga ao primeiro, o segundo mapa do aluno **A3** (Figura 14) também apresenta a descrição dos materiais utilizados na construção do protótipo, não indicando uma associação entre os conceitos. Essa relação também não foi percebida no texto explicativo entregue pelo aluno, o qual se caracteriza como um relato da construção do forno e os resultados atingidos, tal como destacado no fragmento: “*nosso forno teve um bom desempenho, ainda mais que estamos no inverno, onde os raios solares não são tão fortes quanto os do verão*”. Disso decorre que, ainda que o aluno se preocupe em expressar as justificativas para a seleção dos materiais, não dá conta de sintetizar os conceitos relevantes e suas relações.

O aluno **A8** demonstrou, na elaboração de seus mapas, um domínio significativo dos conceitos utilizados na construção do forno, indicando uma estabilização em termos de relações conceituais. Como se pode ver no primeiro mapa (Figura 15), o conceito “calor” aparece diversas vezes, podendo indicar que o mesmo conseguiria fazer ligações cruzadas e relacionar conceitos como “absorção”, “isolamento térmico”, “concentrador” e “ar acumulado”. Também, o conceito de “refletividade” aparece três vezes, o que pode indicar

relações com a propriedade da “absorvidade”. Além disso, o aluno utiliza ligações pertinentes entre os conceitos e exemplos corretos para ilustrar esses conceitos.

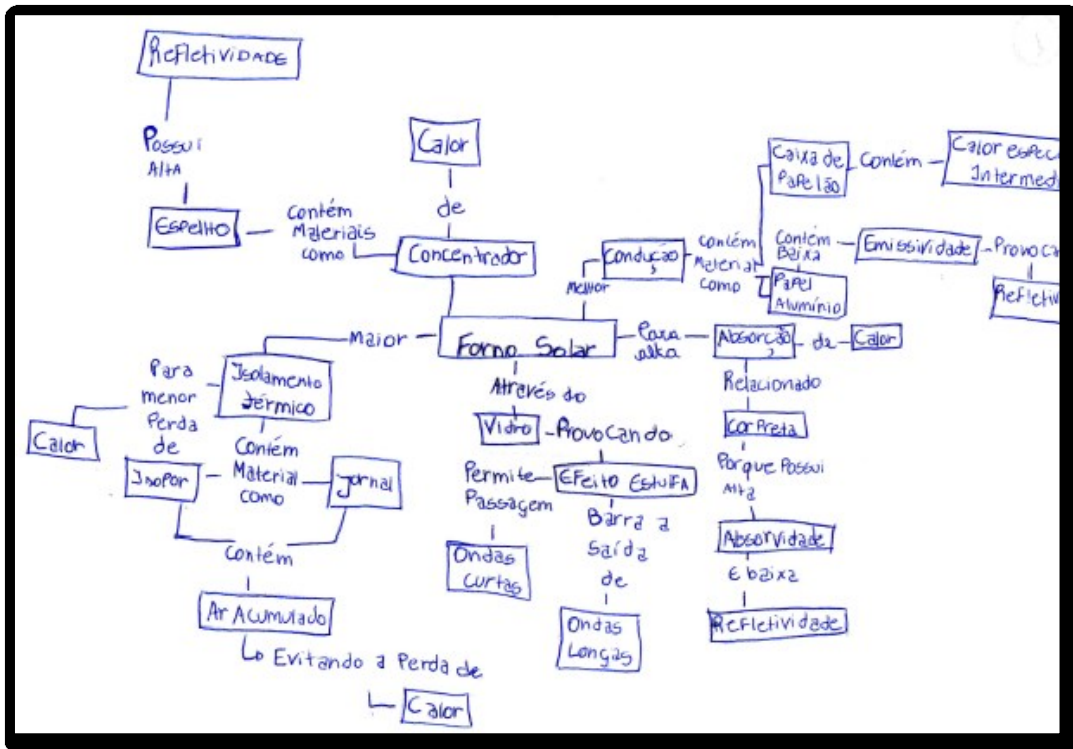
Figura 14 – mapa conceitual 2 elaborado pelo aluno A3.



Fonte: aluno A3.

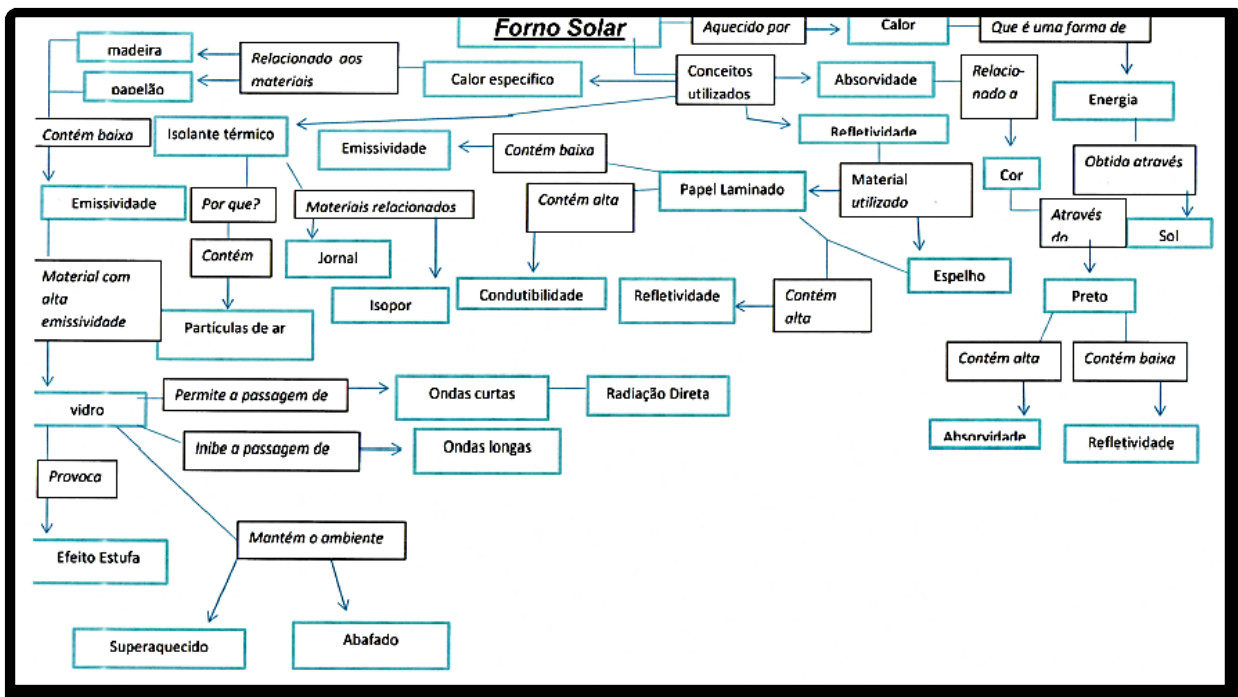
Em seu segundo mapa (Figura 16), o aluno A8 destaca um número expressivo de conceitos utilizados para a construção do forno, embora ainda apresente mais de uma vez os conceitos de “emissividade”, “refletividade” e “absorvidade”, o que podia ter sido substituído por ligações cruzadas. Analisando os mapas desse aluno, é possível identificar uma teia de conceitos pertinentes para explicar o funcionamento do forno, os quais são relacionados aos materiais utilizados e demonstram um entendimento satisfatório das situações pesquisadas pelos grupos e sistematizadas nas aulas, representando um entrelaçamento das disciplinas. Os mapas desse aluno foram categorizados como satisfatórios em virtude de apresentarem significados claros e diferenciados em termos de detalhe e especificidade, sendo incorporados à sua estrutura cognitiva, proposições e conceitos novos (SOBIECZAK, 2017).

Figura 15 – mapa conceitual 1 elaborado pelo aluno A8.



Fonte: aluno A8.

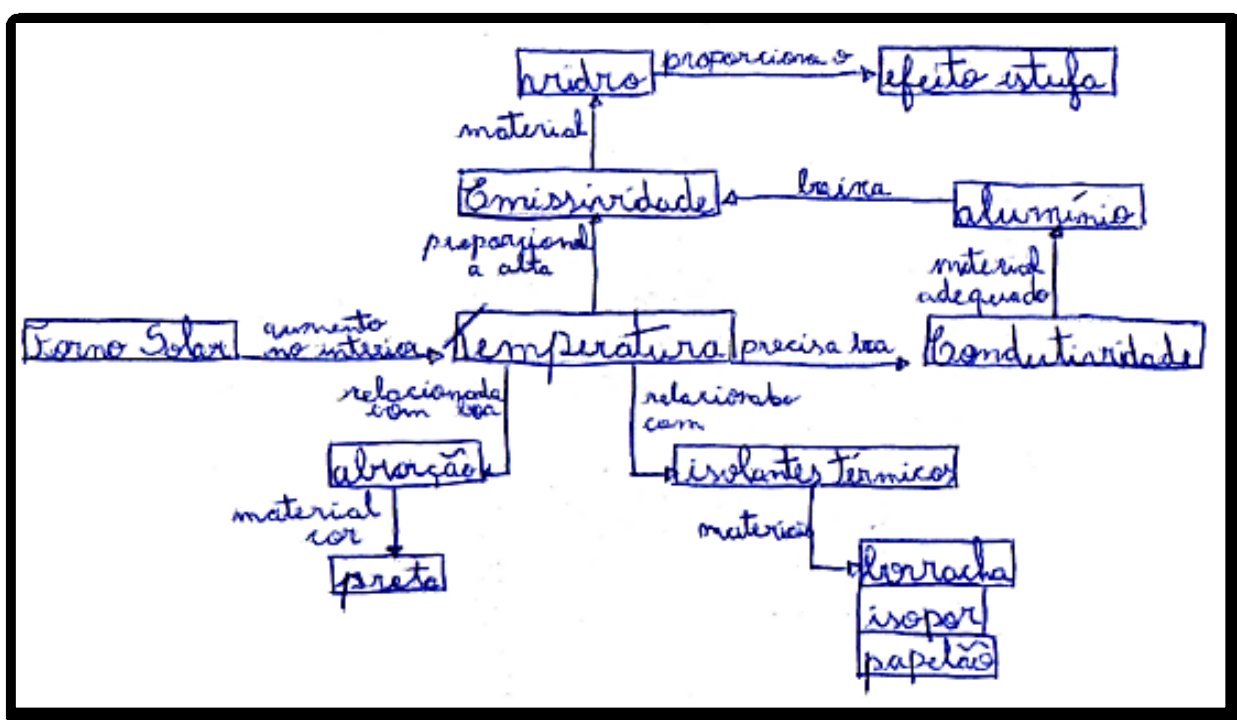
Figura 16 – mapa conceitual 2 elaborado pelo aluno A8.



Fonte: aluno A8.

Daqueles alunos que percebemos uma evolução entre os mapas, podemos afirmar que temos indícios de aprendizagem significativa tanto nas relações conceituais como no número de conceitos válidos que aparecem para justificar o forno solar. O aluno **A19**, em seu primeiro mapa, classificado como insatisfatório e mostrado na Figura 17, apresenta uma incoerência na utilização de alguns conceitos, como naqueles indicados por “o forno solar, para manter a temperatura em seu interior alta precisa boa condutividade, e o material adequado é o alumínio”. Na verdade, os materiais utilizados devem ter baixa condutividade térmica, sendo bons isolantes térmicos e, no caso do forno, o alumínio foi utilizado para refletir a radiação.

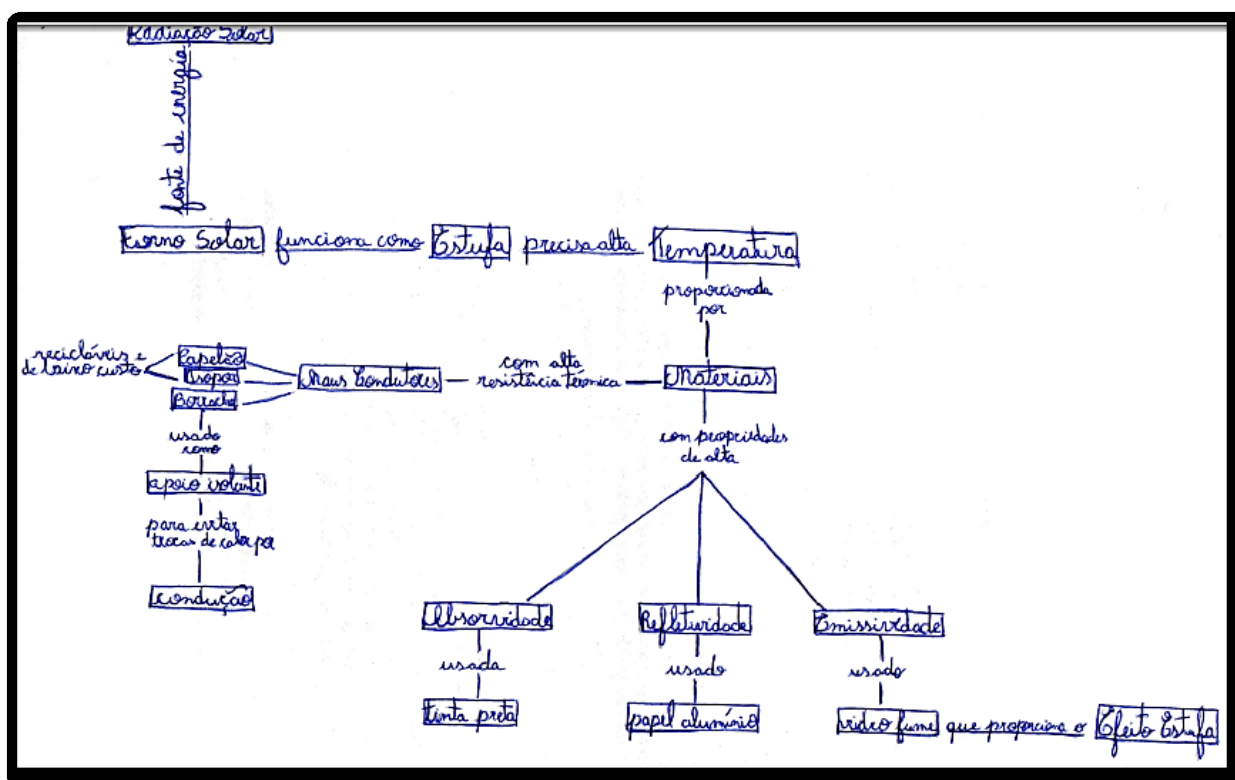
Figura 17 – mapa conceitual 1 elaborado pelo aluno **A19**.



Fonte: aluno **A19**.

Já em seu segundo mapa, conforme Figura 18, essas incoerências foram, em parte, modificadas. O aluno “associa ao alumínio à propriedade de refletividade” e “os materiais (são) maus condutores de calor, como o isopor, devido a sua alta resistência térmica”. A relação entre resistência e condutividade térmica é que “quanto maior for a condutividade térmica de um material, maior será a quantidade de calor transferida entre as suas superfícies e, conseqüentemente, menor será a sua resistência térmica” (LAMBERTS et al, 2014, p. 210).

Figura 18 – mapa conceitual 2 elaborado pelo aluno A19.

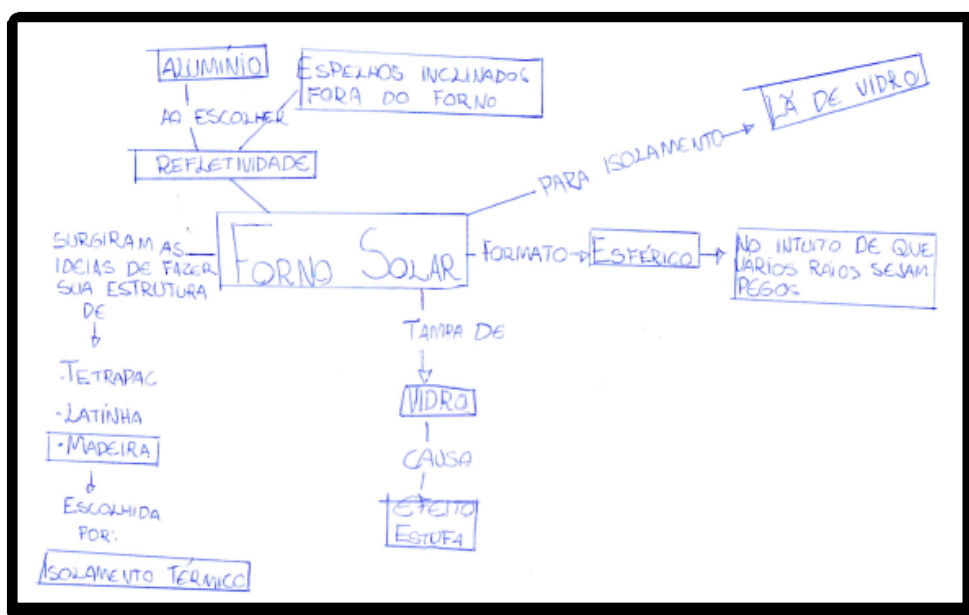


Fonte: aluno A19.

Da mesma forma que A19, o aluno A12 fez seu primeiro mapa de forma insatisfatória do ponto de vista científico, conforme Figura 19, explicitando basicamente os materiais utilizados na construção do forno. Analisando a figura, não é possível identificar conceitos válidos e/ou pertinentes, além de haver falta de palavras de ligação, o que nos permite dizer que não apresenta evidências de aprendizagem significativa.

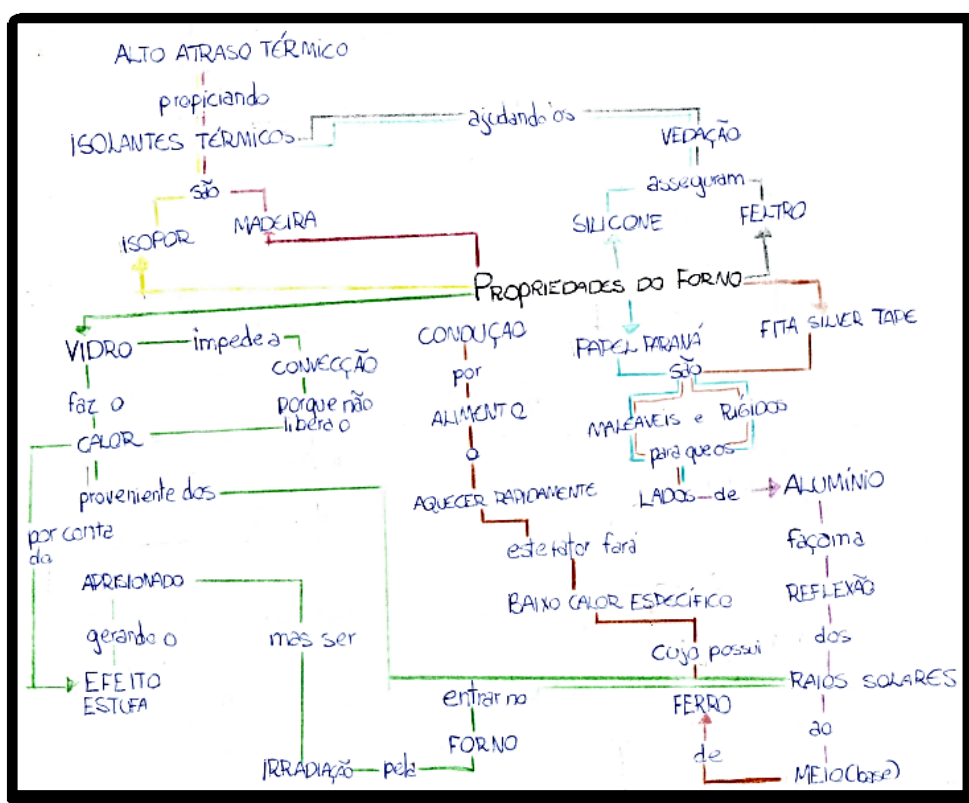
Já seu segundo mapa, mostrado na Figura 20, exibe uma gama de conceitos relacionados que dão conta de explicitar os materiais construtivos e seus vínculos com as propriedades térmicas correspondentes. Um excerto que ilustra essa afirmação foi extraído do texto explicativo, o qual diz que “(...) o ferro possuiu baixo calor específico, um fator que fará aquecer rapidamente o alimento por condução. A estrutura foi feita de isopor e madeira, pois estes são ótimos isolantes térmicos. Isto faz o forno ter um índice de alto atraso térmico em relação ao meio (ambiente)”.

Figura 19 – mapa conceitual 1 elaborado pelo aluno A12.



Fonte: aluno A12.

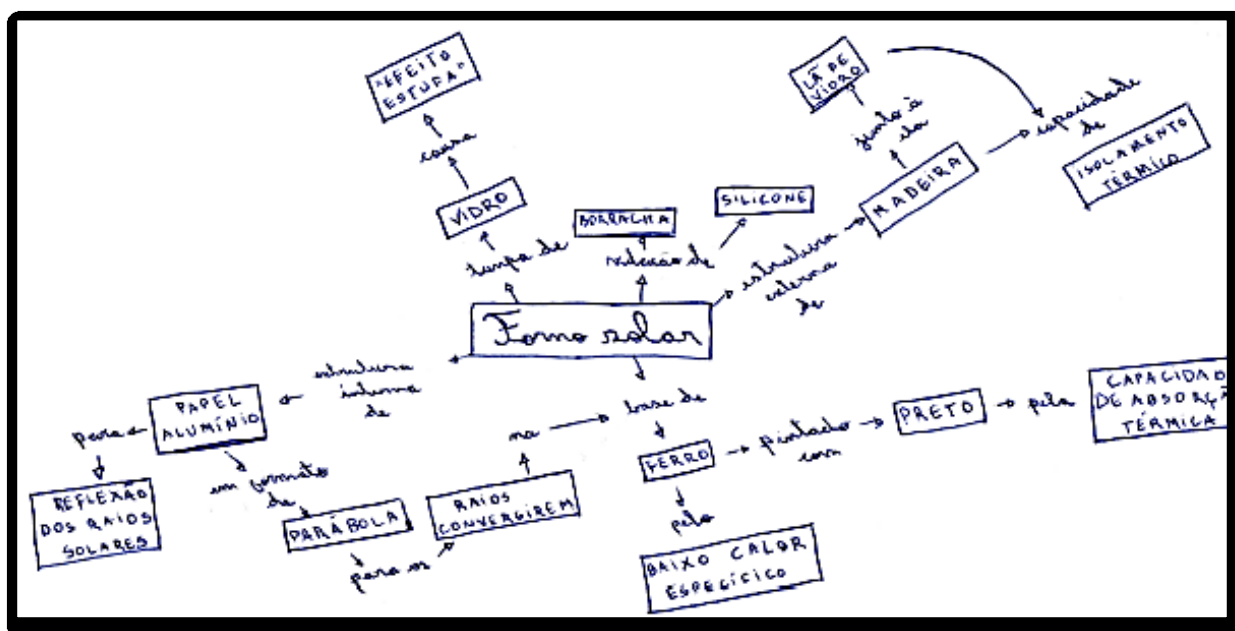
Figura 20 – mapa conceitual 2 elaborado pelo aluno A12.



Fonte: aluno A12.

Diferentemente de A12, em seu primeiro mapa mostrado na Figura 21, o aluno A7 externaliza, ainda que não em número satisfatório, os conceitos associados aos materiais utilizados na construção do forno, de forma direta. Por exemplo, “*utilizou o vidro porque causa o efeito estufa*”. Associações com essas características foram predominantes naqueles mapas classificados como parcialmente satisfatórios.

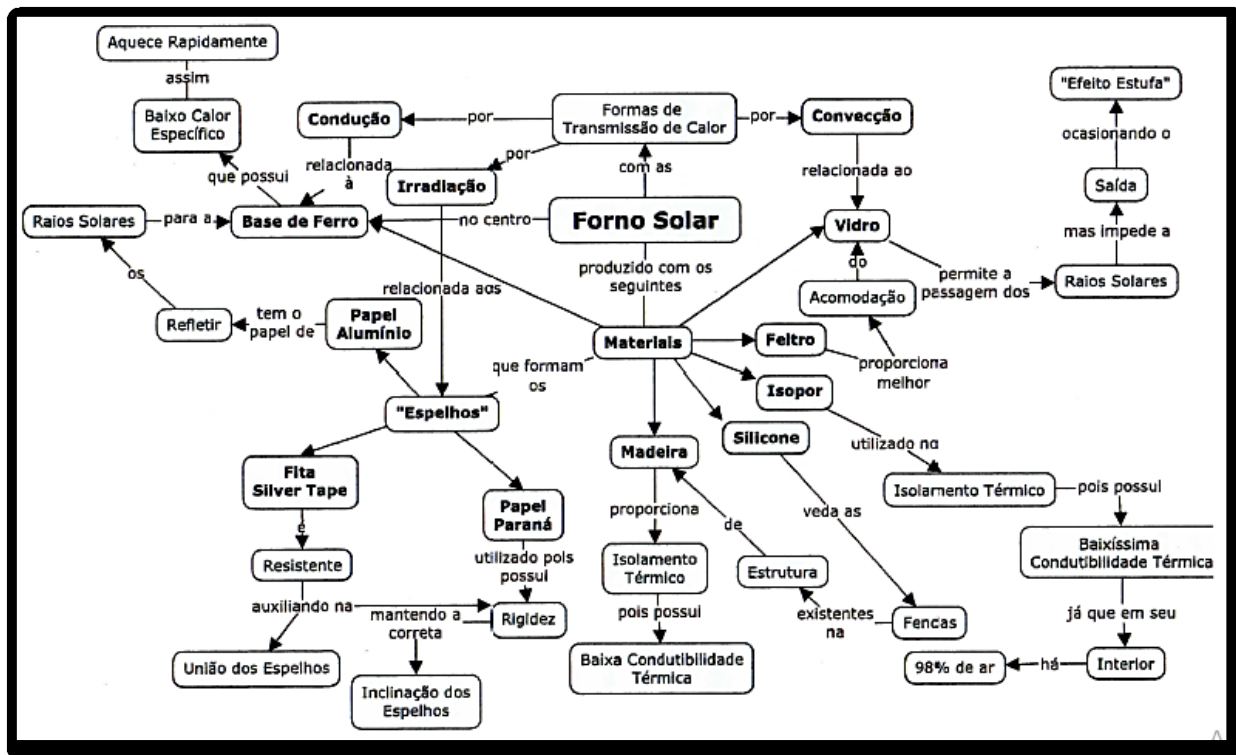
Figura 21 – mapa conceitual 1 elaborado pelo aluno A7.



Fonte: aluno A7.

O segundo mapa elaborado pelo aluno A7, mostrado na Figura 22, aponta indícios de aprendizagem significativa por relacionar os materiais utilizados e suas propriedades aos processos de transferência de energia na forma de calor, explicitando um número significativo de conceitos válidos, bem como relações pertinentes entre eles. Sobre a utilização do vidro, por exemplo, o aluno afirma, conforme trechos do texto explicativo e que pode ser visto no mapa, que “*acontece que, por convecção, o ar menos denso e mais quente sobe mas não consegue sair do interior impedido pelo vidro*”.

Figura 22 – mapa conceitual 2 elaborado pelo aluno A7.



Fonte: aluno A7.

Como explicitado, solicitamos aos alunos a construção de dois mapas, um no início e outro no final do estudo das situações norteadoras, objetivando identificar a evolução conceitual dos mesmos para as redes de significados atribuídos aos conceitos. Para ajudá-los a tornarem explícitas essas redes, em todos os instrumentos estivemos preocupados em favorecer o entendimento do campo conceitual da física térmica por meio da apresentação de diversos tipos de situações para representar um conceito, bem como mediante a utilização de vários conceitos para a compreensão das situações (VERGNAUD, 1982, 1998, 2007). Quando comparados os mapas, percebemos avanços significativos nos conceitos e nas relações entre eles. Ainda que boa parte dos mapas corresponda a uma explicação/descrição das propriedades dos materiais, esta converge com os resultados alcançados com o forno.

5.2.3 Considerações sobre o segundo bloco

Embora não tenhamos observado relações hierárquicas na maior parte dos mapas, identificamos vários conceitos válidos pertencentes às duas disciplinas, os quais aparecem

elencados no nosso mapa de referência, o que torna o forno solar um recurso importante para promover situações frutíferas de construção de aprendizagem significativa.

A utilização dos mapas em dois momentos distintos permitiu que acompanhássemos a evolução da rede conceitual dos alunos. Ainda que oito alunos não tenham demonstrado enriquecimento no comparativo entre seus mapas (ambos insatisfatórios), temos indícios para afirmarmos que este recurso favorece uma aprendizagem significativa, na medida em que, sendo idiossincrático, “os significados são, em grande medida, pessoais, e a representação esquemática do mapa estimula a criatividade nas novas relações que se estabelecem, permitindo novos níveis de integração” (RUIZ-MORENO, 2007, p. 461).

Fazendo um comparativo entre as apresentações dos fornos solares e dos mapas conceituais, é possível perceber em ambos, a integração entre os conceitos da física térmica e das propriedades térmicas dos materiais, objetivo maior da nossa investigação. Isso significa que os alunos precisaram desenvolver atividades mentais para selecionar conteúdos considerados significativos, estabelecer relações entre eles e com os conhecimentos prévios, e elaborar uma síntese gráfica das proposições (RUIZ-MORENO, 2007).

A construção do forno, nesse sentido, além de representar um elemento facilitador de integração das disciplinas, também favoreceu o desenvolvimento de procedimentos e valores. O conteúdo procedimental implica o saber fazer quando aplicado em situações práticas, de modo que para aprendê-lo “é necessário ter uma compreensão do que representa como processo, para que serve, quais são os passos ou fases que o configuram, etc. O que define sua aprendizagem não é o conhecimento que se tem dele, mas o domínio ao transferi-lo para a prática” (ZABALA, 1998, p. 207).

Os conteúdos atitudinais, em um trabalho colaborativo como o realizado pelos grupos, deixam claros valores como a solidariedade, o respeito ao outro e a responsabilidade, resultando em atitudes como a cooperação e a ajuda aos colegas por meio de normas estabelecidas pelos próprios grupos, sendo que sua aprendizagem “implica a análise dos fatores positivos e negativos, uma tomada de posição, um envolvimento afetivo e uma revisão e avaliação da própria atuação” (ZABALA, 1998, p. 48).

A aprendizagem desses conteúdos procedimentais e atitudinais foi revelada desde a construção dos roteiros do forno até a apresentação do mesmo, sendo ressaltada na escolha dos melhores materiais e das técnicas de vedação mais adequadas, testados por meio da observação e da experimentação, com vistas a planejar e reconstruir o protótipo para um melhor rendimento. Estas ações foram fruto de pesquisa e estudo de alunos com autonomia

para delimitarem as etapas para responder ao problema que tinham recebido, em uma atuação colaborativa de respeito mútuo e cooperação nas regras antecipadas entre os alunos.

Assumindo a importância desses três tipos de conteúdos, cabe destacar que buscamos, continuamente, favorecer que os alunos construíssem “na sala de aula, atitudes, conceitos e procedimentos que não conseguiriam elaborar sozinhos em contextos cotidianos e que, sempre que esses conhecimentos sejam funcionais, saibam transferi-los para novos contextos e situações” (POZO; CRESPO, 2009, p. 245), numa perspectiva de formação em todas as dimensões, sob os eixos do trabalho, da ciência e da cultura.

Sendo o forno o elemento motivador do trabalho para ambas as partes (professores e alunos), foi possível verificar, conforme destacado nas Tabelas 16 a 24 e nos mapas, indícios de aprendizagem significativa dos alunos decorrente da identificação, reconhecimento e relação de conceitos integrados, como isolantes e condutores térmicos, capacidade térmica, calor específico, reflexividade e absorvidade, efeito estufa, etc.

As justificativas dadas pelos alunos para a escolha dos materiais dão conta de descrever, comparar e aplicar conhecimentos necessários para a compreensão das trocas térmicas que ocorrem no forno, o que revela, conforme Sobieciak (2017) evidência de aprendizagem significativa devido a eles disporem de significados claros, precisos, diferenciados e transferíveis; desenvolvimento, elaboração e diferenciação de conceitos, em termos de detalhe e especificidade e incorporação de proposições e conceitos novos.

Da mesma forma que apresentado no primeiro bloco de instrumentos, neste, os alunos continuam externalizando calor como substância. Embora essas concepções manifestem-se na fala dos alunos, sabemos que dificilmente conseguiríamos modificá-las. Disso decorre que temos indícios de aprendizagem significativa dos conceitos elencados anteriormente, pois, para Pozo e Crespo (2009), o aluno internaliza um conceito quando dá significado aos materiais ou situações, traduzindo-o para suas palavras próprias. Ainda, para esses autores, a mudança conceitual deve possibilitar a construção de diferentes tipos de conhecimentos ou representações para serem aplicados, de forma pertinente, em contextos ou tarefas diversas.

Uma vez que os alunos foram sujeitos ativos na construção do conhecimento, cabendo a eles o direcionamento das aulas por meio de suas pesquisas sobre as situações norteadoras, atribuímos a estas a centralidade de nossa investigação, no sentido que as elaboramos de forma a abarcar os principais conceitos do campo conceitual da física térmica em integração com as propriedades térmicas dos materiais. Isso corrobora às ideias de Vergnaud (1998, 2013), que define um campo conceitual como um conjunto de situações, que requer um conjunto de conceitos interligados, sendo que nosso papel, no processo de ensino-

aprendizagem, correspondeu essencialmente em ajudar os alunos a desenvolverem seus repertórios de esquemas e representações.

Consideramos que as sete situações norteadoras apresentadas aos alunos para ajudá-los na resolução do problema que receberam sobre a construção do forno solar foram profícuas, pois abrangeram diversos conceitos da física térmica, resultando em um trabalho exitoso. Decorridos, quase nove meses após o término da nossa segunda intervenção, os alunos retomaram de forma satisfatória, com indicativo de aprendizagem significativa, conteúdos conceituais relativos aos materiais construtivos e suas propriedades térmicas, bem como conteúdos procedimentais e atitudinais relacionados ao processo de construção do forno.

Findada a análise do segundo bloco de instrumentos, passemos agora à análise do terceiro bloco, que corresponde à prova interdisciplinar (I6) e ao questionário de opinião (I7).

5.3 TERCEIRO BLOCO DE INSTRUMENTOS

Neste terceiro bloco, apresentamos os resultados alcançados por meio da aplicação da prova interdisciplinar (I6), elaborada, aplicada e corrigida conjuntamente pelos professores, e do emprego do questionário de opinião (I7) sobre o trabalho desenvolvido.

5.3.1 Prova Interdisciplinar

Entendemos que a avaliação é um processo que deve fazer parte da rotina da sala de aula, sendo coerente com a forma de trabalho, ou seja, “se não muda a forma de trabalho, não há mudança da avaliação que se sustenta. Mas é através da avaliação, que podemos perceber a necessidade da mudança e chegar a reformular a prática pedagógica” (FAZENDA et al., 2009, p. 43). De acordo com Novak (2000), a avaliação é um elemento importante que deve ser valorizado no processo de ensino-aprendizagem, especialmente quanto à capacidade que os instrumentos têm para avaliar se o conhecimento foi aprendido de forma significativa.

Buscamos com a aplicação da prova, indícios de que os alunos, além de terem aprendido significativamente os conceitos das duas disciplinas, davam conta de relacioná-los em questões interdisciplinares. Ainda que a prova represente apenas um instrumento de avaliação, ela faz parte de um conjunto de instrumentos convergentes que abordam os conceitos da física térmica e das propriedades térmicas dos materiais, não sendo utilizada de forma aleatória e isolada. Isso significa que não foi o único instrumento utilizado na avaliação

dos alunos, a qual teve foco no processo e ocorreu durante todo o período de aplicação da proposta interdisciplinar desenvolvida. Passemos agora à análise das questões da prova (16).

Questão 01 (16): para construírem o forno solar, foi necessário que vocês escolhessem os materiais de acordo com suas propriedades físicas para manter o interior do mesmo o mais aquecido possível. Por exemplo, utilizaram a cor preta em função da maior absorvidade térmica e conseqüentemente, menor taxa de refletividade. Fazendo o contraponto com uma edificação, para melhorar o conforto térmico, pode ser utilizado o alumínio polido como subcobertura em telhados. Qual propriedade justifica a escolha do alumínio polido? Quais as características dessa propriedade?

Essa questão foi proposta para verificar como os alunos relacionam o fluxo de energia na forma de calor com os materiais construtivos que promovem ganhos no conforto da edificação. Enquanto o forno solar teve suas faces pintadas de preto, para absorver uma maior quantidade de radiação, em uma edificação é importante que a superfície absorva uma menor quantidade dela. No entanto, ao utilizar o alumínio polido como subcobertura, a propriedade que deve ser levada em consideração é a emissividade, uma vez que esses materiais auxiliam na redução do calor no interior da edificação durante o período de verão, mas o conservam no inverno (DUART et al., 2016).

Sobre o conceito de emissividade, cinco alunos responderam de forma coerente com a cientificamente aceita, vinte e um de forma parcialmente coerente e quatro de maneira inconsistente. Enquanto as taxas de absorvidade e de refletividade da radiação são inversamente proporcionais, a emissividade é uma propriedade física que corresponde à quantidade de energia térmica emitida por unidade de tempo (LAMBERTS, et al., 1997). A partir dessa propriedade, os materiais construtivos são divididos entre metálicos e não metálicos. Por exemplo, enquanto uma chapa de alumínio nova e brilhante emite 5% de energia térmica, um revestimento asfáltico pode emitir até 98% dela (DUART et al., 2016).

Os alunos que responderam de forma inconsistente argumentaram que a função do alumínio polido como subcobertura é a de *“reter mais calor e esquentar a edificação”* (aluno A1). Já o aluno A2, com o mesmo raciocínio, escreveu que se utiliza esse material, pois ele *“segura” o calor dos raios solares*. Aparece nas respostas desses alunos a concepção de calor como substância, como reportado na literatura.

As respostas parcialmente coerentes do ponto de vista científico indicaram a utilização do alumínio polido para refletir a radiação solar. Embora a refletividade seja uma propriedade associada a este tipo de material, quando ele é utilizado como subcobertura, não faz sentido dizer que ele reflete a radiação solar. O excerto do aluno **A3** indica que *“esse material reflete os raios solares, não deixando a parte superior absorver essa radiação”*. De forma semelhante, o aluno **A4** defende a utilização do alumínio polido em função de sua refletividade, *“ou seja, não armazena calor, pois o reflete de volta para o meio”*. Ainda que essas respostas não expressem a propriedade da emissividade, representam uma das funções do alumínio polido, caso ele seja utilizado como cobertura de telhados. Uma vez que estes alunos conseguiram associar este tipo de material a uma de suas finalidades, que é a de reflexão, consideramos suas respostas parcialmente coerentes do ponto de vista científico.

Das respostas coerentes do ponto de vista científico, o aluno **A5** argumenta que a utilização do alumínio polido é em razão da sua *“emissividade, pois ela que determina a quantidade de energia térmica que a superfície estará emitindo [...] O alumínio vai emitir pouca energia térmica para o meio interno”*. De forma mais completa, o aluno **A6** destaca que esse material tem *“baixa emissividade e alta reflexão, não possuindo boa absorção. Ele, por não possuir alta emissividade, ao esquentar, não irá emitir muita energia ao ambiente, assegurando o conforto térmico, principalmente no verão. Também irá refletir parte da energia que passa pela telha, assegurando que o calor não passe, principalmente se associado a uma camada de ar”*. É possível perceber na resposta desse aluno que o mesmo ainda cita outra forma de melhorar o conforto térmico de uma edificação, que é de utilizar uma câmara de ar para reduzir as trocas de energia na forma de calor, o que representa um indício de aprendizagem significativa, em virtude de o aluno possuir significados claros e transferíveis entre situações (MOREIRA; MASINI, 1982).

Analisando as respostas para a primeira questão, por mais que apenas cinco alunos tenham respondido de forma coerente com a cientificamente aceita, os vinte e um que responderam de modo parcialmente coerente deram respostas compreensíveis com pelo menos uma das propriedades do alumínio polido, seja a sua alta taxa de reflexão ou a sua baixa taxa de absorvidade. Desse modo, podemos dizer que a maioria dos alunos deu respostas satisfatórias, relacionando de forma coerente ou parcialmente coerente do ponto de vista científico o conceito à aplicação prática para um conforto térmico das edificações, permitindo inferir indícios de aprendizagem significativa.

Questão 02 (I6): Por que componentes construtivos com elevada capacidade térmica são indicados para climas quentes e secos onde a temperatura atinge valores muito altos durante o dia e extremamente baixos durante a noite?

Essa questão foi elaborada novamente com o intuito de verificar como ocorre a integração do conceito de capacidade térmica, tratado igualmente pelas disciplinas, relacionado à quantidade de energia na forma de calor necessária para um corpo variar sua temperatura em uma unidade. Referindo-se aos materiais construtivos, essa variação ainda considera a área, tendo relação com a inércia térmica das edificações.

Oito alunos responderam de forma coerente do ponto de vista científico, dezesseis de forma parcialmente coerente e seis insatisfatoriamente. As respostas da primeira categoria estavam de acordo com Duart et al. (2016), que em edificações com baixas inércias térmicas, a temperatura interna acompanha rapidamente a variação da temperatura externa. Ambientes como aquele descrito na questão, é importante a escolha de materiais com grande inércia térmica para contribuir para o atraso térmico.

Exemplo deste tipo de resposta coerente do ponto de vista científico foi dado pelo aluno **A7**, o qual escreveu que *“elementos com elevada capacidade térmica são indicados, pois demoram tanto para absorver o calor, como demoram para liberá-lo. Assim, durante o dia, será lento o aquecimento da parte interna da edificação, o que é o ideal para que não haja elevado aquecimento interno durante o período de exposição ao sol. Já durante a noite, o calor “absorvido” durante o dia demora para retornar ao meio externo, deixando o interior quentinho em relação à parte externa que encontra-se com temperatura mais baixa”*.

A resposta acima exposta pode indicar que o aluno, ainda que de forma implícita, aplicou corretamente o conceito de atraso térmico, que é definido como o “tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor” (NBR 15220-1: 2003) e depende da capacidade térmica do componente construtivo.

Duart et al. (2016) salientam que quanto maior o atraso térmico de um fechamento, mais demorada será a variação térmica entre o ambiente interno e o externo da edificação. Da resposta do aluno **A7** podemos inferir que houve aprendizagem significativa do conceito de capacidade térmica pelo fato de o aluno ter desenvolvido, elaborado e diferenciado o conceito, em termos de detalhe e especificidade (SOBIECZIAK, 2017).

De maneira parcialmente coerente do ponto de vista científico, o aluno **A9** justifica que *“o material vai impedir a troca de calor dos ambientes internos com os externos”*. Consideramos esta resposta como parcialmente coerente em virtude de os materiais com alta capacidade térmica não impedirem as trocas de energia na forma de calor entre os ambientes, mas sim diminuírem a amplitude térmica no interior da edificação em relação ao exterior, evitando os picos (LAMBERTS et al., 2014).

Dos seis alunos que responderam a questão de forma incoerente do ponto de vista científico, apresentamos excertos escritos por dois deles. Para o aluno **A18**, um material de alta capacidade térmica é recomendado, pois *“quanto maior a temperatura do ar, menor sua densidade e maior quantidade poderá conter. Em locais com alta umidade, a transmissão de radiação solar é reduzida, isso pode ser alterado pela presença de vegetação e água”*. Percebe-se, assim, que o aluno não conseguiu explicitar sua resposta em termos de conceitos cientificamente relevantes. Por sua vez, o aluno **A11** ilustra o fato de a “cola autorizada”, se não elaborada de forma plausível, não garante o entendimento e entrelaçamento dos conceitos. Ele destaca, em sua resposta, uma parte da norma técnica, descrita em sua “cola”, argumentando de forma desconexa, que *“paredes externas leves e refletoras; as coberturas pesadas, mas vedações internas pesadas, área de ventilação média”*, são o que garantem o conforto das edificações.

Novamente, ainda que somente oito alunos tenham respondido a questão de forma totalmente coerente do ponto de vista científico, outros dezesseis externalizaram seus conhecimentos fazendo-os convergir pelo enfoque das duas disciplinas, dando indícios de aprendizagem significativa do conceito de capacidade térmica, seja indicando posse de significados claros e transferíveis, diferenciação do conceito em termos de especificidade e detalhes, ou ainda indicativos de aquisição de novos significados (SOBIECZIAK, 2017).

Questão 03 (16): dentro de uma edificação, as trocas térmicas ocorrem continuamente. No inverno, por exemplo, para impedir que ocorra perda de energia na forma de calor de dentro da residência, é interessante não ter pontos de fuga, como janelas e/ou portas abertas. Efeito similar a este foi utilizado na construção do forno. Imaginemos que uma casa tenha estado fechada por um período longo de tempo. Ao entrar nessa casa e logo tocar em alguns objetos, você tem a sensação de que os metálicos estão mais frios do que os não metálicos. Devido a qual propriedade física isso acontece? Explique.

Essa questão exigiu que os alunos aplicassem seus conhecimentos sobre o processo de troca de energia na forma de calor por condução e a respectiva taxa de condutividade térmica dos materiais, sendo que aqueles que apresentam altos valores dessa taxa conduzem a energia na forma de calor mais rapidamente do que aqueles de baixa taxa. E é devido a essa diferença que temos a sensação de que os metais apresentam temperaturas mais baixas em relação aos isolantes térmicos, mesmo quando estão à mesma temperatura.

Cinco alunos deram respostas coerentes do ponto de vista científico, dezesseis de forma parcialmente coerentes e nove incoerentes. Para algumas respostas parcialmente coerentes do ponto de vista científico, consideramos a justificativa dada em função do calor específico, uma vez que, os alunos possam ter o entendimento que “o calor específico é uma espécie de inércia térmica porque expressa a resistência de uma substância a mudanças em sua temperatura” (HEWITT, 2009, p. 185).

Um exemplo para ilustrar isso é a resposta dada pelo aluno **A12**, o qual argumentou que “*os metais possuem uma característica diferente dos ametais, que é o baixo calor específico. Esse fator faz ele entrar rapidamente em equilíbrio térmico com o meio que lhe é fornecido*”. Essa resposta indica que o aluno relaciona o fato de os metais parecerem estar a uma temperatura mais baixa que os demais materiais em função de necessitarem menor energia na forma de calor para sofrerem variação de temperatura. Novamente aqui vale a ressalva de que são necessários mais momentos de estudo entre os professores para ambos explicarem os fenômenos que acontecem em função dos mesmos conceitos e propriedades, evitando, assim, incoerências e obstáculos cognitivos aos alunos.

Outra resposta na mesma categoria foi assinalada pelo aluno **A13**, que justificou o fenômeno “*devido à condução, causado por uma diferença de temperatura entre dois materiais em um mesmo meio. A condução ocorre de forma mais eficiente em metais, pois são bons condutores de energia em forma de calor*”. Ainda que este aluno não tenha explicado o processo de troca térmica por condução, cabe destaque à forma como ele se expressa, demonstrando uma evolução na linguagem.

De modo inconsistente, o aluno **A14** argumentou que “*os objetos metálicos estão mais frios por causa da baixa absorvidade térmica desses materiais*”, o que não exprime relação com conceitos pertinentes. Já o aluno **A18** respondeu a questão baseado no conceito de evaporação, afirmando que “*isso ocorre devido a evaporação, os objetos metálicos ficam úmidos e conseqüentemente mais frios que os demais*”, o que não é relevante nesta situação.

Já de forma coerente com a cientificamente aceita, o aluno **A15** destacou que o fenômeno “*tem relação com a condutibilidade térmica, pois o metal é um bom condutor,*

então, ao tocar um objeto metálico temos a sensação de que ele está mais frio, mas na verdade o que ocorre é que ele absorve rapidamente a energia na forma de calor contida na superfície da nossa pele, resfriando a nossa pele, por assim dizer e fazendo parecer que é o metal que se encontra frio”. Novamente é importante destacar a forma como o aluno se refere ao calor, como uma energia, representando uma evolução na linguagem. Mas ainda, como a mudança conceitual ocorre de maneira gradual, o aluno não abandonou a concepção de que os corpos têm calor (substância), tal como apontado por Amaral e Mortimer (2001).

Embora em menor porcentagem que nas questões anteriores, ainda a maior parte dos alunos demonstrou conhecimento satisfatório nessa questão, também nos permitindo afirmar que temos indícios de aprendizagem significativa da propriedade da condutividade térmica e do processo de troca de energia na forma de calor por condução. Esses indícios surgem de incorporação de proposições a conceitos novos, o que reflete a aquisição de novos significados, bem como da elaboração e diferenciação de conceitos (SOBIECZIAK, 2017).

Questão 04 (I6): complete os espaços com uma das palavras entre parênteses para tornar a frase correta:

I. Quanto maior a altitude, menor é a pressão atmosférica e _____ é a temperatura de ebulição da água. (menor, maior).

II. Durante o dia, a temperatura no deserto é elevada, e à noite sofre uma grande redução. Isso ocorre em virtude do _____ calor específico da areia. (grande, pequeno).

III. Uma roupa escura absorve _____ quantidade de radiação que uma roupa clara. (maior, igual, menor).

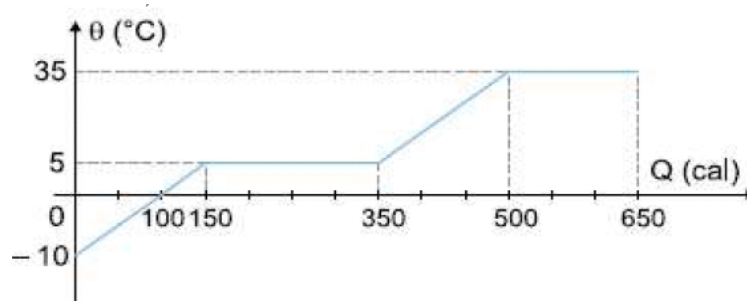
IV. A transferência de calor do Sol para a Terra é feita pelo processo de _____. (condução, convecção, irradiação).

A quarta questão exigiu que os alunos retomassem os conceitos abordados pelos professores quando aplicados em fenômenos mais diretos frente às situações norteadoras. Em todas as frases os alunos deveriam utilizar uma palavra, dentre as dadas, que as transformassem em corretas.

Dezesseis alunos completaram as quatro frases de forma correta, doze responderam de forma incorreta apenas uma delas (oito a afirmativa I, três a afirmativa II e um a afirmativa IV); os outros dois alunos erraram duas afirmações (um a I e IV e outro, a I e a II). O maior número de erros na afirmação I pode ser resultado da não compreensão da relação entre

pressão e temperatura, que pode ser entendida levando em consideração a variação da pressão com a altitude e também com o efeito da temperatura de cozimento dos alimentos quando estes são colocados em uma panela de pressão. Ainda que tenhamos feito a relação entre esses conceitos ao longo das aulas, consideramos importante, para as próximas intervenções, fazê-la de maneira mais explícita, como forma de facilitar o entendimento dos alunos.

Questão 05 (I6): sabe-se que o homem se sente melhor em um ambiente com umidade baixa, mesmo com temperatura elevada, do que em lugares de umidade elevada e temperaturas menores, devido ao fato de, nestes últimos, o suor demora mais para evaporar. A evaporação ocorre por meio de trocas de energia na forma de calor latente, uma vez que há mudança de fase. Sobre esse conceito, o gráfico a seguir refere-se à transformação de 20g de uma substância que se encontra, inicialmente, no estado sólido. Com base no gráfico, julgue as afirmativas abaixo como verdadeiras (V) ou falsas (F), justificando as falsas.



- A capacidade térmica da substância no estado líquido é igual a $10\text{cal}/^\circ\text{C}$.
- A temperatura de fusão da substância é 35°C .
- A temperatura de vaporização da substância é 5°C .
- O calor específico da substância no estado sólido é igual a $0,5\text{cal}/\text{g}\cdot^\circ\text{C}$.
- O calor latente de fusão da substância é igual a $10\text{cal}/\text{g}$.

Referente a essa questão, os alunos deveriam explicitar seus conhecimentos, à primeira vista, somente da disciplina de física, pelo maior enfoque matemático. Contudo, novamente os conceitos são interligados, como por exemplo, para entender os mecanismos termorreguladores (mudança de fase). Como fizemos uma divisão de alguns conceitos, a física ficou responsável por abordar com maior ênfase o calor latente e o calor sensível, enquanto conforto deu maior destaque aos processos de trocas de energia na forma de calor. Apenas seis alunos responderam adequadamente essa questão, que utilizava representações simbólicas e suas relações, enquanto que vinte e três obtiveram êxito em alguma(s) afirmação(ões) e um deixou a questão em branco.

A primeira asserção foi justificada de forma inconsistente por dez alunos. Como se percebe no gráfico, quando no estado líquido, a substância necessita de 150cal para variar sua temperatura em 30°C. Logo, o valor da capacidade térmica, neste estado, é 5cal/°C. Com uma resposta coerente, o aluno A7 justificou que “*são “gastos” 150cal para elevar a temperatura em 30°C, no estado líquido. Assim, são necessárias só 5cal/°C, ou seja, 5 calorias para elevar a temperatura da substância em 1°C*”. Essa resposta indica que o aluno possui um significado claro para a capacidade térmica, além de saber interpretar corretamente o gráfico dado.

As segunda e terceira asserções, respectivamente, foram respondidas incorretamente por dez e sete alunos. Estes não interpretaram adequadamente o gráfico, confundindo as curvas de fusão e de vaporização. Como se percebe, a vaporização da substância ocorre à 35°C, enquanto a fusão, à 5°C. Apesar da ocorrência de poucas respostas coerentes do ponto de vista científico, esta questão também foi apresentada de forma diferente daquela vista em aula, em que os alunos construíram o gráfico das mudanças de fase a partir das informações fornecidas. Esta diferença na forma de apresentação da questão está de acordo com a proposta de Ausubel (2003), que afirma que os testes de compreensão devem ser elaborados em diferentes linguagens, num contexto diferente do material aprendido, exigindo transformação do conhecimento, a fim de dificultar a memorização de proposições, das fórmulas principais, de exemplos e de problemas similares.

Oito alunos não responderam de forma adequada com a cientificamente aceita a quarta asserção, na qual os 20g da substância no estado sólido necessitam de 150cal para variar sua temperatura em 15°C. Disso decorre que seu calor específico é de 0,5cal/g.°C. Na Figura 19 apresentamos a resposta do aluno A16, que respondeu de forma incorreta esta alternativa, julgando-a como falsa. Verificando a figura, percebe-se que o aluno não considerou o intervalo adequado de temperatura, indicando não compreensão das mudanças de fase envolvidas para a obtenção do calor específico.

Figura 19 – resolução feita pelo aluno A16 à questão 5d da prova interdisciplinar.

The image shows a handwritten calculation in blue ink on lined paper, enclosed in a black rectangular box. The calculation is as follows:

$$C = \frac{150 \text{ cal}}{30^\circ\text{C}} = 5 \text{ cal}/^\circ\text{C} \quad c = \frac{5 \text{ cal}/^\circ\text{C}}{20 \text{ g}} = 0,25 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$$

Fonte: material produzido pelo aluno A16.

Equívoco semelhante foi cometido pelo aluno **A12** (Figura 20), de modo que não é possível inferir quais dados foram utilizados para o cálculo da capacidade térmica, indicando que o mesmo não consegue identificar a curva correspondente ao estado sólido da substância.

Figura 20 – resolução feita pelo aluno **A12** à questão 5d da prova interdisciplinar.

$$dQ = \frac{C}{m}$$

$$c = \frac{15}{20}$$

$$c = 0,75 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$$

Fonte: material produzido pelo aluno **A12**.

Referente à quinta asserção da questão, treze alunos a responderam de forma inconsistente. Do gráfico, percebe-se que a curva referente à fusão é aquela na qual a substância necessita de 200cal para mudar completamente de fase, à temperatura constante de 5°C. Os erros cometidos pelos alunos indicam que os mesmos não compreenderam as curvas de mudança de fase expressadas em um gráfico. A Figura 21 apresenta este equívoco a partir da resolução feita pelo aluno **A17**, da qual temos indícios para acreditar que a quantidade de energia na forma de calor de 150cal é correspondente à curva de vaporização.

Figura 21 – resolução feita pelo aluno **A17** à questão 5e da prova interdisciplinar.

$$Q = mL \quad 150 = 20L \quad 20L = 150 \quad L = \frac{150}{20} = 7,5 \text{ cal/g}$$

Fonte: material produzido pelo aluno **A17**.

Sobre os erros cometidos pelos alunos naquelas afirmações que necessitavam de análise dos gráficos, é importante destacar que “o trabalho com as representações gráficas não é algo que resulte simples para os alunos, nem que eles aprendam por si sós [...] O aluno precisa ter treinamento tanto nas técnicas de representação de dados como nas de

interpretação dessas representações” (POZO; CRESPO, 2009, p. 238). E isso precisa de uma construção gradativa, que vai se aperfeiçoando na medida em que se exercitam as técnicas.

Das questões da prova, a quinta foi a que teve um maior número de erros. Podemos atribuir este comportamento aos seguintes fatores: (i) a questão foi apresentada de forma diferente daquela trabalhada em aula, o que pode ter desestabilizado os alunos além da zona de desenvolvimento proximal; (ii) ainda que os conceitos abordados na questão se referissem às duas disciplinas, os alunos podem não ter conseguido perceber essa relação, especialmente no caso das curvas de mudança de fase; (iii) diversos alunos apresentaram dificuldade na resolução de problemas matemáticos, nas representações simbólicas e suas relações, bem como na leitura de gráficos, indicando dificuldades operacionais relacionadas aos conceitos matemáticos envolvidos e; (iv) a dificuldade dos alunos na compreensão de que um corpo pode receber ou ceder energia na forma de calor sem que sua temperatura sofra variação, corroborando às idéias de Louzada et al. (2015), que os alunos têm a concepção que aquecimento sempre resulta em uma elevação da temperatura.

A partir dos apontamentos elencados acima, os resultados obtidos nos apontam a necessidade de desenvolver um trabalho mais detalhado sobre os conceitos envolvidos, destacando, de forma mais clara, as relações entre as disciplinas e aprofundando a representação simbólica das variáveis envolvidas nas mudanças de fase.

Depois da análise da prova interdisciplinar, a seguir apresentamos as respostas obtidas com a aplicação do questionário de opinião (I7), no encontro 27 (aula do dia 29.06.17).

5.3.2 Questionário de opinião

Como última, mas não menos importante etapa da investigação, desenvolvida coletivamente para dar significado aos alunos dos conceitos da física térmica e das propriedades térmicas dos materiais, aplicamos um questionário (I7) no qual os alunos deveriam expor suas visões e experiências sobre o trabalho. Essas respostas, ao mesmo tempo que nos ajudam a responder nosso problema de pesquisa, nos indicam aspectos a serem melhorados. Como os alunos não se identificaram ao responder o questionário, consideramos as respostas de todos eles. Passemos agora à análise das respostas dadas às questões.

Questão 01 (I7): foi possível perceber que as disciplinas de física e conforto térmico foram trabalhadas de forma diferenciada? Justifique em quais aspectos.

Nesta primeira pergunta apenas um aluno afirmou não ter conseguido perceber a forma diferenciada de trabalho, mas sem justificar sua resposta. Os outros trinta e dois deram respostas positivas sobre a investigação. Para catorze deles, embora os conceitos fossem praticamente os mesmos, o enfoque dado foi diferente, ficando clara a divisão de algumas situações, como expressado em: *“apesar do conteúdo ser o mesmo, dava para perceber a diferença entre elas, pela forma de ensino dos professores, principalmente nas fórmulas, onde a professora de conforto passava mais conceitos e o professor de física, mais cálculos”* (aluno anônimo). Outro aluno respondeu que *“as disciplinas se conciliaram, contudo, a parte das normas de conforto não foi possível ver física”* (aluno anônimo). Essa resposta nos aponta sugestão de melhoria para as próximas intervenções, buscando explicitar, de forma ainda mais clara, os conceitos físicos envolvidos nas normas técnicas.

Três alunos argumentaram que perceberam essa complementaridade das disciplinas ao afirmarem, por exemplo, que *“as duas disciplinas são parecidas e as duas tem conceitos muito parecidos, com conceitos iguais”* (aluno anônimo), indicando que perceberam a interação no trabalho desenvolvido.

Dez alunos destacaram a utilização de atividades experimentais referente à construção do forno solar para essa aproximação das disciplinas, uma vez que os professores *“usaram atividades práticas e conceitos relacionados ao cotidiano para ensinar o conteúdo”* (aluno anônimo), e ainda que *“foi possível ver na prática diversos conceitos em vez de apenas decorarmos para uma avaliação”* (aluno anônimo). Essas expressões mostram a importância desse tipo de atividade, quando desenvolvida com objetivo investigativo para favorecer a aprendizagem significativa.

Os demais cinco alunos disseram ter percebido a forma diferente no trabalho em função do andamento das aulas e dos objetivos propostos. Algumas respostas que ilustram isso são que *“as aulas eram bem dinâmicas e as matérias possuíam uma inter-relação”* (aluno anônimo), relação esta que sempre tentamos deixar clara para os alunos e; *“a aplicação de ambas as matérias foi bem dinâmica e colaborativa”* (aluno anônimo), de modo que essas falas corroboram a importância do diálogo no nosso fazer pedagógico.

Questão 03 (I7): melhorias já foram realizadas nesta segunda aplicação da pesquisa. Contudo, como essa atividade será adotada como prática contínua, o que é preciso ser modificado/perfeccionado para que fique mais explícita a sintonia entre as disciplinas e entre os professores?

As respostas dadas pelos alunos a essa questão foram agrupadas da seguinte forma. Onze alunos argumentaram que a forma com que desenvolvemos as aulas foi adequada à proposta, tal como expressado em *“ficou muito explícita a sintonia, acho que está ótimo”* (**aluno anônimo**) e *“creio que as disciplinas trabalharam muito bem juntas”* (**aluno anônimo**), representando que um número representativo de alunos percebeu a harmonia na maneira de desenvolvermos nossas aulas.

Para sete alunos, as aulas seriam enriquecidas se destinássemos mais tempo para a construção do protótipo ou ainda se os auxiliássemos na fabricação do mesmo, tal como mostra o excerto *“ter mais aulas para auxiliar a montagem do forno”* (**aluno anônimo**). Esse indicativo nos leva a pensar, talvez, em irmos construindo o forno no decorrer das aulas (no espaço escolar), conforme as situações norteadoras forem sendo respondidas e estudadas.

Um grupo de oito alunos apontou a necessidade de mais aulas em conjunto, reforçando a indispensável troca de saberes entre os professores, a fim de favorecer a integração conceitual. Destes alunos ainda, um salientou que é preciso *“aulas integradas, planejamento melhor dos conteúdos trabalhados, como não repetir a mesma explicação”* (**aluno anônimo**). Porém, o que o aluno quis dizer com *“não repetir a mesma explicação”* pode representar justamente o nosso esforço em mostrar a complementaridade dos conceitos ou a abrangência das situações norteadoras nas duas disciplinas.

As respostas dadas pelos demais seis alunos apontam modificações a serem feitas relacionadas aos conteúdos, tal como *“deveria ser menos cobrada a questão das zonas bioclimáticas, esta parte teve muitas questões na prova”* (**aluno anônimo**) e *“resolver mais cálculo relacionados ao conteúdo”* (**aluno anônimo**). Sobre a questão dos cálculos na prova, foi recorrente nas considerações gerais do questionário a necessidade de mais questões de cunho matemático. Isso pode ser um representativo do caráter linear e predominantemente matemático comumente atribuído à física na escola básica e que tentamos desmistificar ao longo do trabalho.

Questão 04 (I7): na prova integrada, você conseguiu identificar a conexão das duas disciplinas? Isso facilitou ou dificultou o entrelaçamento dos conceitos abordados?

Referente à complementaridade das disciplinas na prova, cinco alunos responderam que não conseguiram percebê-la. Os demais vinte e oito alunos afirmaram perceber essa relação, mas (i) quatro deles acharam que este modelo de prova dificultou a resolução, o que

pode ser reflexo do tipo de questão que habitualmente estão acostumados nas avaliações e; (ii) os outros vinte e quatro argumentaram que os conceitos estavam entrelaçados, facilitando a resolução das questões pois, *“além de fixar mais os conceitos, consegui compreender a parte teórica do conceito em física juntamente com a aplicação na edificação, em conforto”* (**aluno anônimo**). Esses dados nos impulsionam a aprimorar cada vez mais nossas ações, buscando o fazer interdisciplinar entre essas disciplinas e também com outras, além de planejamento de mais instrumentos avaliativos conjuntos.

Questão 06 (I7): qual a importância atribuída à tarefa de construção do forno solar para a aprendizagem dos conceitos envolvidos? A linguagem utilizada pelos professores ao debaterem as situações norteadoras eram similares para definir/elucidar os conceitos?

Trinta e dois alunos levantaram positivamente a construção do forno enquanto atividade prática para facilitação da aprendizagem. Algumas das respostas que ilustram isso são: *“o forno solar foi de extrema importância, pois tivemos de aprender na prática os conceitos para a eficiência do forno. A linguagem foi de fácil entendimento e serviu para elucidar os conceitos”* (**aluno anônimo**); *“a construção do forno solar contribuiu muito para o aprendizado, facilitando-o quando os conceitos foram aplicados na prática. A linguagem utilizada foi muito boa”* (**aluno anônimo**) e; *“foi bom para dar um sentido mais prático/dinâmico aos conceitos”* (**aluno anônimo**). Essas respostas reafirmam nossa defesa de que o forno constitui importante recurso para favorecer a aprendizagem significativa, quando aliado a uma prática que faça convergirem os saberes das áreas básica e técnica.

5.3.3 Considerações sobre o terceiro bloco

Sabemos que uma avaliação de forma isolada não fornece indícios seguros sobre a aprendizagem, mas, por outro lado, a própria avaliação é uma experiência significativa de aprendizagem (AUSUBEL et al., 1980). Desta forma, obtivemos alguns indícios de aprendizagem significativa em uma prática de avaliação que teve a interdisciplinaridade como eixo central desde sua concepção até a reflexão sobre a ação desenvolvida. Comparando com o estudo piloto, foi possível avançarmos a uma avaliação elaborada e corrigida em sua totalidade de forma conjunta, graças à confiança de um professor no trabalho do outro.

Sobre o desenvolvimento de projetos interdisciplinares, cabe salientar que não é uma ação que resulte simples, seja pela falta de tempo dos professores, pelo choque de horários de aula desses professores que atuam em diversos níveis de ensino e mesmo em outras escolas, pela falta de conhecimento da outra área, pelas próprias concepções de ensino-aprendizagem que os professores possuem, fruto de suas experiências anteriores enquanto alunos, além da visão que os alunos têm acerca da aprendizagem, acostumados, muitas vezes com aulas tradicionais, no formato explicação – exercício – prova.

No caso específico do nossa investigação, a elaboração das questões da prova representou um momento enriquecedor para ambos os professores, no sentido de que foi preciso identificar quais conceitos eram mais representativos da nossa prática, fazendo com que ficasse explícita a convergência das disciplinas. Porém, a correção dessa avaliação foi desafiadora, uma vez que foi necessário fazer emergir a compatibilidade de ideias e teorias que são constituídas pela prática de duas disciplinas de tipologias diferentes, uma básica e outra técnica, que utilizam uma linguagem similar, mas nem sempre afim.

Ao pensarmos a avaliação, propomos diferentes tipos de questões para que os alunos conseguissem retomar e externalizar os conhecimentos aprendidos. Com isso, percebemos que os mesmos fizeram a relação de conceitos, tais como calor, temperatura, capacidade térmica, condutibilidade térmica, emissividade térmica, refletividade e absorvidade, demonstrando estabelecer vínculos entre eles, dando indícios de aprendizagem significativa.

Os indicativos de aprendizagem significativa emergiram das respostas dos alunos, seja de forma total ou parcialmente coerente do ponto de vista científico, a questões diferentes daquelas trabalhadas em aula, numa concepção de avaliação ausubeliana. Além disso, foi possível identificar que os mesmos demonstraram em diversos momentos, domínio de significados claros, precisos, transferíveis; diferenciação de conceitos, em termos de detalhe e especificidade; incorporação apropriação de proposições e conceitos novos, bem como aprendizagem de novos significados (MOREIRA; MASINI, 1982; SOBIECZIAK, 2017).

Da mesma forma que nos dois blocos anteriores, a maioria dos alunos expressou uma noção intuitiva de calor como substância. Nesse sentido, corroboramos que a mudança conceitual não deve “substituir um conhecimento mais simples, o cotidiano, por outro mais complexo, o científico, e sim adquirir diferentes tipos de conhecimentos ou representações para tarefas ou situações diversas” (POZO; CRESPO, 2009, p. 126). Ainda, a substituição de conceitos é um processo complexo, uma vez que “os alunos constroem suas teorias sobre o comportamento da matéria a partir de outros supostos conceituais muito diferentes, o que dificulta sua compreensão das teorias que são ensinadas na escola” (ibid., p. 200).

Embora saibamos que as concepções prévias não são simplesmente abandonadas no processo de ensino-aprendizagem, buscamos construir com os alunos um entendimento de situações do contexto escolar por meio da utilização dos conceitos cientificamente aceitos, o que resultou em uma evolução na linguagem de sete deles (A1, A6, A7, A13, A15, A24 e A28), os quais, nas questões um, dois e três da prova se referiram ao calor como uma forma de energia, compreendendo este conceito como uma interação entre corpos ou sistemas quando existe diferença de temperatura entre eles (POZO; CRESPO, 2009).

Para além da prova interdisciplinar, nossa percepção acerca da proposta desenvolvida foi aprofundada a partir das respostas ao questionário de opinião (I7), no qual trinta e dois alunos afirmaram que ambos os professores se propuseram a atuar de forma diferenciada, tornando explícita a convergência das disciplinas. Porém, da mesma forma que no estudo piloto, nesta segunda intervenção alguns afirmaram que no conteúdo das normas técnicas, a complementaridade das disciplinas não ficou clara. Mais uma vez, a questão da melhor integração da física com as normas técnicas representa um ponto a ser melhorado, favorecendo a interdisciplinaridade, ainda que ela represente um desafio constante, não devendo ser encarada apenas como uma justaposição de conceitos, mas sim como uma combinação, uma convergência, uma complementaridade (POMBO, 2013).

Outro aspecto que merece mais atenção em ações futuras é o desenvolvimento de mais aulas integradas, estando os dois professores simultaneamente na sala. Isso foi apontado por oito alunos como uma sugestão de melhoria para que fique mais explícita a sintonia entre as disciplinas, embora, nessa segunda intervenção, estivemos em nove encontros os dois professores na turma, seja para explicar o trabalho do forno, orientá-lo, dar aula em conjunto, aplicar e corrigir avaliação, representando outro avanço em relação ao estudo piloto.

Sobre a prova interdisciplinar, vinte e oito alunos perceberam o entrelaçamento dos conceitos, o que facilitou o entendimento das questões e, para a maioria deles, também a sua resolução. Esse dado positivo reflete a coerência do modelo de avaliação frente nossa conduta de trabalho (FAZENDA, 2009).

Com relação à tarefa de construção do forno solar, os alunos, quase que em sua totalidade, trouxeram aspectos positivos enquanto atividade prática para facilitação da aprendizagem, representando, assim, um recurso que favorece a aprendizagem significativa dos alunos sobre o campo conceitual da física térmica.

A partir dos resultados apresentados neste capítulo, no próximo, à guisa de conclusão, buscamos o fechamento do trabalho retomando o referencial teórico e metodológico.

6 CONSIDERAÇÕES, QUESTÕES EMERGENTES E PERSPECTIVAS

No dia a dia é frequente ouvirmos e muitas vezes falarmos frases do tipo “estou com calor”, “hoje fez calor de 40 graus” ou ainda “não anda de pé descalço porque o piso é gelado”, o que coloca os conceitos de calor e temperatura como sinônimos. Em função dessa ambiguidade, a física térmica aparece como um dos campos conceituais de mais difícil compreensão para o aluno, uma vez que implica uma visão dos fenômenos a nível microscópico, mas com efeitos sentidos macroscopicamente. E, ainda, os dois conceitos chave desse campo conceitual são empregados indistintamente.

Essas formas de compreender e expressar os conceitos – as concepções prévias, que os alunos trazem à sala de aula, dão conta de explicar alguns fenômenos cotidianos e, a partir delas, nosso objetivo foi desestabilizá-los para a compreensão de fenômenos nos quais os seus conhecimentos não sejam aplicados pertinentemente. Contudo, assumimos a premissa que dificilmente a aprendizagem resultará em uma substituição total das ideias prévias pelas científicas (MORTIMER, 1996).

Nessa perspectiva, corroboramos as propostas de Vairo e Rezende Filho (2013), os quais defendem que os novos conhecimentos aprendidos devem conviver com os anteriores, representando a coexistência do senso comum, do saber escolar e do saber científico. De forma similar, Pozo e Crespo (2009) salientam que a mudança conceitual não deve implicar a substituição do conhecimento cotidiano pelo científico, mas sim possibilitar a construção de diferentes tipos de conhecimentos ou representações para serem aplicados, de forma pertinente, em contextos ou tarefas diversas.

A nossa proposta de trabalho teve como objetivo maior investigar o processo de aprendizagem significativa dos alunos para o campo conceitual da física térmica e das propriedades térmicas dos materiais por meio de estratégias de ensino que compreendem desde a construção de um forno solar de baixo custo, até a realização de uma avaliação interdisciplinar. Ao longo da ação didática, propomos atividades que nos ajudassem a responder ao nosso problema de pesquisa: *quais as implicações de um trabalho interdisciplinar, tendo como elemento motivador a construção do forno solar, para a aprendizagem significativa dos alunos sobre os conceitos da física térmica e das propriedades térmicas dos materiais?*

A investigação foi realizada em dois momentos: em 2016 em uma turma de vinte e seis alunos e em 2017 numa turma de trinta e quatro alunos do curso de edificações do IFFAR, *Campus* Santa Rosa. Ao longo da investigação contamos com a colaboração da

professora de conforto, sem a qual a proposta interdisciplinar não seria possível de ser realizada. Os principais conceitos da física térmica abordados foram energia interna, temperatura, equilíbrio térmico, calor e capacidade térmica, enquanto a disciplina de conforto abrangeu os conteúdos de mecanismos termorreguladores, trocas de calor e proteção solar de paredes opacas, transparentes e translúcidas.

O suporte teórico centrado nas teorias da aprendizagem significativa, da aprendizagem significativa crítica, dos campos conceituais, na interdisciplinaridade e no currículo integrado foi fundamental para a construção dos instrumentos de coleta de dados, em uma convergência com o percurso metodológico traçado. A escolha dos instrumentos utilizados se deu no sentido de tornar explícita a relação e evolução conceitual dos alunos, em busca de evidências de aprendizagem significativa, sendo que a partir dos três blocos analisados ao longo da tese, alguns registros ajudam a ilustrar as respostas ao nosso problema de pesquisa.

Nossa defesa no referencial da interdisciplinaridade, segundo Santomé (1998), justifica-se no fato de que os alunos conseguiram aplicar de forma significativa os conhecimentos de uma disciplina em outra, o que demonstra que conseguimos explicitar de forma clara as possíveis relações entre os conceitos trabalhados. Nossa proposta de trabalho diferenciada em relação às aulas puramente disciplinares foi percebida pela maior parte dos alunos, a partir de práticas que propiciaram que as disciplinas se complementassem.

A interdisciplinaridade, correspondendo a um movimento cíclico e ininterrupto, propiciou o aprimoramento da nossa prática, o que nos levou ao diálogo permanente sobre nossas ações docentes desenvolvidas e nos motiva a continuar juntando esforços para novos trabalhos deste tipo. Também, vale destacar a importância da ação-reflexão-ação no trabalho docente e que fez com que a intervenção didática fosse melhorada, resgatando o sentimento de significação de nossa ação, no sentido de construir e fortalecer laços de pertencimento à instituição da qual fizemos parte.

Diversas dificuldades cotidianas existem para a concretização de trabalhos interdisciplinares, que vão desde lacunas na formação inicial dos professores, suas visões sobre ensino-aprendizagem, bem como a falta de disposição para fomentar este tipo de abordagem. Ainda assim, avanços relativos à reestruturação do Projeto Pedagógico do Curso fez com que alguns professores revisassem suas ações e buscassem modificações na forma de promover a integração curricular e de conceber o próprio processo avaliativo.

Especificamente sobre nosso trabalho, ainda que tenham tópicos a serem melhores integrados (normas técnicas, por exemplo), em diversos momentos a linearidade dos conteúdos foi afastada, elencando os conceitos importantes e significativos para os alunos,

além do enfoque dado àqueles mais representativos de cada disciplina, fazendo-os convergirem com a outra.

O trabalho com a construção do forno solar alcançou resultados estimulantes em função de os alunos terem demonstrado, em todas as etapas de resolução do problema que receberam sobre o protótipo, evidências de aprendizagem significativa dos principais conceitos envolvidos. Também, na aplicação do questionário para verificarmos o que eles retomariam da construção do forno, aplicado quase nove meses após o término da nossa segunda intervenção didática, identificamos retomadas satisfatória, com indicativo de aprendizagem significativa, tanto dos conteúdos conceituais relativos aos materiais construtivos e suas propriedades térmicas, bem como dos conteúdos procedimentais e atitudinais referentes ao processo de construção do protótipo.

Os indicativos de aprendizagem significativa dos alunos acerca dos conteúdos procedimentais e atitudinais (ZABALA, 1998), incluem que, para além da criação de um roteiro, foi necessário que os mesmos focassem no saber fazer em situações práticas, em um trabalho colaborativo do qual emergiram valores como a solidariedade e a responsabilidade, por meio de atitudes como a cooperação e a ajuda aos colegas. A forma como se deu o encaminhamento do trabalho referente à construção do forno, encarregando os alunos à pesquisa, à formulação de hipóteses, à observação, à melhoria no protótipo, direcionando nossas aulas a partir daquilo que traziam, favoreceu a autonomia dos mesmos, propiciando que alcançassem uma aprendizagem significativa crítica (MOREIRA, 2005, 2006, 2010).

Uma vez que a aprendizagem de um conceito corresponde a um processo que se aprimora conforme o sujeito se depara com novas situações que o desestabiliza, não podemos afirmar categoricamente que os alunos aprenderam de forma significativa os conceitos trabalhados pelas disciplinas. Por outro lado, temos evidências, em diversos momentos, que nos permitem assegurar que os conceitos se tornaram mais ricos e diferenciados, frente a uma proposta que buscou o progressivo domínio do campo conceitual da física térmica.

Os mapas, elaborados com base nas aprendizagens construídas a partir da construção do forno solar, externalizaram relações conceituais importantes e significativas para os alunos, expressando a forma com que articularam em suas estruturas cognitivas a complementaridade das disciplinas, a extensão, elaboração ou qualificação de conceitos e a aquisição de novos significados (MOREIRA; MASINI, 1982; SOBIECZIAK, 2017).

A prova interdisciplinar, elaborada, aplicada e corrigida como forma de buscar identificar como os alunos, em sua individualidade, compreendem e relacionam os conceitos das disciplinas, forneceu indícios de aprendizagem significativa de conceitos novamente

retomados do forno solar, caracterizando um instrumento convergente com a proposta de trabalho e que não é isolado dos demais.

A partir das considerações elencadas, defendemos que o valor da nossa investigação consiste no rigor metodológico adotado, sempre tendo o suporte do referencial teórico escolhido para subsidiar não só as análises, mas também a elaboração das situações e roteiros didáticos apresentados aos alunos. Sendo assim, os resultados obtidos são estimulantes e nos motivam a buscar a ampliação de novas experiências interdisciplinares. De forma semelhante, em função do vasto número de *campi* que ofertam o curso de edificações integrado ao ensino médio, como mostrado na Tabela 1, esperamos que nossos resultados sirvam para aperfeiçoar a prática em outras realidades.

Além disso, destacamos que os resultados aqui apresentados podem ser analisados com outros olhares, como numa perspectiva epistemológica, a exemplo dos perfis conceituais propostos por Eduardo Mortimer (1996; 2009), considerando a epistemologia de Gaston Bachelard. Não ensaiamos nenhuma análise nesse sentido uma vez que tivemos contato mais próximo com essas discussões no primeiro semestre de 2018, frequentando a disciplina de epistemologia e ensino de física e de ciências, ofertada no programa. Mas isso não nos impede de produzir artigos com outra perspectiva de análise para nossos dados.

Como afirmamos, alcançamos resultados que respondem satisfatoriamente ao nosso problema de pesquisa. Contudo, algumas questões emergiram a partir das nossas intervenções e que possibilitam investigações futuras:

1. Sabendo que a proposição dos IFs deve ser no sentido de fomentar ações de efetivação de currículo integrado, como a nova Base Nacional Comum Curricular (BNCC) irá flexibilizar e/ou viabilizar a construção de práticas interdisciplinares nessas instituições?

2. Se tratando de uma avaliação interdisciplinar, qual a eficácia da proposição de questões mais abertas, nas quais os alunos sejam solicitados a explicitarem os conhecimentos de forma a estabelecerem relações entre os conceitos para responderem o problema de forma ampla? Uma questão desse tipo pode ser a seguinte: quais os fatores que criam as chamadas ilhas de calor? Baseado nos conceitos abordados pelas disciplinas, como é possível reduzir a temperatura desses espaços?

3. A interdisciplinaridade, sendo um movimento cíclico e ininterrupto, abre perspectiva para novas experiências de trabalho. Nesse sentido, quais as possibilidades e dificuldades para ampliação da proposta com novas disciplinas dentro do mesmo curso de edificações ou de outros de mesmo nível ou mesmo de nível diferente?

4. Atribuimos à construção do forno solar um papel importante, desde a motivação dos alunos e dos professores, até o favorecimento de aprendizagem significativa dos alunos por meio da apresentação de situações frutíferas sobre seu funcionamento. Nessa lógica, quais outros instrumentos são potenciais para enriquecer e/ou substituir o forno solar?

5. Uma vez que o forno solar se constitui, socialmente falando, em um recurso de economia de energia, por meio do aquecimento e/ou cocção de alimentos, em que medida pode ser útil numa perspectiva para além do favorecimento da aprendizagem, fomentando discussões de cunho social, na realidade na qual foi desenvolvida a investigação?

6. Sendo nossa investigação realizada com alunos do curso técnico em edificações e os materiais da área técnica se referirem, muitas vezes, a calor como substância, da mesma forma que os livros de física o fazem, qual a efetividade do cuidado que tivemos em sempre nos expressarmos ao conceito de calor como uma forma de energia em trânsito?

A pergunta de número três tem um indicativo de possível resposta na medida em que, como perspectiva em curto prazo, quando do término do afastamento para qualificação, será feita uma tentativa de trabalho interdisciplinar entre as disciplinas de física e de sistemas prediais, sobre circuito elétrico. Como uma primeira intervenção envolvendo as disciplinas, buscaremos indicativos que apontem melhorias para logarmos o mesmo êxito que tivemos com as intervenções descritas na tese. A partir de momentos de estudos entre os professores, construímos uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) englobando os conceitos de um circuito elétrico, como corrente, voltagem, resistência, potência elétrica, etc. A proposição da UEPS seguirá os passos descritos no Apêndice 1.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, E. M. R.; MORTIMER, E. F. Uma proposta de perfil conceitual para o conceito de calor. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v.1, n. 3, 2001.
- ANDRÉ, M. O que é um estudo de caso qualitativo em Educação? **Revista da FAEEBA – Educação e Contemporaneidade**, v. 22, n. 40, p. 95-103, 2013.
- ARIZA, M. R. et al. ¿Lana o metal? Una propuesta de aprendizaje por indagación para el estudio de las propiedades térmicas de materiales comunes. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 15, n. 2, p. 297-311, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2003). **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações: parte 1: definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro.
- AUSUBEL, D. P. **Aquisição e retenção de conhecimentos**: uma perspectiva cognitiva. Tradução Lígia Teopisto. 1. ed. Portugal: Editora Plátano, 2003.
- Ausubel, D. P. et al. **Psicologia educacional**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.
- BARRETO, K. G. et al. **Entre as ideias intuitivas e os conceitos científicos**: o que os alunos licenciandos em química pensam sobre os conceitos relativos à termodinâmica? In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 4, 2014, Ponta Grossa. **Anais...** Ponta Grossa/PR, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014.
- BOGDAN, R. C.; BIKLEN, S. K. **Investigação qualitativa em educação**: uma introdução à teoria e aos métodos. Porto: Porto Editora, 1994.
- BORGES, T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 19, n.3, p. 291-313, 2002.
- BRASIL. Lei n. 11.892, de 29 de dezembro de 2008. Institui a Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica, cria os Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Poder executivo, Brasília, DF.
- BUSS, C. S.; NOGUEIRA, C. Construção de um aquecedor solar de baixo custo: um projeto de ensino e de aprendizagem para alunos do 1º ano do ensino médio. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 19, 2011, Manaus/AM. **Anais...** Manaus/AM: Universidade Federal do Amazonas, 2011.
- CALHEIRO, L. B. **Inserção de tópicos de física de partículas de forma integrada aos conteúdos tradicionalmente abordados no ensino médio**. 2014. 186p. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2014.
- CARVALHO JR., G. D.; AGUIAR JR., O. Os campos conceituais de Vergnaud como ferramenta para o planejamento didático. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 25, n. 2, p. 207-227, 2008.

CARVALHO, A. M. P. (Org). **Calor e temperatura**: um ensino por investigação. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014.

ClAVATTA, M. A formação integrada: a escola e o trabalho como lugares de memória e de identidade. **Trabalho Necessário**, ano 3, número 3, 2005.

ClAVATTA, M. A formação integrada: a escola e o trabalho como lugares de memória e de identidade. In: FRIGOTTO, G. et al (Orgs.). **Ensino médio integrado**: concepções e contradições. 3. ed. São Paulo: Cortez, 2012.

ClAVATTA, M.; RAMOS, M. Ensino Médio e Educação Profissional no Brasil: Dualidade e fragmentação. **Revista Retratos da Escola**, v. 5, n. 8, p. 27-41, 2011.

CRUZ SOBRINHO, S. Diretrizes institucionais e a perspectiva da integração curricular no IF Farroupilha. In: ARAÚJO, A. C.; SILVA, C. N. N. (Orgs.). **Ensino Médio Integrado no Brasil: fundamentos, práticas e desafios**. Brasília: Editora IFB, 2017.

DAMASIO, F.; STEFFANI, M. H. Ensinando física com consciência ecológica e com materiais descartáveis. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 4, 2007.

DORADO, R. C.; RIVERA, J. L. M. Enseñanza de las ciencias físicas a estudiantes de primaria y secundaria por medio de sencillos talleres científicos. **Latin- American Journal of Physics Education**, México, v. 4, n. 2, p. 415-421, 2010.

DUART, M. A. et. al. **Materiais de Construção**. Curitiba: Livro Técnico, 2016.

DWORAKOWSKI, L. A. de Q.; MARRANGHELLO, G. F.; DORNELES, P. F. T. O aquecedor solar na sala de aula. **Experiências em Ensino de Ciências**, v.5, n. 2, 2010.

FACCIN, F. **Implementação de unidades de ensino potencialmente significativas sobre física térmica para alunos do 2º ano do ensino médio**. 2015. 184 p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2015.

FAZENDA, I. C. A. **Integração e interdisciplinaridade no ensino brasileiro**: efetividade ou ideologia. 6. ed. São Paulo: Edições Loyola, 2011.

FAZENDA, I. C. A. Interdisciplinaridade: definição, projeto, pesquisa. In: FAZENDA, I. C. A. (Org.). **Práticas interdisciplinares na escola**. 13. ed. São Paulo: Cortez, 2013.

FAZENDA, I. C. A. Interdisciplinaridade-transdisciplinaridade: visões culturais e epistemológicas. In: FAZENDA, I. C. A. (Org.). **O que é interdisciplinaridade?** São Paulo: Cortez, 2008.

FAZENDA, I. C. A. et al. Avaliação e Interdisciplinaridade. **Revista Internacional d'Humanitats**, São Paulo/Barcelona, n. 17, 2009.

FERNANDES, S. **O ensino da física térmica a partir de um modelo didático de coletor solar**. 2016. 144p. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, SC, 2016.

- FERREIRA, S. L. Introduzindo a noção de interdisciplinaridade. In: FAZENDA, I. C. A. (Org.). **Práticas interdisciplinares na escola**. 13. ed. rev. e ampl. São Paulo: Cortez, 2013.
- FRANCHI, A. Considerações sobre a teoria dos campos conceituais. In: MACHADO, S. D. A. et al.. (Org.). **Educação Matemática**: uma introdução. São Paulo: EDUC, 1999.
- FRIGOTTO, G. Concepções e mudanças no mundo do trabalho e o ensino médio. In: FRIGOTTO, G. et al (Orgs.). **Ensino médio integrado**: concepções e contradições. 3. ed. São Paulo: Cortez, 2012.
- FRIGOTTO, G. et al. A gênese do decreto n. 5.154/2004: um debate no contexto controverso da democracia restrita. In: FRIGOTTO, G. et al (Orgs.). **Ensino médio integrado**: concepções e contradições. 3. ed. São Paulo: Cortez, 2012.
- GASPAR, A. **Física, 2**: ondas, óptica e termodinâmica. 2. ed. São Paulo: Ática, 2011.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- GOMES, L. C. A ascensão e queda da teoria do calórico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 29, n. 3, p. 1030-1073, 2012.
- GÓMEZ, A. L. B.; HERNÁNDEZ, A. S. Detección y Clasificación de Errores Conceptuales en Calor y Temperatura. **Latin American Journal of Physics Education**, v. 4, n. 2, 2010.
- GRINGS, E. T. de O. et al. Avanços e retrocessos dos alunos no campo conceitual da Termodinâmica. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, Vigo, v. 7, n. 1, 2008.
- GRINGS, E. T. de O. et al. Possíveis indicadores de invariantes operatórios apresentados por alunos em conceitos da termodinâmica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 463-471, 2006.
- HERNÁNDEZ, A. F. S.; DÁVALOS, L. M. La Termodinámica como origen de la revolución industrial del siglo XVIII. **Latin- American Journal of Physics Education**, v. 6, n. 4, 2012.
- HEWITT, P. G. **Fundamentos de física conceitual**. Tradução de Triste Ricci. Porto Alegre: Bookman, 2009.
- HÜLSENDEGER, M. J. V. C. et al. Identificação de concepções de alunos de ensino médio sobre calor e temperatura. **Acta Scientiae**, v.8, n.1, p. 35-46, 2006.
- JAPIASSU, H. **Interdisciplinaridade e patologia do saber**. Rio de Janeiro: Imago, 1976.
- JEWETT JR, J. W. Energy and the Confused Student III: Language. **The Physics Teacher**, v. 46, 2008.
- LAMBERTS, R. et al. **Eficiência energética na arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro: Eletrobrás/Procel, 2014.

LAURIA, P. B.; CASTRO, R. M. Forno solar – experimento exploratório de física no ensino médio. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 22, 2017, São Carlos/SP. **Anais...** São Carlos/SP: Universidade de São Paulo, 2017.

LAVILLE, C.; DIONNE, J. **A construção do saber**: manual de metodologia da pesquisa em ciências humanas. Porto Alegre: Artmed; Belo Horizonte: Editora UFMG, 1999.

LIMA, E. C.; AMORIM, H. S. de. Conforto térmico em residências como uma proposta de contextualização para o ensino de termodinâmica no ensino médio. In: ENCONTRO DE FÍSICOS DO NORTE E NORDESTE, 31, 2013, Campina Grande/PB. **Anais...** Campina Grande/PB: Garden Hotel, 2013.

LIMA, E. C.; AMORIM, H. S. de. Conforto térmico em residências como uma proposta de contextualização para o ensino de termodinâmica no ensino médio. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 20, 2013, São Paulo/SP. **Anais...** São Paulo/SP: Universidade de São Paulo, 2013b.

LOPES, A. R. C. Bachelard: o filósofo da desilusão. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.13, n. 3, p.248-273, 1996.

LOPES, A. R. C. **Conhecimento escolar**: ciência e cotidiano. Rio de Janeiro: UDERJ, 1999.

LOPES, J. P. et al. Sistema de aquecimento solar como tema de formação em física/cidadania. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 20., 2013, São Paulo/SP. **Anais...** São Paulo/SP: Universidade de São Paulo, 2013.

LOPES, J. B. Desarrollar conceptos de física a través del trabajo experimental: evaluación de auxiliares didácticos. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 20, n.1, p. 115-132, 2002.

LORENZONI, M. B.; RECENA, M. C. P. Contextualização do ensino de termoquímica por meio de uma sequência didática baseada no cenário regional “queimadas” com experimentos investigativos. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 12, n. 1, 2017.

LOTTERMANN, O. et al. Currículo integrado na educação profissional de nível médio: o curso técnico em agropecuária no Instituto Federal Farroupilha. In: HAMES, C. et al. (Orgs). **Currículo integrado, educação e trabalho**: saberes e fazeres em interlocução. Ijuí: Unijuí, 2016.

LOTTERMANN, O.; SILVA, S. P. A gênese do currículo integrado: referenciais teóricos e suas implicações políticas, epistemológicas e sociais. In: HAMES, C. et al. (Orgs). **Currículo integrado, educação e trabalho**: saberes e fazeres em interlocução. Ijuí: Unijuí, 2016.

LOUZADA, A. N. et al. Concepções alternativas dos estudantes sobre conceitos térmicos: um estudo de avaliação diagnóstica e formativa. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 37, n. 1, 2015.

MACHADO, M. A. **O ensino de física térmica na perspectiva da aprendizagem significativa**: uma aplicação no ensino médio. 2015. 140p. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências: Física) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, 2015.

MARQUES, N. L. R.; ARAÚJO, I. S. Física térmica. **Textos de apoio ao professor de física**, Porto Alegre, v.20, n. 5, 2009.

MENEZES, M. M. de. Aquecedor solar: uma possibilidade de ensino de física através de temas geradores. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 20, 2013, São Paulo/SP. **Anais...** São Paulo/SP: Universidade de São Paulo, 2013.

MORAES, R. Uma tempestade de luz: a compreensão possibilitada pela análise textual discursiva. **Ciência & Educação**, v. 9, n. 2, p. 191-211, 2003.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. São Paulo: EPU, 1999.

MOREIRA, M. A. A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 7, n. 1, 2002.

MOREIRA, M. A. Aprendizaje significativo crítico. **Indivisa: Boletín de estudios e investigación**, n. 6, p. 83-101, 2005.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa subversiva. **Periódico do Mestrado em Educação da Universidade Católica Dom Bosco**, Campo Grande/MS, n. 21, p. 15-32, 2006.

MOREIRA, M. A. Organizadores prévios e aprendizagem significativa. **Revista Chilena de Educación Científica**, v. 7, n. 2, 2008.

MOREIRA, M. A. A teoria da aprendizagem significativa. **Subsídios Teóricos para o Professor Pesquisador em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, 2009.

MOREIRA, M. A. Abandono da narrativa, ensino centrado no aluno e aprender a aprender criticamente. In: ENCONTRO NACIONAL DE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA, 3., 2010, São Paulo.

MOREIRA, M. A. ¿Al final, qué es aprendizaje significativo? **Revista Currículum**, Laguna, vol. 25, p. 29-56, 2012.

MOREIRA, M. A. **Mapas conceituais, diagramas V, organizadores prévios, negociação de significados e unidades de ensino potencialmente significativas**. Porto Alegre, 2016.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. A. F. S. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Moraes, 1982.

MORIN, E. **A cabeça bem feita: repensar a reforma, reformar o pensamento**. 8. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

MORO, F. T. et al. Atividades experimentais e simulações computacionais: integração para a construção de conceitos de transferência de energia térmica no ensino médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 33, n. 3, p. 987-1008, 2016.

MORTIMER, E. F. Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos? **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 1, n. 1, p. 20-39, 1996.

MORTIMER, E. F.; AMARAL, L. O. F. Quanto mais quente melhor: calor e temperatura no ensino de termoquímica. **Química Nova na Escola**, n. 7, 1998.

MORTIMER, E. F. et al. Bases teóricas e epistemológicas da abordagem dos perfis conceituais. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 7, 2009. **Anais...** Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

MOZENA, E. R.; OSTERMANN, F. A interdisciplinaridade na legislação educacional, no discurso acadêmico e na prática escolar do ensino médio: panaceia ou falácia educacional? **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 33, n. 1, 2016.

NOVAK, J. D.; CAÑAS, A. J. A teoria subjacente aos mapas conceituais e como elaborá-los e usá-los. **Práxis Educativa**, v.5, n.1, p. 9-29, 2010.

NOVAK, J. D.; GOWIN, D. B. **Aprender a aprender**. Lisboa: Plátano, 1995.

NOVAK, J. D. **Aprender, criar e utilizar o conhecimento**: mapas conceituais como ferramentas de facilitação nas escolas e empresas. Lisboa: Plátano, 2000.

OLIVEIRA, V. V. et al. Atividades de conceitualização em física térmica: buscando invariantes operatórios. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 14, 2012, Maresias/SP. **Anais...** Maresias/SP: Beach Hotel, 2012.

OLIVEIRA, C. S. **Atividade experimental investigativa**: construção do termômetro de coluna líquida. 2013. 227p. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências Exatas) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2013.

PALMERO, M. L. R. La teoría del aprendizaje significativo y el lenguaje. **Série-Estudos – Periódico do Mestrado em Educação da UCDB**, n. 21, p. 33-52, 2006.

PAULA, L. T. **Ensino de física por projetos: a física do forno solar**. 2017. 60p. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal de Juiz de Fora e Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, Juiz de Fora, MG, 2017.

PEREIRA, M. M. **Memória mediada na aprendizagem de Física: problematizando a afirmação “Não me lembro de nada das aulas do ano passado!”**. 2014. 364p. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2014.

PÉREZ, J. R. Perspectivas didácticas de una aproximación histórica a la medición y concepto de Temperatura. **Latin American Journal of Physics Education**, México, v. 7, n. 3, 2013.

PICQUART, M.; MORALES, I. C. De la temperatura y su medición. **Latin American Journal Physics Education**, v. 11, n. 1, 2017.

PIETROCOLA, M. et al. **Física em contextos, 2**. São Paulo: Editora do Brasil, 2016.

PIRES, M. F. de C. Multidisciplinaridade, Interdisciplinaridade e Transdisciplinaridade no Ensino. **Interface: comunicação, saúde e educação**, Botucatu, v. 2, n.2, p. 173-179, 1998.

POGLIA, R. **O refrigerador doméstico como instrumento motivador para o ensino de física térmica: uma proposta para o curso Técnico Integrado em Refrigeração e Climatização**. 2013. 128p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2013.

POMBO, O. Epistemologia da interdisciplinaridade. **Ideação**, Unioeste, v. 10, n. 1, 2008.

POMBO, O. Epistemología de la interdisciplinariedad: la construcción de un nuevo modelo de comprensión. **INTERdisciplina**, v. 1, n.1, p. 21-50, 2013.

PORLÁN, R.; MARTÍN, J. **El diario del professor**: um recurso para la investigación em el aula. 7. ed. Sevilla: Díada, 1999.

POSTMAN, N.; WEINGARTNER, C. **Teaching as a subversive activity**. New York: Dell Publishing Co., 1969.

POZO, J. I.; CRESPO, M. A. G. **A aprendizagem e o ensino de ciências**: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

PRADELLA, M. **Estudo de conceitos da termodinâmica no ensino médio por meio de UEPS**. 2014. 122p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2014.

QUÍLEZ-PARDO, J. El lenguaje de la ciencia como obstáculo de aprendizaje de los conocimientos científicos e propuestas para superarlo. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 16, n. 2, p. 449-476, 2016.

RAFAEL, F. J. **Elaboração e aplicação de uma estratégia de ensino sobre os conceitos de calor e de temperatura**. 2007. 70p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Naturais e Exatas) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2007.

RAMOS, M. C. M et al. An alternative for the teaching and learning of the heat transmission topic with base in the directed research for high-school students. **Latin American Journal of Physics Education**, v. 6, Suppl. I, p. 222-225, 2012.

RAMOS, M. Possibilidades e desafios na organização do currículo integrado. In: FRIGOTTO, G. et al (Orgs.). **Ensino médio integrado**: concepções e contradições. 3. ed. São Paulo: Cortez, 2012.

RUIZ-MORENO, L. et al. Mapa Conceitual: Ensaio de critérios de análise. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 13, n. 3, p. 453-463, 2007.

SANTA ROSA. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha. **Projeto Pedagógico do Curso Técnico em Edificações Integrado**. Santa Rosa, 2014.

SANTOMÉ, J. T. Política educativa, multiculturalismo e práticas culturais democráticas nas salas de aula. **Revista Brasileira de Educação**, n. 4, 1997.

SANTOMÉ, J. T. **Globalização e Interdisciplinaridade**: o currículo integrado. Tradução Cláudia Schilling. Porto Alegre: Artmed, 1998.

SANTOMÉ, J. T. A construção da escola pública como instituição democrática: poder e participação da comunidade. **Currículo sem Fronteiras**, v.1, n.1, p.51-80, 2001.

SARAIVA-NEVES, M. et al. Repensando o papel do trabalho experimental, na aprendizagem da física, em sala de aula – um estudo exploratório. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 11, n. 3, p.383-401, 2006.

SARMENTO, J. S. **Construção e análise de um forno solar como uma atividade prática não formal no ensino de física**. 2015. 76p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2015.

SCHMITT, M. Â. Ação-reflexão-ação: a prática reflexiva como elemento transformador do cotidiano educativo. **Protestantismo em Revista**, v. 25, 2011.

SILVA, A. P. B. et al. Concepções sobre a natureza do calor em diferentes contextos históricos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 30, n. 3, 2013.

SILVA, D. et al. Ensino da distinção entre calor e temperatura: uma visão construtivista. **Pesquisa em Ensino de Ciências e Matemática**, v. 4, p. 22-39, 1997.

SILVA, G. **Mapas conceituais como instrumentos de promoção e avaliação da aprendizagem significativa de conceitos de calorimetria, em nível médio**. 2007. 214p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2007.

SILVA, J. L. P. B. **Um ensino facilitador da aprendizagem significativa da termodinâmica básica**. 1999. 210p. Dissertação (Mestrado em Física) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, 1999.

SILVA, O. H. M. et al. Reflexões para subsidiar discussões sobre o conceito de calor na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 25, n. 3, 2008.

SILVA, V. G. et al. Utilização de materiais potencialmente significativos sobre transferência de calor para alunos do ensino médio. **Aprendizagem Significativa em Revista**, v. 4, n. 1, p. 81-97, 2014.

SILVEIRA, F. L.; MOREIRA, M. A. Validación de un test para verificar si el alumno posee concepciones científicas sobre calor, temperatura y energía interna. **Enseñanza de las ciencias**, v. 14, n. 1, p. 75-86, 1996.

SOARES NETO, J. A.; LEITE, T. L. H. Controle de temperatura a partir da construção da manta térmica com caixas de leite do tipo longa vida (*tetra pak*). In: ENCONTRO DE FÍSICOS DO NORTE E NORDESTE, 32., 2014, João Pessoa/PB. **Anais...** João Pessoa/PB: Universidade Federal da Paraíba, 2014.

SOBIECZIAK, S. **História da física e natureza da ciência em Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS)**. 2017. 314p. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2017.

SÖZBİLİR, M. A review of selected literature on students' misconceptions of heat and temperature. **Boğaziçi University Journal of Education**, v. 20, n.1, 2003.

TAUCEDA, K. C.; DEL PINO, J. C. Processos cognitivos e epistemologias da teoria dos campos conceituais de Gérard Vergnaud, do ensino narrativo e do aprender a aprender. **Ciências & Cognição**, v. 19, n. 2, p. 256-266, 2014.

TORCATE, A. S. et al. Utilização de um aquecedor solar como ferramenta didática para o ensino dos conceitos de calor. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 21., 2015, Uberlândia/MG. **Anais...** Uberlândia/MG: Universidade Federal de Uberlândia, 2015.

TRINDADE, D. F. Interdisciplinaridade: um novo olhar sobre as ciências. In: FAZENDA, I. C. A. (org.). **O que é interdisciplinaridade?** São Paulo: Cortez, 2008.

VAIRO, A. C.; REZENDE FILHO, L. A. C. Perfil conceitual como tema de pesquisa e sua aplicação em conteúdos de biologia. **Revista Ensaio**, v. 15, n. 1, p. 193-208, 2013.

VAZQUEZ DIAZ, J. Algunos aspectos a considerar en la didactica del calor. **Enseñanza de las Ciencias**, v.5, n. 3, p. 235-238, 1987.

VERGNAUD, G. Cognitive and Developmental Psychology and Research in Mathematics Education: some theoretical and methodological issues. **For the Learning of Mathematics**, v. 3, n. 2, p. 31-41, 1982.

VERGNAUD, G. Psicologia do desenvolvimento cognitivo e didática das matemáticas. Um exemplo: as estruturas aditivas. **Análise Psicológica**, Lisboa, v.1, n. 5, p. 75-90, 1986.

VERGNAUD, G. A Comprehensive Theory of Representation for Mathematics Education. **Journal of Mathematical Behavior**, Denver, v. 17, n. 2, p. 167-181, 1998.

VERGNAUD, G. ¿En qué sentido la teoría de los campos conceptuales puede ayudarnos para facilitar aprendizaje significativo? **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v.12, n. 2, p.285-302, 2007.

VERGNAUD, G. O longo e o curto prazo na aprendizagem da matemática. **Educar em Revista**, n. especial, p. 15-27, 2011.

VERGNAUD, G. Conceptual development and learning. **Revista Currículum**, Laguna, n. 26, p. 39-59, 2013.

WEILLER, L. A. et al.. Construindo um coletor solar de baixo custo: uma oportunidade para ensinar Física. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 17., 2007, São Luís/MA. **Anais...** São Luís/MA: Universidade Federal do Maranhão, 2007.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física II: termodinâmica e ondas**. Tradução de Sonia Midori Yamamoto. São Paulo: Addison Wesley, 2008.

ZABALA, A. **A prática educativa: como ensinar**. Porto Alegre: Artmed, 1998.

ZAMBON, L. B.; TERRAZZAN, E. A. Analogias produzidas por alunos do ensino médio em aulas de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 1, 2013.

APÊNDICE 1: UEPS SOBRE CIRCUITO ELÉTRICO

1. Definição do conteúdo: em função da proximidade entre as disciplinas de física e sistemas prediais (parte elétrica da ementa), o conteúdo abordado na UEPS será o de circuito elétrico, dando ênfase aos elementos que o compõem e as grandezas nele envolvidas, tais como corrente elétrica, tensão elétrica, resistência elétrica e potência elétrica.

2. Identificando os conhecimentos prévios: como forma de identificar os conhecimentos prévios dos alunos sobre o conteúdo, buscando elementos relevantes em suas estruturas cognitivas que favoreçam uma aprendizagem significativa, será aplicado um teste de múltipla escolha, bem como será solicitado, esquematicamente, que os alunos façam a ligação entre uma lâmpada, uma pilha e condutores, de forma a fazerem “acender” a lâmpada. A representação esquemática que será solicitada aos alunos é a mostrada na Figura abaixo. A partir desta, eles devem representar condutores (por linhas), de modo a estabelecerem a forma que consideram satisfatória para a lâmpada “acender”.



3. Situações introdutórias amplas: como forma de inserir a discussão de tópicos relacionados ao circuito elétrico simples, apresentaremos aos alunos o vídeo “curto-circuito elétrico causa incêndio”, disponível no youtube (acessado no dia 15 de março de 2018) (https://www.youtube.com/watch?v=Tw_0iGhxLtg). A partir do vídeo, uma série de questões pode ser levantada, das quais podemos citar (i) o que significa um curto circuito em uma instalação elétrica? (ii) o que são e qual a função dos disjuntores em uma instalação elétrica residencial? (iii) porque a utilização do benjamim (T) causa uma sobrecarga nos fios? (iv) o que significa a expressão sobrecarga? (v) porque aparelhos como ar condicionado, chuveiro e micro-ondas necessitam de uma tomada de uso exclusivo? (vi) o que esses equipamentos têm de diferente dos demais, como televisão e liquidificador, por exemplo? (vii) o que significa a expressão “caiu a chave”? (viii) a fiação elétrica pode ser a mesma instalada em toda a casa, para todos os equipamentos?.

Com a discussão dessas e de outras questões que podem surgir, solicitaremos aos alunos que escolham, em suas casas, cinco eletrodomésticos, anotem suas potências elétricas e

tentem identificar se são ligados em um único disjuntor ou em disjuntores separados. Embora estes dados sejam utilizados adiante, pediremos para irem providenciando, para utilizarmos em momento pertinente. Além dessas informações, os alunos devem anotar as medidas de cada uma das peças de suas casas, o número de tomadas existentes em cada peça, os equipamentos elétricos que funcionam nessas tomadas, bem como o valor dos disjuntores instalados para cada uma das peças. Embora essas informações pareçam demasiado gerais, elas serão úteis para iniciar a discussão sobre o dimensionamento elétrico do projeto que os alunos devem construir.

4. Situações iniciais (diferenciação progressiva): partindo das questões levantadas no passo anterior, abordaremos os conteúdos foco da proposta, considerando o princípio da diferenciação progressiva (AUSUBEL, 2003), o qual destaca que para a aprendizagem ocorrer de forma significativa, é necessário partir dos conhecimentos mais gerais (visão do todo) aos mais inclusivos. Como forma de relacionar (fazer analogias) um circuito elétrico residencial com um circuito de corrente contínua, levaremos para a sala de aula pilhas de diferentes tamanhos, fios condutores e lâmpadas pequenas e pediremos aos alunos (retomando os esquemas que apresentaram nos conhecimentos prévios) que montem um circuito capaz de acender a lâmpada.

A ligação dos fios, muito provavelmente será feita utilizando os dedos, fato este que nos conduzirá a algumas discussões: *(i) aqui vocês estão segurando os fios para manter a lâmpada acesa. Se vocês os soltarem, a lâmpada apaga. Na casa de vocês ou mesmo aqui na instituição, o que vocês fazem para acender uma lâmpada? (ii) Acreditando que os alunos responderão que acionam um interruptor, perguntaremos qual a função do interruptor? O que ele provoca nos fios? (iii) Considerando que a lâmpada acende, o que a faz acender, seja no circuito construído por vocês quanto nas suas residências? (iv) Pensando que os alunos possam responder que o que faz a lâmpada acender é a corrente elétrica ou a tensão elétrica (voltagem), questionaremos o que essas grandezas representam? (v) Para provocá-los no sentido de entender essas grandezas, perguntaremos por que as pilhas têm diferentes tamanhos? O que existe de diferença entre elas?*

Essas questões, relacionadas ao circuito construído pelos alunos de modo a fazer o comparativo com as residências, nos conduz ao estudo de grandezas como corrente elétrica, tensão elétrica, potência elétrica e associação de resistores. Como a proposição do trabalho é interdisciplinar, ficou acordado entre os professores que, enquanto sistemas prediais abordará as simbologias e as normas técnicas das instalações (levantamento de cargas de tomadas, rede

de distribuição, tipos de ligação elétrica, circuitos de distribuição, dispositivos de proteção etc.), solicitando que os alunos, individualmente construam um projeto elétrico residencial, a física dará ênfase aos conceitos de corrente, tensão, resistência e potência elétrica, fazendo o estudo dos geradores, receptores e resistores.

Ao longo das aulas, é propositivo o desenvolvimento de, pelo menos, três encontros estando os dois professores na sala, fazendo convergirem os tópicos estudados. O importante desses encontros é mostrar para os alunos que os conteúdos se complementam e que as normas técnicas representam o dimensionamento das instalações elétricas com fins de evitar acidentes e/ou inconvenientes.

5. Situações mais complexas (integração reconciliadora): buscando promover a reconciliação integradora dos conceitos estudados, será proposto aos alunos que construam, no laboratório do curso de edificações, em grupos de quatro componentes, um circuito elétrico constituído por, pelo menos, uma lâmpada, uma tomada, uma campainha, uma chave hotel e dois interruptores. Essa etapa se dará mediante acompanhamento dos dois professores e constituirá em um instrumento de avaliação de aprendizagem e, ao mesmo tempo, um indicativo de caminhos para o próximo passo da UEPS, que é a construção de um projeto elétrico residencial.

6. Situações mais gerais e inclusivas (diferenciação progressiva): finalizada a atividade de montagem do um circuito elétrico, os alunos serão estimulados a exporem suas percepções sobre o trabalho, maiores dificuldades e medos (sempre surge o medo em se trabalhar com eletricidade, o que não é ruim em função de os alunos precisarem ter cuidado nos passos a serem realizados), bem como sobre os erros cometidos/envolvidos na execução da proposta.

A partir dessa discussão, os alunos serão convidados a apresentarem seus projetos elétricos residenciais, solicitados e orientados pela professora de sistemas prediais ao longo das aulas. Esse projeto, embora inicialmente dê bastante ênfase à parte técnica do curso, também será avaliado pelas duas disciplinas, uma vez que, para sua construção, os alunos devem integrar os conhecimentos destas, que vão desde a noção de circuito fechado para existir corrente elétrica, os interruptores como forma de abrir/fechar o circuito, até a espessura dos fios de acordo com a potência dos equipamentos elétricos.

7. Busca de evidências de aprendizagem significativa: como forma de buscar evidências de aprendizagem significativa, sistematizar e avaliar a UEPS, cada professor irá propor

atividades avaliativas individuais (trabalho ou prova, por exemplo), mas, como na essência o trabalho trata de uma investigação interdisciplinar, uma avaliação conjunta também será realizada e envolve uma simulação disponível no site do *Phet*¹⁸.

A proposta dessa avaliação é que os alunos, em duplas, criem circuitos elétricos com um número x de resistores (oito, por exemplo), em associação mista, calculem valores de corrente e tensão elétrica em cada elemento do circuito. Os procedimentos e operações matemáticas devem ser entregues com a riqueza de detalhes que permitam que identifiquemos o raciocínio que os alunos seguiram.

O interessante desta atividade é que os alunos podem acompanhar o raciocínio e o resultado final com os valores que a simulação fornece. Isso significa que esta avaliação tem a função muito mais formativa do que de nota, uma vez que, caso os valores não coincidam, as duplas podem debater os erros envolvidos nos procedimentos. E esse é o maior objetivo de propormos a atividade em duplas e não individualmente.

Ao invés de definirmos a associação que os alunos devem montar, deixamos livre a eles essa construção e, da mesma forma que na montagem do circuito em laboratório, os alunos devem utilizar alguns elementos obrigatórios, como fonte, interruptor e claro, os resistores. Com isso, buscamos evidências de aprendizagem significativa por meio da captação de significados, compreensão, capacidade de explicar e de aplicar o conhecimento para resolver situações-problema.

Além dessa avaliação, também será proposta uma prova com questões que englobam o conteúdo das duas disciplinas, no sentido de aplicar na parte prática os conceitos teóricos estudados. Essa avaliação será no formato de prova, com questões interdisciplinares, a ser resolvida individualmente, como forma de identificar como cada sujeito internalizou os conceitos.

¹⁸https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab/latest/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab_pt_BR.html