



**INSTITUTO
FEDERAL**

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MATO GROSSO
UNIVERSIDADE DE CUIABÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO
CAMPUS CUIABÁ – CEL. OCTAYDE JORGE DA SILVA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO
Nível Mestrado**

STELA SILVA LIMA

**CONHECIMENTO ESPECIALIZADO DE PROFESSORES DE FÍSICA: UMA
PROPOSTA DE MODELO TEÓRICO**

**Cuiabá
2018**

STELA SILVA LIMA

**CONHECIMENTO ESPECIALIZADO DE PROFESSORES DE FÍSICA: UMA
PROPOSTA DE MODELO TEÓRICO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu - Mestrado Acadêmico em Ensino do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso - IFMT associado à Universidade de Cuiabá - UNIC, como parte do requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino, área de concentração: Ensino, Currículo e Saberes Docentes, linha de pesquisa Ensino de Matemática, Ciências Naturais e suas Tecnologias, sob a orientação do Prof. Dr Geison Jader Mello.

**Cuiabá
2018**

Dados internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

L732c

LIMA, Stela Silva

Conhecimento especializado de professores de física: uma proposta de modelo teórico /Stela Silva Lima– Cuiabá, MT 2018/ Departamento de Pós-Graduação

Xi. f.; cm. 143 p.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Ensino de stricto sensu, Mestre em Ensino, Currículo e Saberes Docentes e da linha de Pesquisa: Ensino de Matemática, Ciências Naturais e suas tecnologias, Universidade de Cuiabá - MT, 2018.

Orientador: Prof.^a Dr. Geison Jader Mello

1. Conhecimento especializado. 2. Formação de Professores 3. Pesquisa especializada em Física

CDU:371.13:53

Terezinha de Jesus de Melo Fonseca - CRB1/3261



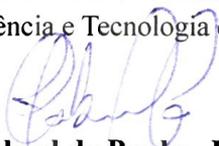
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MATO GROSSO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO
CAMPUS CUIABÁ – CEL. OCTAYDE JORGE DA SILVA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO
Nível Mestrado

ATA DO EXAME DE DEFESA

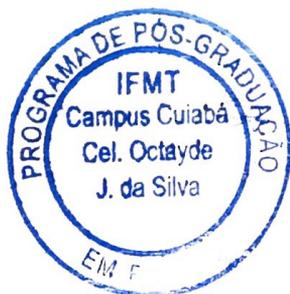
Aos vinte e nove dias do mês de agosto do ano de dois mil e dezoito, às 14:00 horas, no Programa de Pós-Graduação em Ensino do Instituto Federal de Mato Grosso em Rede com a Universidade de Cuiabá, na Sala E-211 da Pós-Graduação, *Campus* Cuiabá “Cel. Octayde Jorge da Silva”, sob a presidência do Prof. Dr. Geison Jader Mello, CPF 283.851.558-64 como Orientador, e com a participação dos membros examinadores Prof. Dr. Jeferson Gomes Moriel Junior, CPF 218.247.408-08 como Examinador Interno, e a Profa. Dra. Iramaia Jorge Cabral de Paulo, CPF 378.612.551-15 como Examinadora Externa reuniram-se a banca de Exame de **Defesa Pública de Dissertação** de **Stela Silva Lima** matrícula **2017180660042**, aluna do Curso de Mestrado Acadêmico em Ensino. A dissertação intitulada “**Conhecimento Especializado de Professores de Física: Uma Proposta de Modelo Teórico**” foi apresentada e após a arguição da banca foi **aprovada** Para constar, foi lavrada a presente ata que depois de lida e aprovada, vai assinada pelos membros da banca examinadora.


Prof. Dr. Geison Jader Mello - Presidente da Mesa e Orientador
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso – IFMT


Prof. Dr. Jeferson Gomes Moriel Junior - Examinador Interno
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso – IFMT


Profa. Dra. Iramaia Jorge Cabral de Paulo - Examinadora Externo
Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT

Cuiabá, 29 de Agosto de 2018.



DEDICATÓRIA

À Deus, minha fonte de confiança; Aos meus pais e irmãs, meu porto seguro sempre; Ao Marcelo, meu amor e equilíbrio diário; e À Gabriela, minha motivação.

AGRADECIMENTOS

Aos colegas de curso, Vicente, Susel e Glauco que acompanharam passo a passo o desenvolvimento deste trabalho contribuindo para as conclusões aqui formalizadas e documentadas.

Ao Prof. Dr. Geison Jader Mello por sua orientação precisa e sempre eficaz no decorrer desta pesquisa.

Ao Prof. Dr. Jeferson por partilhar seus conhecimentos e sempre auxiliar no amadurecimento do trabalho.

A Prof. Ma. Mónica Luís por sua disponibilidade compartilhar seu percurso de pesquisa e conclusões com o grupo de pesquisadores brasileiro.

Ao Prof. Dr. José Carrillo por suas generosas contribuições durante sua visita a Cuiabá.

RESUMO

LIMA, S. S. **Conhecimento especializado de professores de física: uma proposta de modelo teórico**. Cuiabá, 2018, 293f. Dissertação (Mestrado em Ensino) Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Ensino, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso.

Os conhecimentos necessários ao professor para o ensino são foco de estudos a décadas. Neste contexto destaca-se o modelo do Conhecimento Especializado de Professores de Matemática, MTSK, por sua evolução conceitual quanto ao foco específico no caráter especializado destes conhecimentos. A disciplina de Física tem desenvolvido estudos sobre o conhecimento de seus professores, porém sempre baseando-se em modelos gerais, não especializados. O objetivo desta pesquisa foi analisar a adequação dos domínios, subdomínios e categorias do subdomínio Conhecimento dos Tópicos de Física do modelo MTSK à Física para modelagem dos Conhecimentos Especializados de Professores de Física, de modo que ao término da pesquisa propõe-se uma definição inicial, porém bastante aproximada, do modelo PTSK. Para tanto o percurso metodológico adotado foi o estabelecimento do PTSK por transposição direta, sua experimentação prática como ferramenta analítica na identificação de conhecimentos mobilizados pelos professores de Física em episódios de ensino e a posterior definição final do PTSK baseado na interpretação dos dados coletados durante as análises. Com esta pesquisa exploratória contribui-se significativamente para definição do modelo PTSK, que uma vez estabelecido, possivelmente auxiliará na identificação, análise, diagnóstico e desenvolvimento do conhecimento especializado de professores de Física, contribuindo, portanto para melhoria do processo de ensino-aprendizagem da disciplina nas escolas.

Palavras chave: PTSK, Conhecimento especializado de professores, PaP-eRs, MTSK

ABSTRACT

The knowledge required by the teacher for teaching is a focus of study for decades. In this context, the model of the Specialized Knowledge of Mathematics Teachers, MTSK, stands out for its conceptual evolution regarding the specific focus on the specialized character of this knowledge. The discipline of Physics has developed studies on the knowledge of its teachers, but always based on general, non-specialized models. The objective of this research was to analyze the adequacy of the domains, subdomains and categories of the subdomain Knowledge of the Physics Topics of the MTSK model to Physics for modeling the Specialized Knowledge of Physics Teachers, so that at the end of the research an initial definition is proposed, but very approximate, of the PTSK model. To that end, the methodological approach adopted was the establishment of the PTSK by direct transposition, its practical experimentation as an analytical tool in the identification of knowledge mobilized by physics teachers in teaching episodes and the subsequent final definition of PTSK based on the interpretation of the data collected during the analyzes. This exploratory research contributes significantly to the definition of the PTSK model, which, once established, will possibly aid in the identification, analysis, diagnosis and development of the specialized knowledge of physics teachers, thus contributing to the improvement of the teaching-learning process of the discipline at schools.

Key words: PTSK, Specialized teacher knowledge, PaP-eRs, MTSK

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE QUADROS	vii
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE ABREVIATURAS	xi
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 TEMÁTICA DO TRABALHO.....	1
1.2 ESTUDOS ANTECEDENTES.....	2
1.3 PERGUNTA DE PESQUISA	4
1.4 OBJETIVOS.....	4
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	5
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	6
2.1 CONHECIMENTO ESPECIALIZADO DE PROFESSORES DE MATEMÁTICA (MTSK).....	6
2.2 CONHECIMENTO DE PROFESSORES DE FÍSICA	12
2.3 A FÍSICA	17
3 METODOLOGIA	22
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....	22
3.2 FASE 1: DEFINIÇÃO DO PTSK TRANSPOSTO	23
3.3 FASE 2: EXPERIMENTAÇÃO DO PTSK TRANSPOSTO	24
3.3.1 Seleção dos Episódios de Ensino	25
3.3.2 Análise dos Episódios de Ensino	27
3.3.3 Aplicação do PTSK Transposto como Ferramenta Analítica	29
3.4 FASE 3: PROPOSTA DE MODELO DE CONHECIMENTO ESPECIALIZADO DE PROFESSORES DE FÍSICA (PTSK).....	30
3.5 SÍNTESE DO PERCURSO METODOLÓGICO	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	33
4.1 DEFINIÇÃO DO PTSK TRANSPOSTO – FASE 1	33
4.2 EXPERIMENTAÇÃO DO PTSK TRANSPOSTO – FASE 2	43
4.2.1 Episódios de Ensino Selecionados	43
4.2.2 Identificação dos Conhecimentos nos PaP-eRs	48
4.2.3 Aplicação do PTSK Transposto como Ferramenta Analítica	50
4.2.3.1 Conhecimento do Ensino de Física (KPT).....	52

4.2.3.2	Conhecimento das Características da Aprendizagem de Física (KFLP)	61
4.2.3.3	Conhecimentos dos Parâmetros da Aprendizagem de Física (KPLS)	69
4.2.3.4	Conhecimento da Prática da Física (KPP)	74
4.2.3.5	Conhecimento da Estrutura da Física (KSP).....	76
4.2.3.6	Conhecimento dos Tópicos da Física (KoT) e suas categorias.....	80
4.2.3.6.1	Categoria: Procedimentos.....	81
4.2.3.6.1.1	Subcategoria: Como fazer?	82
4.2.3.6.1.2	Subcategoria: Quando pode ser feito?.....	83
4.2.3.6.1.3	Subcategoria: Por que se faz desta forma?	86
4.2.3.6.1.4	Subcategoria: Características dos resultados.....	87
4.2.3.6.2	Categoria: Definições, Propriedades e seus Fundamentos	92
4.2.3.6.3	Categoria: Registros e Representações.....	96
4.2.3.6.4	Categoria: Fenomenologia e Aplicações	99
4.2.3.6.5	Análise da adequação entre as categorias do KoT do PTSK Transposto e os conhecimentos identificados	102
4.2.3.7	Crenças dos Professores sobre Física e sobre o Ensino e Aprendizagem de Física	106
4.2.4	Discussão Geral dos Resultados da Fase 2	106
4.3	PROPOSTA DE MODELO DE CONHECIMENTO ESPECIALIZADO DE PROFESSORES DE FÍSICA (PTSK) – FASE 3.....	107
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	117
	REFERÊNCIAS	120

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Modelo do Conhecimento Especializado de Professores de Matemática (MTSK)	8
Figura 2: Percurso metodológico da pesquisa	32
Figura 3: Modelo Inicial do Conhecimento Especializado de Professores de Física (PTSK Transposto).....	34
Figura 4: Distribuição dos PaP-eRs nas áreas de abrangência da Física	44
Figura 5: Concentração dos conhecimentos identificados nas áreas da Física.....	49
Figura 6: Distribuição dos conhecimentos identificados em cada PaP-eRs nos domínios do PTSK	50
Figura 7: O papel da Matemática na Física	67
Figura 8: Síntese da análise da subcategoria: Por que se faz desta forma?	87
Figura 9: Síntese da análise da categoria: Definições, Propriedades e seus Fundamentos.....	95
Figura 10: Síntese da análise da categoria: Fenomenologia e Aplicações	101
Figura 11: Categorias originais (PTSK Transposto) dos conhecimentos referentes à modelagem de sistemas físicos	102
Figura 12: Distribuição dos conhecimentos do subdomínio KoT	104
Figura 13: Modelo do Conhecimento Especializado de Professores de Física (PTSK).....	108

LISTA DE QUADROS

Quadro 1:	Subdomínios do MTSK	9
Quadro 2:	CrITÉrios de seleÇo entre os diferentes tipos de conexes para classificao no MTSK.....	10
Quadro 3:	Exemplo da distino entre indÍcios e evidncias de conhecimentos ...	28
Quadro 4:	Exemplos tericos dos subdomÍnios do PTSK Transposto.....	37
Quadro 5:	Exemplos tericos para categoria Procedimentos do subdomÍnio KoT do PTSK Transposto	40
Quadro 6:	Exemplos tericos para categoria Definies, Propriedade e seus Fundamentos do subdomÍnio KoT do PTSK Transposto	41
Quadro 7:	Exemplos tericos para categoria Registros e Representaes do subdomÍnio KoT do PTSK Transposto.....	42
Quadro 8:	Exemplos tericos da categoria Fenomenologia e Aplicaes do subdomÍnio KoT do PTSK Transposto.....	43
Quadro 9:	Referncias e resumo dos PaP-eRs selecionados	44
Quadro 10:	Transcrio dos trechos dos conhecimentos c25.a14.KPT, c01.a15.KPT, c06.a02.KPT e c06.a07.KPT	52
Quadro 11:	Transcrio dos trechos dos conhecimentos c12.a01.KPT e c05.a05.KPT	53
Quadro 12:	Transcrio dos trechos dos conhecimentos c30.a03.KPT, c02.a10.KPT, c13.a01.KPT e c10.a18.KPT	54
Quadro 13:	Transcrio do trecho do conhecimento c03.a17.KPT.....	56
Quadro 14:	Transcrio dos trechos dos conhecimentos c03.a11.KoT e c23.a11.KoT.....	58
Quadro 15:	Transcrio do trecho do conhecimento c09.a12.KPT.....	59
Quadro 16:	Transcrio dos trechos dos conhecimentos c16.a13.KPT e c34.a07.KPT	59
Quadro 17:	Transcrio dos trechos dos conhecimentos c23.a18.KFLP, c01.a04.KFLP e c12.a04.KFLP	62
Quadro 18:	Transcrio dos trechos dos conhecimentos c14.a12.KFLP, c05.a17.KFLP e c18.a15.KFLP	63

Quadro 19: Transcrição do trecho do conhecimento c04.a17.KFLP	64
Quadro 20: Transcrição dos trechos dos conhecimentos c03.a05.KFLP e c12.a14.KFLP	65
Quadro 21: Transcrição dos trechos dos conhecimentos c01.a10.KFLP e c07.a12.KFLP	65
Quadro 22: Transcrição dos trechos dos conhecimentos c13.a14.KFLP, c05.a04.KFLP e c05.a17.KFLP	68
Quadro 23: Transcrição dos trechos dos conhecimentos c10.a14.KPLS e c05.a09.KPLS	70
Quadro 24: Transcrição dos trechos dos conhecimentos c17.a13.KPLS e c13.a04.KPLS	71
Quadro 25: Transcrição dos trechos dos conhecimentos c17.a18.KPLS e c17.a01.KPLS	72
Quadro 26: Transcrição do trecho do conhecimento c01.a18.KPLS	73
Quadro 27: Transcrição do trecho do conhecimento c05.a15.KPLS	73
Quadro 28: Transcrição do trecho do conhecimento c16.a07.KPP	75
Quadro 29: Transcrição dos trechos dos conhecimentos c22.a06.KSP e c26.a06.KSP	77
Quadro 30: Transcrição do trecho do conhecimento c23.a14.KSP	78
Quadro 31: Transcrição do trecho do conhecimento c04.a01.KSP	78
Quadro 32: Transcrição do trecho do conhecimento c03.a12.KSP	79
Quadro 33: Transcrição do trecho do conhecimento c19.a11.KoT	83
Quadro 34: Transcrição do trecho do conhecimento c08.a07.KoT	84
Quadro 35: Transcrição do trecho do conhecimento c06.a11.KoT	84
Quadro 36: Transcrição do trecho do conhecimento c25.a08.KoT	85
Quadro 37: Transcrição do trecho do conhecimento c26.a08.KoT	85
Quadro 38: Transcrição do trecho do conhecimento c28.a07.KoT	88
Quadro 39: Transcrição do trecho do conhecimento c06.a08.KoT	89
Quadro 40: Transcrição do trecho do conhecimento c22.a11.KoT	89

Quadro 41: Transcrição dos trechos dos conhecimentos c03.a11.KoT e c23.a11.KoT.....	91
Quadro 42: Transcrição dos trechos dos conhecimentos c14.a06.KoT e c15.a08.KoT.....	92
Quadro 43: Transcrição dos trechos dos conhecimentos c26.a03.KoT e c04.aa07.KoT.....	93
Quadro 44: Transcrição do trecho do conhecimento c08.a11.KoT.....	94
Quadro 45: Transcrição do trecho do conhecimento c07.a15.KoT.....	96
Quadro 46: Transcrição dos trechos dos conhecimentos c24.a07.KoT e c19.a07.KoT.....	97
Quadro 47: Transcrição de trecho de livro didático relacionado ao registro de grandeza vetorial.....	98
Quadro 48: Transcrição dos trechos dos conhecimentos c13.a03.KoT, c24.a06.KoT ec05.a08.KoT.....	99
Quadro 49: Transcrição dos trechos dos conhecimentos c05.a11.KoT e c09.a15.KoT	100
Quadro 50: Transcrição do trecho do conhecimento c04.a15.BLV.....	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Foco central dos conhecimentos do subdomínio KPT.....	61
Tabela 2:	Foco central dos conhecimentos do subdomínio KFLP	69
Tabela 3:	Foco central dos conhecimentos do subdomínio KPFL	74
Tabela 4:	Foco central dos conhecimentos do subdomínio KSP	80
Tabela 5:	Classificação dos conhecimentos do KoT nas categorias do PTSK Transposto	81
Tabela 6:	Contribuição das categorias iniciais para composição das categorias finais do subdomínio KoT.....	103
Tabela 7:	Foco central dos conhecimentos em cada categoria do subdomínio KoT.....	104
Tabela 8:	Distribuição dos conhecimentos identificados nos PaP-eRs nos subdomínios do PTSK.....	107
Tabela 9:	Síntese da proposta do modelo PTSK.....	114

LISTA DE ABREVIATURAS

CoRe -	<i>Content Representation</i>
GIMC -	Grupo Interdisciplinar de Pesquisa em Ensino de Matemática e Ciências da Natureza
KFLM -	<i>Knowledge of Features of Learning Mathematics</i>
KFLP -	<i>Knowledge of Features of Learning Physics</i>
KMLS -	<i>Knowledge of Mathematics Learning Standards</i>
KMT -	<i>Knowledge of Mathematics Teaching</i>
KoT -	<i>Knowledge of Topics</i>
KPLS -	<i>Knowledge of Physics Learning Standards</i>
KPM -	<i>Knowledge of Practices in Mathematics</i>
KPP -	<i>Knowledge of Practices in Physics</i>
KPT -	<i>Knowledge of Physics Teaching</i>
KSM -	<i>Knowledge of the Structure of Mathematics</i>
KSP -	<i>Knowledge of the Structure of Physics</i>
MK -	<i>Mathematical Knowledge</i>
MKT -	<i>Mathematical Knowledge for Teaching</i>
MTSK -	<i>Mathematics Teacher's Specialized Knowledge</i>
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PaP-eRs -	<i>Professional and Pedagogical experience Repertoire</i>
PCK -	<i>Pedagogical Content Knowledge</i>
PISA	Programa Internacional de Avaliação de Estudantes
PK -	<i>Physics's Knowledge</i>
PTSK -	<i>Physics Teacher's Specialized Knowledge</i>
SIDM -	<i>Seminario de Investigación en Didáctica de la Matemática</i>

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo apresenta-se a temática do trabalho, contextualizando a pesquisa no panorama atual do ensino de Física no Brasil. A seguir são apresentados os estudos já desenvolvidos na temática da pesquisa justificando-se a lacuna científica com a qual se pretende contribuir. Frente ao contexto apresentado é descrita a pergunta da pesquisa e seus objetivos. Finaliza-se a introdução com uma breve apresentação da estrutura da dissertação.

1.1 TEMÁTICA DO TRABALHO

Há hoje no Brasil uma carência generalizada de professores com formação específica. Este fato pode ser observado nos resultados do censo escolar brasileiro de 2016. Neste levantamento, o Indicador de Adequação da Formação Docente, que representa a relação entre a formação inicial dos docentes de uma escola e as disciplinas por estes lecionadas, mostra que para nenhuma disciplina do ensino médio se atinge 80% de adequação (BRASIL, 2017).

A disciplina de Física apresenta o terceiro pior resultado, dentre os professores de Física no Ensino Médio apenas 41,40% atendem aos requisitos necessários para ministrar a disciplina, ou seja, têm formação superior em Licenciatura e em Física. Observa-se ainda que mais de 55% dos professores da disciplina não possuem formação superior na área de Física (BRASIL, 2017).

Estes dados mostram que para exercício do magistério de Física no Ensino Médio, assim como nas demais disciplinas, a formação especializada não é tratada como um requisito necessário para exercício da profissão docente. Fato que impacta no reconhecimento da profissão, na formação dos professores e, conseqüentemente, na qualidade do ensino em nossas escolas.

O contexto apresentado também reflete na aprendizagem dos alunos. Tem-se como exemplo o baixo desempenho dos estudantes brasileiros no Programa Internacional de Avaliação de Estudantes (PISA), no qual o desempenho dos estudantes brasileiros na avaliação de ciências foi de 401 pontos, sendo a média internacional 493. (OCDE, 2016)

1.2 ESTUDOS ANTECEDENTES

O conhecimento necessário ao professor para o exercício da docência vem sendo foco de diversos estudos ao longo das últimas décadas (SHULMAN, 1986, 1987; HALIM; MEERAH, 2002; SOSA, 2010; CARRILLO et al., 2014; CONTRERAS-GONZÁLVEZ et al., 2017). Estas pesquisas buscam não apenas identificar de modo sistemático os conhecimentos de professores, mas, também, desenvolver ferramentas que permitam o aprimoramento da formação inicial e continuada dos profissionais do ensino (LOUGHRAN et al., 2001; BALL; THAMES; PHELPS, 2008; SALVADOR; ROLANDO; ROLANDO, 2010; NOVAIS, 2015; KARAL; ALEV, 2016).

Em revisões bibliográficas sobre o conhecimento profissional, nas diversas disciplinas, observa-se a referência inicial ao modelo do Conhecimento Pedagógico do Conteúdo, PCK¹ (SHULMAN, 1986, 1987), a partir do qual foram desenvolvidas diversas variantes para disciplinas, tais como, Química, Biologia e Matemática (LEIRIA, 2013; FERNANDEZ; GOES, 2014; FERNANDEZ, 2015).

A disciplina com maior desenvolvimento de modelos específicos, para investigação dos conhecimentos necessários para prática docente, tem sido a Matemática (GOES, 2014), na qual se observa uma trajetória que caminha do genérico ao especializado (MORIEL JUNIOR; WIELEWSKI, 2017). Este percurso tem como de ponto de partida o modelo do Conhecimento Pedagógico do Conteúdo, PCK (SHULMAN, 1986, 1987), passa pelo modelo Conhecimento Matemático para o Ensino, MKT² (BALL; THAMES; PHELPS, 2008) e culmina com o modelo do Conhecimento Especializado de Professores de Matemática, MTSK³ (CARRILLO et al., 2014).

O MTSK é um modelo teórico que descreve o conjunto de conhecimentos especializados necessários ao professor para ensinar Matemática (MORIEL JUNIOR; WIELEWSKI, 2017). Para fins analíticos o MTSK separa o conhecimento profissional em dois eixos, chamados domínios, um focado no conhecimento do

¹ Sigla em inglês para: *Pedagogical Content Knowledge*.

² Sigla em inglês para: *Mathematical Knowledge for Teaching*.

³ Sigla em inglês para: *Mathematics Teacher's Specialized Knowledge*. Todas as siglas do modelo foram definidas em inglês pelos autores do MTSK.

conteúdo e outro centrado no conhecimento didático do conteúdo, tendo cada um três subdivisões, chamadas subdomínios. Cada subdomínio é composto por categorias com focos específicos nos diversos tipos de conhecimento. Esta separação visa permitir que os pesquisadores, que utilizem o MTSK como instrumento de investigação, possam caracterizar os conhecimentos identificados “de maneira profunda e estabelecer possíveis relações e repercussões que cada tipo de conhecimento tem com os demais” (CARRILLO et al., 2014, p. 61, tradução nossa)

Assim como o PCK originou diversas tipologias, a adaptação do MTSK para outras disciplinas é foco de estudos em andamento, sendo esta uma das temáticas da Rede Iberoamericana MTSK⁴. A transposição do MTSK para a disciplina de Biologia é objeto de pesquisa de Doutorado em Portugal (LUÍS; MONTEIRO; CARRILLO, 2015). A transposição para disciplina de Química é foco de pesquisa de Mestrado, no Brasil, sendo esta vinculada ao Grupo Interdisciplinar de Pesquisa em Ensino de Matemática e Ciências da Natureza, GIMC⁵ (em fase de elaboração)⁶.

Também no âmbito do grupo de pesquisa GIMC tem-se a presente pesquisa de mestrado na qual aborda-se o modelo teórico do Conhecimento Especializado de Professores de Física tendo-se como referência a base conceitual do MTSK. As três pesquisas mencionadas apresentam caráter pioneiro por serem as primeiras a proporem modelos para descrição dos conhecimentos especializados necessários aos professores para ensino das respectivas disciplinas.

Na disciplina de Física não foi identificado na revisão da literatura o desenvolvimento de modelos específicos para investigação dos conhecimentos dos professores, sendo o mais aproximado o modelo do Conhecimento Pedagógico do Conteúdo da Cúpula, PCK da Cúpula, definido em 2012 como fruto de um consenso entre trinta grupos de pesquisadores em Ensino de Ciências (englobando grupos de

⁴ A Rede Iberoamericana MTSK envolve pesquisadores da Espanha, Portugal, Chile, Brasil, Equador, Peru e México. No Mato Grosso seu coordenador é o Professor Dr. Jeferson Gomes Moriel Junior. As diversas temáticas de pesquisa sobre o MTSK estão descritas no site do grupo: <https://redmtsk.com/>

⁵ Este grupo de pesquisa é composto por docentes e discentes do Programa de Pós-Graduação em Ensino, PPGEn, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, IFMT.

⁶ SOARES, S. T. C. **Conhecimento Especializado de Professores de Química**: Descrição de modelo para área e proposta detalhada do subdomínio KoT. Cuiabá. Dissertação (Mestrado em Ensino) Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Ensino, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso.

pesquisa em Ensino de Física, Química e Biologia). Este é um modelo aceito nas diversas áreas de ensino das ciências (FERNANDEZ, 2015).

Observa-se que a investigação dos conhecimentos necessários dos professores de Física tem sido conduzida por modelos genéricos, com falta de foco específico, tais como o modelo do Conhecimento Pedagógico do Conteúdo, PCK (SHULMAN, 1986) e o PCK da Cúpula (FERNANDEZ, 2015). No entanto, sabe-se que quanto mais focado nas características específicas da disciplina, no caso a Física, for o modelo adotado como ferramenta analítica descritiva para condução das pesquisas, mais precisos e especializados serão os conhecimentos identificados como resultado da aplicação do modelo estabelecido (CARRILLO et al., 2014).

Frente à ausência de um modelo específico para identificação dos conhecimentos especializados dos professores de Física e aos potenciais benefícios da definição deste para melhoria do processo de ensino-aprendizagem da disciplina, tem-se na pesquisa de modelo do Conhecimento Especializado de Professores de Física, PTSK⁷, um amplo e significativo campo de pesquisa.

1.3 PERGUNTA DE PESQUISA

Neste contexto, é natural que ao buscar um modelo teórico para aplicação na investigação dos conhecimentos especializados dos professores de Física, inicie-se esta análise por aproximação ao MTSK. Na presente pesquisa procurou-se responder a pergunta: Quais são as características do modelo do Conhecimento Especializado de Professores de Física, PTSK, tendo-se por referência a base conceitual do modelo do Conhecimento Especializado de Professores de Matemática, MTSK?

1.4 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho consiste em propor um modelo do Conhecimento Especializado de Professores de Física, PTSK, que tenha como referencial teórico a base conceitual do modelo do Conhecimento Especializado de Professores de Matemática, MTSK.

⁷ Sigla em inglês para: *Physics Teacher's Specialized Knowledge*. Optou-se por manter a padronização da nomenclatura do modelo na língua inglesa conforme feito pelos autores do MTSK.

São objetivos específicos:

1. Estabelecer, por transposição direta do MTSK, o PTSK Transposto, descrevendo-se seus domínios, subdomínios e categorias do subdomínio Conhecimento dos Tópicos da Física, tendo-se por base as definições conceituais do MTSK.
2. Compreender as adequações, inadequações e limitações entre PTSK Transposto e os conhecimentos especializados necessários ao professor para o ensino de Física.
3. Propor um modelo de Conhecimento Especializado de Professores de Física, PTSK, baseado nas constatações da etapa de análise do modelo inicial.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Após a introdução apresenta-se no capítulo 2, Fundamentação Teórica, a estrutura e os elementos do modelo MTSK e o posicionamento de seus autores quanto ao processo de ensino aprendizagem e seus atores. Na sequência discorre-se sobre o conhecimento de professores de Física e as principais bases teóricas usadas em pesquisas em ensino de Física. Finaliza-se a Fundamentação Teórica com a caracterização da disciplina de Física.

O capítulo 3 trata do encaminhamento metodológico, apresenta-se a condução de cada uma das três fases da pesquisa que permitiram que o PTSK proposto aproximasse-se da natureza da Física sem distanciar-se da base conceitual do MTSK.

Os resultados da pesquisa são apresentados e discutidos no capítulo 4. Inicia-se com a apresentação do PTSK Transposto, na sequência aborda-se a seleção e análise dos episódios de ensino e a aplicação do PTSK Transposto como ferramenta analítica. Neste ponto apresentam-se os pontos de adequação e inadequação entre o modelo inicial e os conhecimentos identificados. Conclui-se o capítulo com a apresentação da proposta do modelo PTSK baseado nas constatações anteriores.

No capítulo 5 são apresentadas as considerações finais da pesquisa, suas limitações e sugestões de futuras pesquisas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo apresenta-se a fundamentação teórica da pesquisa desenvolvida. Sendo apresentado inicialmente o modelo MTSK e o posicionamento de seus autores quanto ao processo de ensino aprendizagem e seus atores que são o ponto inicial para o atendimento do objetivo geral da investigação. Na sequência discorre-se sobre o conhecimento de professores de Física e as principais bases teóricas usadas em pesquisas em ensino de Física, conforme estudos de revisão bibliográfica. Desta forma fundamenta-se a análise da viabilidade da transposição proposta. Finaliza-se a Fundamentação Teórica com a caracterização da disciplina de Física que constitui a base para análise dos conhecimentos identificados.

2.1 CONHECIMENTO ESPECIALIZADO DE PROFESSORES DE MATEMÁTICA (MTSK)

O modelo do Conhecimento Especializado de Professores de Matemática, MTSK, é um modelo teórico que descreve o conjunto de conhecimentos necessários ao professor para ensinar Matemática (MORIEL JUNIOR; WIELEWSKI, 2017) e destaca-se entre os modelos em uso na comunidade científica, por apresentar foco específico no conhecimento especializado do professor e sanar lacunas conceituais de modelos anteriores (ESCUDERO; FLORES; CARRILLO, 2012; CARRILLO et al., 2014; MORIEL JUNIOR, 2014).

O MTSK representa uma simplificação da complexidade dos conhecimentos de professores de Matemática, que objetiva o melhor entendimento destes conhecimentos e a proposição de atividades formativas (CARRILLO et al., 2014). Sua configuração final é influenciada por alguns posicionamentos de seus autores sobre os conceitos envolvidos nesta modelagem relacionados ao ensino e aprendizagem de Matemática e ao conhecimento de professores envolvido neste processo. A seguir são apresentados alguns destes aspectos que impactaram no desenvolvimento desta pesquisa.

Conhecimento no contexto do MTSK é entendido como:

Eu defino o conhecimento de um indivíduo como a informação que estes têm disponível para usar para resolver problemas, alcançar metas,

desenvolver qualquer tarefa. Note-se que, de acordo com esta definição, o conhecimento não precisa ser necessariamente correto. (CARRILLO et al., 2014, p. 10, tradução nossa).

Assim conhecimento é a informação que o professor possui e aplica na atividade de ensino da Matemática, seja esta informação coincidente ou não com a visão do investigador do que seria correto (CARRILLO et al., 2014). Nesta colocação evidencia-se o caráter especializado do modelo, pois são abordados apenas os conhecimentos usados para o ensino da disciplina.

Outro componente do MTSK são as crenças, sendo estas entendidas como:

Assim, as crenças podem ser entendidas, nos moldes propostos por Ponte (1994), como verdades pessoais, sustentadas individual e/ou coletivamente, oriundas da experiência ou da própria reflexão, com certo componente afetivo e valorativo, sobre o qual se pode ter diferentes graus de convicção, assim como podem ser justificadas por argumentos que não seguem critério passíveis ao questionamento por evidências... (CARRILLO et al., 2014, p. 12, tradução nossa).

Desta forma as crenças são verdades pessoais que integram as informações que os professores dispõem para o exercício da docência que se distinguem dos conhecimentos por seu caráter subjetivo e emocional (CARRILLO et al., 2014).

Os autores assumem o posicionamento construtivista quanto à natureza do conhecimento e da atividade matemática. Desta forma, entendem que a Matemática é fruto de um contexto social e das motivações nele inseridas. Neste âmbito o ensino da Matemática é abordado na perspectiva sócio-construtivista (CARRILLO et al., 2014).

Assim entende-se, no contexto do MTSK, que a aprendizagem de Matemática abarca o desenvolvimento pelo aluno da compreensão conceitual, da capacidade procedimental, da flexibilidade de raciocínio, da capacidade estratégica e da visão da Matemática como significativa e útil. Ou seja, espera-se que o aluno desenvolva a competência de saber qual conhecimento matemático “usar, quando e como usá-lo e por que ele o utiliza” (CARRILLO et al., 2014, p. 34, tradução nossa).

Desta forma, as atividades educacionais, na visão dos autores, devem ser desenvolvidas de maneira contextualizada, com a construção de significados

integrados a realidade e ao conhecimento prévio dos estudantes (CARRILLO et al., 2014).

Neste contexto o professor é visto “como promotor da aquisição de conhecimento através da pesquisa por meio de uma organização dinâmica de conteúdo” (CARRILLO et al., 2014, p. 35, tradução nossa). Assim, o aprimoramento do docente passa pela reflexão crítica quanto à própria prática, de modo que o professor tenha clareza quanto a: o que ensinar; como ensinar; e para que ensinar (CARRILLO et al., 2014).

Feitas as considerações sobre o posicionamento dos autores quanto à base conceitual do modelo passa-se a apresentação de sua estrutura.

O modelo MTSK apresenta dois domínios, o Conhecimento Matemático, MK⁸, e o Conhecimento Didático do Conteúdo, PCK. Estes são divididos em três subdomínios cada, conforme Figura 1. No centro do modelo têm-se as crenças dos professores sobre a Matemática e sobre o ensino e aprendizagem da Matemática que dão sentido às ações dos professores.

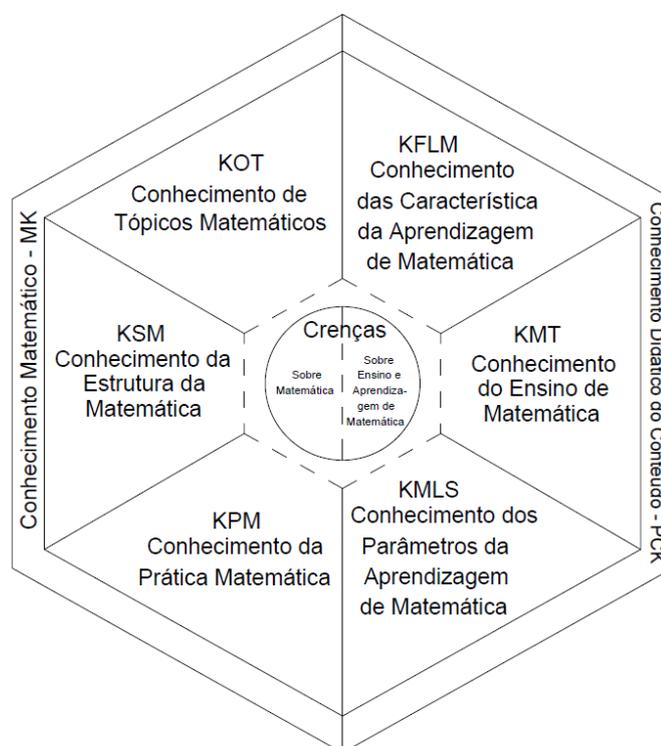


Figura 1: Modelo do Conhecimento Especializado de Professores de Matemática (MTSK)

⁸ Sigla em inglês para: *Mathematical Knowledge*.

Fonte: Baseado em: Carrillo et al. (2014, tradução nossa); Contreras-González et al. (2017, tradução nossa); Moriel Junior; Wielewski (2017)

Os subdomínios do MTSK são centrados na disciplina Matemática. Para uma descrição mais completa do MTSK, com a identificação de aspectos específicos dos conhecimentos, os autores do modelo definiram categorias para cada um destes subdomínios (ESCUADERO-AVILA; FLORES-MEDRANO; CARRILLO, 2017). Os subdomínios podem ser caracterizados, conforme descrito no Quadro 1, no qual também constam as categorias de cada um.

Quadro 1: Subdomínios do MTSK

Conhecimento Didático do Conteúdo (PCK)
<p>Conhecimento das Características da Aprendizagem de Matemática (KFLM⁹): sobre como os alunos aprendem os conteúdos matemáticos, sua forma de interagir com os conteúdos (como estratégias comuns de resolução de problemas), as características do processo de compreensão, erros comuns, dificuldades e a linguagem comumente usada por eles ao lidar com o conteúdo. Também estão incluídas teorias (formais e pessoais) sobre o desenvolvimento cognitivo dos alunos em relação à Matemática.</p> <p><u>Categorias do KFLM:</u> (i) Teorias de aprendizagem; (ii) Fortalezas e dificuldades; (iii) Forma de interação com o conteúdo matemático; (iv) Interesses e expectativas.</p>
<p>Conhecimento do Ensino de Matemática (KMT¹⁰): inclui teorias (formais e pessoais), estratégias e atividades de ensino, como as tendências em educação de Matemática, explicações instrucionais, os diversos modos e recursos para apresentar um conteúdo.</p> <p><u>Categorias do KMT:</u> (i) Teorias de ensino; (ii) Recursos e materiais didáticos; (iii) Estratégias, técnicas, tarefas e exemplos.</p>
<p>Conhecimento dos Parâmetros da Aprendizagem de Matemática (KMLS¹¹): refere-se às especificações curriculares, normas mínimas, formas de avaliação para progressão do aluno e objetivos de desempenho de organismos externos. São, também, fontes possíveis destes conhecimentos os resultados de pesquisas na área de educação Matemática e opiniões de professores experientes sobre o sucesso no ensino.</p> <p><u>Categorias do KMLS:</u> (i) Expectativas de aprendizagem; (ii) Nível de desenvolvimento conceitual e procedimental esperado; (iii) Sequenciamento com temas anteriores e posteriores.</p>
Conhecimento Matemático (MK)
<p>Conhecimento da Prática da Matemática (KPM¹²): sobre modos de produzir Matemática, elementos que estruturam uma demonstração e estratégias para argumentar, generalizar e explorar matematicamente.</p> <p><u>Categorias do KPM:</u> (i) Hierarquia e planejamento de como proceder para resolução de problemas da Matemática; (ii) Formas de validação e demonstração; (iii) O papel dos</p>

⁹ Sigla em inglês para: *Knowledge of Features of Learning Mathematics*.

¹⁰ Sigla em inglês para: *Knowledge of Mathematics Teaching*.

¹¹ Sigla em inglês para: *Knowledge of Mathematics Learning Standards*.

¹² Sigla em inglês para: *Knowledge of Practices in Mathematics*.

símbolos e do uso do idioma formal; (iv) Processos associados à resolução de problemas como forma de produzir na Física; (v) Práticas particulares da produção científica na Física; (vi) Condições necessárias e suficientes para gerar definições.

Conhecimento da Estrutura da Matemática (KSM¹³): refere-se às conexões intra-conceituais entre tópicos de diferentes áreas da Matemática assim como as relações entre tópicos elementares e avançados, prévios e futuros.

Categorias do KSM: (i) Conexões de complexização; (ii) Conexões de simplificação; (iii) Conexões transversais; (iv) Conexões auxiliares.

Conhecimento dos Tópicos (KoT¹⁴): foca o conhecimento dos tópicos da Matemática isoladamente, dos procedimentos, definições, propriedades, aplicações e fenômenos em que objetos matemáticos têm origem.

Categorias do KoT: (i) Procedimentos: Como fazer?; Quando pode ser feito?; Por que se faz desta forma?; e Características dos resultados; (ii) Definições, Propriedade e seus Fundamentos; (iii) Registros e Representações; (iv) Fenomenologia e Aplicações.

Fonte: Carrillo et al. (2014, tradução nossa); *Seminario de Investigación en Didáctica de la Matemática* - SIDM (2016, tradução nossa); Moriel Junior (2014).

Ressalta-se que o conhecimento especializado do professor é concebido como um conjunto integrado e complexo, não compartimentado. A identificação de conhecimentos e sua classificação, conforme a estrutura do MTSK, não implica na separação destes, pois as relações entre os diversos conhecimentos são fundamentais para o desenvolvimento de uma prática didática contextualizada e significativa (CARRILLO et al., 2014).

As descrições dos elementos e estruturas do MTSK vêm sendo detalhadas por seus autores após sua publicação inicial em estudos que abordam aspectos específicos do modelo. A definição de critérios de escolha para classificar um conhecimento nas distintas categorias do subdomínio KSM e sua distinção com relação ao subdomínio KoT, conforme descrito no Quadro 2, é um exemplo destas publicações.

Quadro 2: Critérios de seleção entre os diferentes tipos de conexões para classificação no MTSK

Critério	Tipo de conexão (subdomínio)
O professor conhece que o tópico 1 é definido ou determinado pelo tópico 2	Intra-conceitual (KoT)
O professor conhece que o tópico 1 possibilita a construção ou o desenvolvimento do tópico 2	Complexização (KSM)

¹³ Sigla em inglês para: *Knowledge of the Structure of Mathematics*.

¹⁴ Sigla em inglês para: *Knowledge of Topics*.

O professor conhece que o tópico 1 pode ser simplificado com o tópico 2	Simplificação (KSM)
O professor conhece que o tópico 1 tem natureza, processo ou característica em comum com o tópico 2	Transversal (KSM)
O professor conhece que o tópico 1 pode ser usado ou é necessário para resolver algo no tópico 2	Auxiliar (KSM)

Fonte: Adaptado de Vasco; Moriel Junior e Contreras (2017, p. 6, tradução nossa)

A relação entre os subdomínios é um dos aspectos atualmente estudados pelos autores do MTSK, sendo um exemplo o estudo sobre o conhecimento especializado de funções lineares de um professor secundário. No qual, entre outros aspectos, destaca-se o fato de como o conhecimento do professor sobre possíveis dificuldades dos estudantes influenciam seu planejamento de aula (ESCUDEIRO-AVILA; FLORES-MEDRANO; CARRILLO, 2017). Outros exemplos são a identificação destas relações envolvendo o uso de analogias no ensino do conceito de função (ESPINOZA-VASQUEZ; ZAKARYAN; CARRILLO, 2017) e a relação entre os subdomínios do domínio didático (PCK) e do domínio matemático (MK) no ensino da adição de frações (MORIEL JUNIOR; MORAL, 2017).

Além do estudo das relações entre os subdomínios o MTSK, tem sido aplicado no contexto de atividades formativas, tais como a mensuração do desenvolvimento do conhecimento especializado de licenciandos, durante curso de modelagem matemática em sua formação inicial no Chile, (ARCOS; BORROMEO-FERRI; MENA-LORCA, 2017), o uso de atividade para discutir o desenvolvimento do MTSK de professores (RIBEIRO, 2016) e no contexto da resolução de problemas abertos na formação continuada (BUSTAMANTE; RIBEIRO; NAVARRO, 2015).

Ainda relacionado à formação de professores, tem-se o uso do MTSK como ferramenta analítica com fins diagnósticos, para contribuir com diretrizes para formação inicial e continuada de professores, no tocante ao tópico Estimativa de Volume (PIZARRO; ALBARRACÍN; GORGORÍO, 2016).

O mapeamento de conhecimentos de professores a respeito de tópicos específicos, com a aplicação do MTSK como ferramenta analítica, tem sido amplamente utilizado, dentre os conteúdos já foco de estudos pode-se citar: a divisão de frações (MORIEL JUNIOR, 2014), equações lineares aditivas (RIQUELME-

RAMOS; RAMOS-RODRÍGUEZ, 2016), desigualdades lineares (MIRANDA-VÁSQUEZ; RAMOS-RODRÍGUEZ, 2016), convergência de séries lineares (MONTES; CARRILLO, 2015), matrizes e determinantes (VASCO et al., 2015) e números racionais (ZAKARYAN; RIBEIRO; VALENZUELA, 2015).

As pesquisas mencionadas buscam aprofundar a compreensão sobre os conhecimentos especializados de professores de Matemática e, apesar de apresentarem alinhamento quanto aos seus eixos centrais, exploram diversas metodologias para identificação dos conhecimentos. Nos estudos acima mencionados foram usados os seguintes cenários: o planejamento de aulas; a aplicação de atividades específicas; oficinas; entrevistas; e filmagem e transcrição de aulas. O que mostra a versatilidade do modelo.

Além de sua pluralidade metodológica, o MTSK apresenta outros benefícios que abrangem: a identificação e mapeamento sistemático de conhecimentos especializados em tópicos específicos; a avaliação com fins diagnósticos; e o desenvolvimento de atividade para seu aprimoramento.

2.2 CONHECIMENTO DE PROFESSORES DE FÍSICA

O caminho para melhoria do aprendizado da Física, pelos estudantes, passa necessariamente pela melhoria de seu ensino e a qualidade deste ensino depende diretamente da qualificação dos professores (LUTTENEGER; MORRISON, 2015). Desta forma, a caracterização dos conhecimentos necessários ao professor de Física para ensino dos conteúdos da disciplina, é uma etapa essencial para que os cursos de formação inicial e continuada sejam planejados de modo eficaz (FERNANDEZ, 2011).

Recentemente estão sendo conduzidas diversas pesquisas para identificação dos conhecimentos de professores para o ensino de Física (HALIM; MEERAH, 2002; EYLON; BAGNO, 2006; ETKINA, 2010; KARAL; ALEV, 2016), porém estas são baseadas no modelo genérico do PCK, cujo próprio autor reconhece ter como uma fraqueza a falta de foco no conteúdo da disciplina (PCK SUMMIT, 2012).

Shulman ao proferir a palestra de abertura do congresso da Cúpula do PCK, em 2012, cita cinco fraquezas identificadas por ele em seu modelo: 1) Não incluir os

sentimentos envolvidos; 2) Focar apenas no pensamento e não na ação; 3) Não abordar o contexto social; 4) Não contribuir para a justiça social; e 5) Não valorizar os conhecimentos específicos do conteúdo (PCK SUMMIT, 2012).

Desta forma, o foco especializado do MTSK e a inclusão das crenças no modelo, permeando as ações dos professores, representam avanços conceituais reconhecidos como necessários por Shulman.

No levantamento feito não se identificou um modelo específico para os Conhecimentos dos Professores de Física. Sendo esta uma lacuna que precisa ser preenchida para auxiliar na melhoria do ensino da disciplina. Pois a eficácia dos modelos restringe-se ao campo de aplicação para o qual foi concebido (CARRILLO et al., 2014), assim sendo o MTSK é fecundo quando aplicado à disciplina de Matemática, não no ensino de Física ou qualquer outra ciência.

Assim como o PCK foi estudado e adaptado para atendimento às características específicas de várias áreas de conhecimento, acredita-se que também o modelo do MTSK possa ser estudado e adaptado para as características específicas da Física. A aplicação do MTSK a outras disciplinas é uma das temáticas de estudo da Rede Iberoamericana MTSK, que envolve pesquisadores da Espanha, Portugal, Chile, Brasil, Equador, Peru e México.

A viabilidade desta opção deve fundamentar-se na semelhança da base conceitual do MTSK e às atuais visões da comunidade acadêmica sobre ensino de Física. Para tanto buscou-se estudos de revisão bibliográfica que traçassem o perfil das bases teóricas usadas no desenvolvimento de pesquisas em ensino de Física no Brasil. Desta forma a identificação das principais bases teóricas baseia-se na Tese de Doutorado de Salem¹⁵ (2012) e no artigo de Rezende, Ostermann e Ferraz¹⁶ (2009). Depois de identificados os teóricos mais usados na fundamentação teórica de pesquisas em ensino de Física, os posicionamentos destes quanto ao processo de ensino-aprendizagem e o papel dos alunos e dos professores neste processo são apresentados abaixo.

¹⁵ A Tese aborda a evolução das pesquisas em Ensino de Física no Brasil tendo como base as dissertações teses produzidas na área desde sua implantação na década de 70 até o ano de 2009.

¹⁶ O artigo aborda o estado da arte da produção nacional sobre ensino de física no período de 2000 a 2007 tendo como base artigos publicados nos principais periódicos nacionais da área.

Análises das tendências de pesquisas em ensino de Física mostram a predominância da investigação sobre os processos cognitivos de aprendizagem, focados principalmente em como os alunos aprendem os conceitos físicos. Nestas pesquisas a abordagem construtivista de Jean Piaget, sobre o desenvolvimento intelectual e cognitivo, não mostrou-se predominante, no período de 1979 a 2009. A principal referência neste período sobre estruturas cognitivas e conceituais foi David Ausubel, com a abordagem da Aprendizagem Significativa, pois apesar de observar-se a adoção de diferentes ênfases no decorrer do tempo, não houve uma mudança pragmática, com abandono desta teoria (SALEM, 2012).

Esta centralidade também é observada ao avaliar-se o referencial teórico utilizado em pesquisas que tem por objetivo o desenvolvimento de estratégias, métodos e recursos didáticos na Física. A principal combinação de referenciais teóricos é o conjunto da: Aprendizagem Significativa, de Ausubel; Aprendizagem Significativa Crítica, de Moreira; e a Teoria Sócio-interativista, de Vigotsky (SALEM, 2012; REZENDE; OSTERMANN; FERRAZ, 2009). Abaixo são apresentados, de modo breve, aspectos centrais destas três teorias e ao término deste capítulo discute-se o alinhamento destas concepções com aquelas presentes na base conceitual do MTSK.

As três teorias abordam a necessidade de uma atitude ativa do aluno no processo de ensino, pois sem que o estudante faça um esforço intencional para relacionar o novo conhecimento à seus conhecimentos prévios, não ocorrerá aprendizado para Ausubel, este empenho está relacionado a relevância dada pelo estudante ao conteúdo apresentado segundo Moreira (PAULO; SOUZA, 2011). Estes posicionamentos são coerentes com a teoria de Vigotsky, que relaciona o aprendizado ao querer do aluno, pois, “não há aprendizagem à revelia” (GASPAR, 2014, p. 178), a pré-disposição do estudante é considerada essencial para o intercâmbio de significados durante o processo de ensino-aprendizagem (MOREIRA, 2015).

Na teoria de Vigotsky a aprendizagem é uma condição necessária para o desenvolvimento cognitivo, que ocorre em interações sociais, influenciadas pelo contexto social, cultural e histórico, mediadas por instrumentos e signos (MOREIRA,

2015), assim sendo, os conceitos científicos são aprendidos de modo deliberado e consciente (GASPAR, 2014). Já Ausubel identifica dois distintos processos de aprendizagem, a aprendizagem mecânica, iminentemente memorística, sem compreensão, e a aprendizagem significativa, que mune o estudante da capacidade de transferir e explicar os conceitos aprendidos. Sendo a diferença entre estes dois processos a modificação das ideias prévias dos alunos, que ocorre apenas quando a aprendizagem é significativa (PAULO; SOUZA, 2011; MOREIRA, 2017).

Desta forma, para Ausubel, não há diferença, em termos de aprendizagem, caso o conteúdo seja apresentado já pronto para o aluno ou se ele for descoberto pelo estudante. O determinante é que o novo conhecimento relacione-se a conhecimentos prévios da realidade do aluno, que sejam relevantes para os conteúdos ensinados, de modo a promover à integração e diferenciação de conhecimentos na estrutura cognitiva (PAULO; SOUZA, 2011; MOREIRA, 2015).

Na teoria da Aprendizagem Significativa Crítica, Moreira apresenta onze princípios para facilitar o processo de aprendizagem, alguns deles guardam semelhanças a aspectos centrais das teorias de Vigostsky e Ausubel. A importância da linguagem, como sistema de signos e significados para desenvolvimento cognitivo, é destacada por Moreira e Vigostsky, sendo que Moreira ressalta que o significado ultrapassa o aspecto puramente linguístico, uma vez que, para ele, são as experiências individuais de cada pessoa que dão o verdadeiro significado às palavras (MOREIRA, 2015).

As atividades educacionais, para Vigostsky, devem ser contextualizadas em termos históricos, sociais e culturais, e durante elas é necessário que ocorra interação social e que haja o intercâmbio de significados, para que haja aprendizagem e o consequente desenvolvimento cognitivo. (MOREIRA, 2015). Já na Aprendizagem Significativa Crítica, além de considerar-se o contexto em si, deve-se entender a percepção que o aluno tem deste contexto, pois esta fará com que cada estudante perceba de maneira distinta o que lhe é ensinado (MOREIRA, 2015, 2017).

Moreira aponta o uso de perguntas como estratégia para identificação destas percepções, e como instrumento de negociação de significados entre professores e alunos. Esta abordagem baseada em perguntas torna a participação dos estudantes no

processo de ensino necessária, tanto professor como aprendizes precisaram falar e ouvir, condição esta considerada essencial para aprendizagem também por Vigostsky. O aluno ao formular questões sobre o tópico apresentado estará relacionando-o a seus conhecimentos prévios, aspecto central da teoria de Ausubel, e explicitando a sua compreensão sobre os tópicos já abordados, o que permitirá ao professor uma intervenção assertiva (MOREIRA, 2015, 2017).

Ainda com relação aos princípios abordados por Moreira, ressaltam-se dois que abordam a ciência como um conjunto de conhecimentos em construção, não de verdades absolutas e imutáveis. No processo de evolução científica, algumas vezes, faz-se necessário o rompimento com conhecimentos prévios para o desenvolvimento de novos conceitos, ou seja, o conhecimento é incerto e sua evolução muitas vezes ocorre por sucessivas superações de “erros” anteriores. O mesmo ocorre no processo de aprendizagem, como no caso da Mecânica Quântica em relação a Mecânica Clássica, ou quando o professor conduz o aluno em sucessivas evoluções conceituais até que o novo conhecimento supere o anterior. (MOREIRA, 2015, 2017).

No tocante aos recursos didáticos, Ausubel considera a presença de materiais potencialmente significativos uma das duas condições necessárias para a aprendizagem significativa, pois este auxiliará na negociação de significados (PAULO; SOUZA, 2011). Neste contexto Moreira traz a importância do professor fazer uso de diferentes materiais didáticos e estratégias de ensino, além do “quadro e giz”, de forma a estimular o espírito crítico do aluno, eliminando a visão do livro texto e do professor como fontes inquestionáveis do saber a ser aprendido. (MOREIRA, 2015, 2017)

Já quanto ao papel do professor tem-se, na teoria de Vigotsky, que sua ação é de mediador na negociação de novos significados pelos alunos. Ele dirige o processo de aprendizado, agindo como parceiro mais capaz, que coopera com o estudante durante o processo de ensino-aprendizagem, para que este internalize os significados socialmente aceitos dos conteúdos abordados (GASPAR, 2014; MOREIRA, 2015). Ausubel entende como a principal atribuição do professor no processo de ensino-aprendizagem a identificação dos conhecimentos prévios dos estudantes que são relevantes para o conteúdo que será abordado, e que ao aborda-lo o faça ancorando o

novo conhecimento nestes conhecimentos prévios, permitindo a modificação de conceitos (MOREIRA, 2015)

A conjugação destas três abordagens coloca na centralidade do processo de ensino-aprendizagem da Física a necessidade de atividades educacionais contextualizadas em termos históricos, sociais e culturais, na qual a interação social e o intercambio de significados exercem papel fundamental.

2.3 A FÍSICA

A Física é uma ciência que estuda a natureza e caracteriza-se pela combinação do raciocínio teórico e da observação experimental (HAMBURGER, 1992). A interação entre os corpos é o principal objeto de estudo da Física, sendo estas chamadas de Fenômenos Físicos (PIETROCOLA, 2002).

As representações quantitativas dos Fenômenos Físicos são chamadas de Grandezas Físicas (YOUNG; FREEDMAN, 2008), sendo as relações matemáticas existentes entre as diversas Grandezas Físicas, que participam de um mesmo fenômeno, chamadas de Leis Físicas (BONJORNO et al., 1992).

No embasamento do aporte teórico da Física encontram-se os conceitos, que podem ser entendidos como:

[...] idéias estabilizadas pelo uso e “tijolos” do pensamento científico. Carga, massa, distância, força, campo, potencial, energia, além de espaço, tempo, velocidade são conceitos muito importantes do pensamento físico. Todavia, esses conceitos sozinhos nada podem e só ganham sentido quando vinculados uns aos outros, ou seja, quando presentes no interior de uma teoria. No interior delas encontramos as leis físicas. (PIETROCOLA, 2002, p. 104).

Estes conceitos podem ser expressos com palavras ou matematicamente, ou seja, um conceito é “moldável tanto na linguagem comunicativa do falar e escrever da língua codificada, como na matemática” (ANGOTTI, 1993, p. 191). Ao abordar conceitos físicos matematicamente é possível a apresentar a relação entre as diversas Grandezas Físicas envolvidas em um mesmo Fenômeno Físico de modo sintético, como pode ser observado no exemplo abaixo:

Apesar de ser necessária uma longa explicação para chegarmos ao fato de que a energia de um corpo em movimento (energia cinética) depende de sua massa e de sua velocidade, recorrendo à Matemática, obtemos a fórmula:

$$E_c = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

em que, E_c é a energia cinética; m , a massa e v , a velocidade. Essa fórmula nos mostra que a energia cinética varia em função da massa do corpo e de sua velocidade. (RAMALHO JUNIOR; FERRARO; SOARES, 2007, p. 4).

A integração entre a Física e a Matemática é observada desde “o tratamento numérico de grandezas físicas” (BATISTA; MOZOLEVSKI, 2010, p. 16) até a inferência de leis empíricas “a partir da manipulação pura e simples de objetos matemáticos com natureza totalmente abstrata” (BATISTA; MOZOLEVSKI, 2010, p. 17). A relação simbiótica entre a Física e a Matemática pode ser percebida no trecho abaixo da obra “O que é Física” de Hamburger (1992):

Os métodos conhecidos são utilizados, e também são desenvolvidas ideias novas na própria matemática. Por exemplo, o conceito de derivada de uma função apareceu a partir da velocidade: podemos dizer que a derivada é sempre a velocidade de variação da função em relação a uma variável. A Matemática foi assim fecundada por muitas ideias novas provindas da Física, como também houve o processo inverso. (HAMBURGER, 1992, p. 11)

Note-se que o papel da Matemática na Física ultrapassa o de mero ferramental para solução de problemas, a Matemática estrutura o pensamento Físico.

Historiadores e epistemólogos mostraram a dificuldade que foi aceitar o papel da Matemática como mediador de nosso pensamento na apreensão dos fenômenos, constituindo-se em um obstáculo epistemológico a ser ultrapassado no desenvolvimento das ciências experimentais. [...] Ao concebermos a apreensão do real como fruto de um processo de interação dialética entre abstrato e concreto, entre teórico e empírico, não há como evitar o tratamento da Matemática como elemento que participa, com sua especificidade própria, do contexto da construção do conhecimento. (PIETROCOLA, 2002, p. 106)

Abordar a Matemática apenas como uma mera ferramenta no âmbito da Física levaria a seu entendimento como um conteúdo procedimental algorítmico, ou seja, como um conjunto de ações ordenadas em uma sequência rígida, sem que haja influência das situações nas quais estas são aplicadas no ordenamento destas ações (ZABALA, 1998). Sendo que o papel da Matemática é muito mais amplo, de fato, a Física vale-se da estrutura do pensamento matemático, da sua precisão, universalidade e lógica dedutiva para construir suas interpretações do mundo (PIETROCOLA, 2002). Assim a Matemática compõe o raciocínio teórico que caracteriza o estudo da natureza na Física.

Além do estudo teórico a Física é caracterizada também pela observação experimental. Um exemplo do uso conjugado destas duas faces do desenvolvimento da Física é a refutação feita por Galileu da doutrina de Aristóteles, que afirmava que os corpos mais pesados caem mais rapidamente que corpos mais leves. Galileu demonstrou com raciocínios que esta tese conduzia a conclusões contraditórias e refutou-a também experimentalmente ao conduzir testes com corpos de massas diferentes (HAMBURGER, 1992).

A experimentação na Física envolve uma cuidadosa preparação teórica e técnica, pois envolve o conhecimento do aporte teórico envolvido no fenômeno estudado e as características técnicas dos equipamentos disponíveis para realização do experimento e as condições ambientais. Esta relação pode ser compreendida com o exemplo dado por Batista e Mozolevski (2010) ao discutirem a precisão possível em um experimento envolvendo a medição de temperatura:

Primeiramente, sobre as limitações de nossos aparelhos de medida. Muito além da precisão das escalas de medida do aparelho, que pode parecer que é apenas questão de tempo e tecnologia para desenvolver aparelhos mais precisos, existem limitações intrínsecas à natureza do experimento que nos impedem de termos uma precisão arbitrariamente grande.

Se quisermos, por exemplo, medir a temperatura da água em uma panela aquecida, devemos introduzir um termômetro na mesma, mas o valor obtido da temperatura no final da medição é a temperatura de equilíbrio entre a água e o termômetro. Em outras palavras, a água teve que esfriar, mesmo que seja só um pouquinho, e o termômetro teve que esquentar. Houve trocas de calor e, portanto, a temperatura obtida não é exatamente

a temperatura da água antes de se introduzir o termômetro. (BATISTA; MOZOLEVSKI, 2010, p. 17-18).

Percebe-se que a experimentação na Física exige um planejamento cuidadoso, com objetivos claros, baseado em conhecimento teórico e técnico (PRAIA; CACHAPUZ; GIL-PÉRES, 2002). No exemplo acima, descrito por Batista e Mozolevki (2010), percebe-se que há dificuldade em se medir a troca de calor entre a água e o termômetro utilizado e que o impacto desta variável no resultado do experimento tende a ser mínimo.

Este tipo de situação ocorre em experimentos e estudos teóricos na Física. Para viabilizar o estudo dos Fenômenos Físicos que poderiam ser complexos demais para serem analisados integralmente a Física vale-se da adoção de modelos, que consistem em “uma versão simplificada de um sistema físico que seria complicado demais analisar com detalhes completos” (YOUNG; FREEDMAN, 2008, p.3).

Por exemplo, suponha que queiramos analisar o movimento de uma bola de beisebol atirada ao ar [...]. Qual é a complicação deste problema? A bola não é uma esfera perfeita (ela possui costuras salientes) e gira durante seu movimento no ar. O vento e a resistência do ar influenciam seu movimento, o peso da bola varia ligeiramente com a variação da distância entre a bola e o centro da Terra etc. Se tentarmos incluir todos esses fatores, a análise se tornará inutilmente complexa. Em vez disto, criamos uma versão simplificada do problema. Desprezamos a forma e o tamanho da bola considerando-a um objeto puntiforme, ou partícula. Desprezamos a resistência supondo que ela se desloca no vácuo e consideramos o peso constante. Agora o problema se torna bastante simples de resolver (YOUNG; FREEDMAN, 2008, p.3).

Desta forma percebe-se que a adoção de modelos é aplicada tanto na abordagem teórica da Física quanto na realização de experimentos e que para adoção de modelos adequados ao estudo do fenômeno é necessário conhecimento do aporte teórico da Física e das condições técnicas de realização das atividades experimentais.

Nesta perspectiva, a Física pode ser definida como a ciência que realiza a observação da natureza “aliada ao registro, ao compartilhamento de dados e ideias, à análise sistemática utilizando recursos, ferramentas e conhecimentos prévios e aos problemas que se pretendem compreender” (PUGLIESE, 2017, p.34). Assim

compreende-se que o conhecimento teórico e a experimentação são pilares fundamentais para o estudo de Física

3 METODOLOGIA

Neste capítulo descreve-se a metodologia da pesquisa e sua caracterização. As três fases que compõem o percurso metodológico adotado são apresentadas e os parâmetros que nortearam sua realização são definidos e, quando apropriado, justificativas para as decisões metodológicas são apresentadas. Ao final do capítulo apresenta-se síntese do encaminhamento metodológico.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Este trabalho é classificado como uma pesquisa de abordagem qualitativa (BOGDAN; BIKLEN, 1994), de caráter exploratório (GIL, 2008), realizada em três fases para, após analisar-se a adequação, ou não, da transposição direta do MTSK para o PTSK, propor-se o modelo do Conhecimento Especializado de Professores de Física.

A abordagem qualitativa da pesquisa evidencia-se pelo atendimento a três das cinco características necessárias para uma pesquisa qualitativa, segundo Bogdan e Biklen (1994), sendo elas:

1. A pesquisa é descritiva, sendo os dados recolhidos em forma de relatos de episódios de ensino de Física e não de números;
2. A análise dos conhecimentos para construção do modelo PTSK ocorre por processo indutivo, no qual a partir de vários elementos construiu-se o todo do modelo proposto.
3. Na última fase da pesquisa a construção do modelo PTSK dar-se-á baseada nos dados coletados, ou seja, a teoria será construída a medida que os dados coletados forem se agrupando.

O caráter exploratório da pesquisa justifica-se por seu objetivo em contribuir significativamente para definição do modelo PTSK, porém sem a pretensão de esgotar o estudo do tema, o que alinha-se ao objetivo que uma pesquisa exploratória que tem “como principal finalidade desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e

ideias, tendo em vista a formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores” (GIL, 2008, p. 27).

As três fases da pesquisa podem ser sinteticamente descritas conforme abaixo:

Fase 1: Definição, por transposição direta do MTSK, do modelo do Conhecimento Especializado de Professores de Física, PTSK Transposto.

Fase 2: Aplicação do PTSK Transposto como ferramenta analítica para caracterização do conhecimento mobilizado pelos professores nos episódios de ensino analisados.

Fase 3: Proposição do modelo PTSK, baseado nas constatações da segunda fase da pesquisa.

3.2 FASE 1: DEFINIÇÃO DO PTSK TRANSPOSTO

Na primeira fase da pesquisa fez-se a descrição dos domínios, dos subdomínios e das categorias do subdomínio Conhecimento dos Tópicos de Física (KoT) do modelo do Conhecimento Especializado de Professores de Física, PTSK, por transposição direta do MTSK. Optou-se pela não inclusão das categorias dos demais subdomínios do PTSK na presente pesquisa devido ao volume de trabalho envolvido não ser compatível com o prazo estipulado para o desenvolvimento desta dissertação.

A escolha do subdomínio Conhecimento dos Tópicos de Física (KoT) foi uma decisão conjunta dos pesquisadores da Rede iberoamericana MTSK envolvidos na pesquisa da aplicação do MTSK a outras disciplinas¹⁷ e baseou-se na crença, deste grupo de pesquisadores, que este subdomínio abrangerá grande parte das distinções entre os modelos de cada área de ensino (Matemática, Física, Química e Biologia).

As descrições do modelo PTSK Transposto foram minimamente adaptadas da Matemática para Física de modo a constituírem previamente a fundamentação teórica para análise do conteúdo dos episódios de ensino na Fase 2. Este processo foi

¹⁷ Paralelamente a esta dissertação de mestrado estão em andamento outras duas pesquisas que tem por objeto de estudo a aplicação do MTSK a outras disciplinas. O modelo do Conhecimento Especializado de Professores de Química, foco de pesquisa de mestrado no Brasil e o modelo do Conhecimento Especializado de Professores de Biologia, foco de pesquisa de doutorado em Portugal. Ambas às pesquisas, assim como esta, adotaram como estratégia o foco no subdomínio KoT para definição das categorias.

baseado na adaptação das descrições feitas sobre o modelo MTSK nas publicações do grupo SIDM¹⁸, coordenado pelo Professor Dr. José Carrillo, Universidade de Huelva, Espanha, e na discussão do PTSK Transposto com pesquisadores integrantes do grupo de pesquisa de Rede Iberoamericana MTSK.

Paralelamente a descrição do PTSK Transposto foram definidos exemplos teóricos de conhecimentos que pudessem ser incluídos em cada um dos subdomínios. Este processo visou ampliar o entendimento do modelo inicial ao suscitar questionamentos sobre a adequação do nome dos subdomínios e categorias e as diferenças entre a natureza da Matemática e da Física.

A definição do PTSK Transposto foi detalhada para que o modelo estabelecido fosse válido e homogêneo, com domínios, subdomínios e categorias exaustivos e consistentes conceitualmente. De forma que as lacunas identificadas na Fase 2 originaram-se nas diferenças entre a natureza do ensino de Física e do ensino de Matemática e não em falhas na definição inicial do modelo.

Para cumprir-se o objetivo geral da pesquisa, ou seja, verificar a acuidade do modelo PTSK Transposto, este foi submetido à experimentação. Para tanto identificou-se os conhecimentos mobilizados por professores de Física em episódios de ensino. Porém este levantamento é um processo complexo, pois visa explicitar um conjunto de conhecimentos implícitos (FERNANDEZ, 2011), a metodologia adotada para identificação destes conhecimentos é abordada no próximo tópico.

3.3 FASE 2: EXPERIMENTAÇÃO DO PTSK TRANSPOSTO

Na Fase 2 da pesquisas incluem-se as metodologias adotadas para seleção e análise dos episódios de ensino de Física, usados para identificação dos conhecimentos dos professores, para aplicação do PTSK Transposto como ferramenta analítica.

¹⁸ A principal obra utilizada nesta fase foi o livro **Un marco teórico para el conocimiento especializado del profesor de matemáticas** (CARRILLO et al., 2014), porém as demais publicações do grupo SIDM também compuseram o modelo PTSK Transposto por trazerem relevantes atualizações ao modelo MTSK devido às evoluções das pesquisas desenvolvidas.

3.3.1 Seleção dos Episódios de Ensino

A maioria das pesquisas para identificar os conhecimentos dos professores é qualitativa, dependente de técnicas cognitivas, como entrevistas, que levam a transcrições para posterior análise dos dados (BAXTER, LEDERMAN, 1999). Na literatura são identificadas diversas modalidades de investigação. A título de exemplo pode-se citar: o uso de questionários (ROWAN et al., 2001), a realização de oficinas aliadas a entrevistas (MORIEL JUNIOR, 2014), a triangulação de dados obtidos com aplicação questionário, entrevista e observação da prática da sala de aula (LUTTENEGGER; MORRISON, 2015) e o uso combinado de Representação de Conteúdo, CoRe¹⁹, para avaliação do conhecimento do conteúdo e de Relatório da Experiência Profissional Pedagógica, PaP-eRs²⁰ que propicia documentar o conhecimento pedagógico (LOUGHRAN et al., 2001), sendo esta última de especial interesse para esta pesquisa.

PaP-eRs pode ser definido como um documento que emerge da prática real dos professores, no qual um episódio de ensino é reconstruído em uma forma comunicável contendo descrições detalhadas sobre situações vivenciadas na prática de ensino de um conteúdo específico. Estes documentos podem ter vários formatos, tais como: entrevista gravada ou transcrita, revistas, diários de sala, filmagens e assim por diante. O essencial é que o PaP-eRs ilustre para o pesquisador os elementos que caracterizam o conhecimento dos professores e permita que sejam reconhecidos os aspectos da pedagogia, do conteúdo e do contexto (LOUGHRAN et al., 2001).

Em consonância com o conceito apresentado na presente pesquisa o levantamento dos conhecimentos dos professores de Física, de conteúdo e pedagógico, deu-se pela análise de artigos científicos publicados em periódicos, dissertações ou teses que apresentem as características necessárias de um PaP-eRs. Estes três tipos de documentos foram o foco da busca inicial em detrimento dos demais por retratarem a quase totalidade da pesquisa educacional desenvolvida na área da Física, sendo de luz menor o que não está contemplado nestes documentos e é divulgado em outras formas, tais como: relatórios de projetos, textos didáticos,

¹⁹ Sigla em inglês para: *Content Representation*.

²⁰ Sigla em inglês para: *Professional and Pedagogical experience Repertoire*.

monografias, anais de eventos científicos, livros, etc. (MEGID NETO; PACHECO, 2004).

A natureza experimental da Física enquanto ciência foi considerada durante a condução da pesquisa. Desta forma, o modelo PTK Transposto foi analisado também sob este prisma, assim, buscou-se a inclusão de PaP-eRs que abordassem atividades experimentais na amostra da pesquisa.

De modo mais sistematizado, as publicações científicas, selecionadas para cumprir o papel de PaP-eRs na presente pesquisa, devem apresentar as seguintes características:

1. Ser baseado na prática real de ensino de Física;
2. Reconstruir o episódio de ensino;
3. Conter descrições detalhadas das situações vivenciadas durante o ensino do conteúdo; e
4. Parte dos textos selecionados deve abordar o aspecto experimental do ensino de Física.

Assim sendo, foram chamados de PaP-eRs os artigos, dissertações e teses que atenderam os critérios acima.

Estabelecidos os critérios de seleção, buscou-se publicações científicas sobre episódios de ensino de Física, que cumprissem a função de PaP-eRs no levantamento dos conhecimentos dos professores de Física em suas práticas didáticas. O uso de publicações científicas de episódios de ensino de Física, que atendam a estes critérios, permite a identificação de conhecimentos que abarcam tanto o conteúdo da Física como o conhecimento didático do conteúdo da Física, além de proporcionar maior abrangência dos conhecimentos identificados (LIMA et al., 2017).

Valendo-se da amplitude de conhecimentos permitida pela metodologia adotada, buscou-se diversificar as áreas de abrangência da Física abordadas nos PaP-eRs. Ampliando assim a riqueza dos conhecimentos incluídos no estudo, evitando que a proposta feita fosse influenciada por características específicas de alguns poucos conteúdos.

Sendo esta uma pesquisa exploratória que tem “como principal finalidade desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, tendo em vista a formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores” (GIL, 2008, p. 27) acerca dos conhecimentos especializados dos professores de Física entende-se que o levantamento proposto está adequado ao objetivo geral do estudo.

3.3.2 Análise dos Episódios de Ensino

Selecionados os PaP-eRs procedeu-se a sua análise de modo a identificar e descrever os conhecimentos mobilizados pelos professores de Física, durante os episódios de ensino, para então relacioná-los aos subdomínios e categorias do PTSK Transposto. A análise dos textos iniciou-se com a preparação das informações, seguida de unitarização, categorização, descrição e interpretação (MORAES, 1999).

O processo de análise deu-se por leituras sucessivas das obras e triangulação de investigadores, ou seja, diversos pesquisadores analisaram os mesmos episódios de ensino e expuseram suas conclusões, por vezes conflitantes. Esta divergência entre pontos de vista é exatamente o benefício obtido com esta metodologia, uma vez que as observações distintas “expandam a base interpretativa do estudo e [...] revelem aspectos do fenômeno pesquisado que não seriam necessariamente observados por um único pesquisador” (MOREIRA; ROSA, 2016, p. 25).

Desta forma, os episódios foram discutidos em análises coletivas dos integrantes do grupo de pesquisa de Rede Iberoamericana MTSK, minimizando-se assim a influência individual do pesquisador no processo. O método para identificação dos conhecimentos nos PaP-eRs deu-se na sequência abaixo:

1. Identificação dos trechos dos PaP-eRs que contenham evidências de conhecimentos dos professores;
2. Codificação dos trechos;
3. Descrição sucinta do conhecimento evidenciado com a terminologia apropriada da ciência da Física;

Na identificação dos conhecimentos nos episódios de ensino selecionados, consideraram-se como mobilizados apenas aqueles nos quais o professor evidenciava

o conhecimento dos conceitos envolvidos no tópico e não a mera terminologia deste, pois, nos casos nos quais tais evidências não se encontram presentes nos PaP-eRs, há apenas indícios que o professor possui determinado conhecimento. (MORIEL JUNIOR; CARRILLO, 2014). A distinção entre indícios e evidências de conhecimento é exemplificada no Quadro 3. No primeiro trecho não é possível afirmar que o professor conhece os conceitos citados, pois o texto não fornece elementos suficientes para tanto. No segundo trecho o professor apresenta elementos que embasam de modo consistente afirmar-se que ele conhece o conceito de corrente elétrica.

Quadro 3: Exemplo da distinção entre indícios e evidências de conhecimentos

Tipo	Comentário	Trecho
Indício	O professor menciona conceitos dando indícios de conhecimento do conceito de corrente elétrica	Relato sucinto das principais atividades: ... – Medição de corrente contínua e alternada, diferença de potencial eficaz.
Evidência	O professor conceitua corrente elétrica evidenciando seu conhecimento de conceito de corrente elétrica que, de modo sucinto, consiste em: “elétrons em movimento”	A corrente elétrica são os elétrons em movimento. ... Dentro da estrutura de um fio de cobre os muitos elétrons livres constituem o denominado mar de elétrons. Dentro deste mar, os elétrons livres apresentam movimento aleatório. Porém, quando existe uma diferença de potencial entre as extremidades deste fio haverá um fluxo de elétrons, a corrente elétrica. Quanto maior o fluxo dos elétrons, maior será a corrente elétrica.

Fonte: Adaptado de Lima et al. (2017, p. 3)

Devido à metodologia de pesquisa adotada não há a possibilidade de um segundo momento de investigação para verificação se estes indícios de conhecimento confirmam-se ou não, desta forma, os indícios de conhecimento não foram abordados nesta pesquisa.

A codificação seguiu o padrão C-A para indicar o número do conhecimento e do PaP-eRs do qual este foi extraído. Por exemplo, c01.a01 significa o conhecimento 01 do PaP-eRs P01²¹.

²¹ Esta padronização de código já é adotada por outros trabalhos desenvolvidos no grupo de pesquisa GIMC.

A descrição sucinta dos conhecimentos identificados, sempre que possível, foi padronizada quanto à terminologia usada, para que houvesse o agrupamento consistente destes conhecimentos e a análise dos dados obtidos fosse uniforme. A descrição seguiu a padronização “O professor conhece ... que consiste em: ...” de modo minimizar a possibilidade que indícios fossem tratados como evidências de conhecimentos (informação verbal)²². Um exemplo desta configuração é “O professor conhece ideia intuitiva comum aos estudantes quanto à queda livre dos objetos que consiste em: os alunos acreditarem que o corpo mais “pesado” chegaria antes no chão”.

Após a identificação, codificação e descrição dos conhecimentos, procedeu-se a aplicação do PTSK Transposto como ferramenta analítica, para associação dos conhecimentos aos domínios, subdomínios e, quando aplicável, às categorias.

3.3.3 Aplicação do PTSK Transposto como Ferramenta Analítica

Nesta fase a fundamentação teórica para análise estava previamente estabelecida pelo modelo PTSK Transposto e os conhecimentos, ou crenças, identificados e descritos. Assim os conhecimentos foram confrontados com as definições feitas no PTSK Transposto e classificados na sequência abaixo:

1. Classificação como Crença ou Conhecimento. Sendo classificado como Crença fez-se o acréscimo das letra BLV no código do conhecimento. Sendo classificado como Conhecimento procede-se a pormenorização da classificação conforme descritos nos demais itens;
2. Classificação do conhecimento em um dos dois domínios do PTSK Transposto, Conhecimento da Física, ou Conhecimento Didático do Conteúdo;
3. Classificação do conhecimento em um dos três subdomínios do respectivo domínio do PTSK Transposto e acréscimo no código do conhecimento de três letras, para identificação do subdomínio.
4. Caso o conhecimento identificado fosse classificado no subdomínio de Conhecimento dos Tópicos de Física (KoT), fez-se a classificação deste

²² Orientação fornecida pelo Professor Dr. Jeferson Gomes Moriel Junior durante reunião do grupo GIMC, em Cuiabá, em fevereiro de 2018.

nas categorias deste subdomínio do PTSK Transposto, relacionando-se possíveis inadequações.

O enquadramento dos conhecimentos nos domínios, subdomínios e categorias do PTSK Transposto deu-se pela melhor aproximação possível nesta fase da pesquisa, a triangulação entre pesquisadores (MOREIRA; ROSA, 2016) foi amplamente utilizada para validação das conclusões feitas.

A triangulação deu-se pela análise coletiva de trechos de conhecimento por pesquisadores do grupo GIMC, desta forma, a discussão acerca da identificação e classificação dos conhecimentos, minimizou a influência do pesquisador nos resultados da pesquisa. Foram conduzidas sucessivas análises até o refinamento dos pontos de aderência e distinção entre o PTSK Transposto e os conhecimentos identificados.

Quando não foi possível a classificação de conhecimentos, de modo consistente, nas categorias já estabelecidas, estes foram agrupados conforme suas características em comum. Com base nestes agrupamentos, foram feitas propostas modificações no modelo inicial que, por sua vez, foram submetidas a novo processo de análise.

Este ciclo repetiu-se até acreditar-se que os conhecimentos identificados estavam classificados em domínios, subdomínios e categorias adequadas à sua natureza. Ao término deste processo de análises os conhecimentos de cada subdomínio foram descritos apenas por seu foco central, sem que fossem abordados aspectos do conteúdo ou contexto no qual estavam inseridos.

3.4 FASE 3: PROPOSTA DE MODELO DE CONHECIMENTO ESPECIALIZADO DE PROFESSORES DE FÍSICA (PTSK)

Concluída a Fase 2 da pesquisa fez-se a proposição do modelo PTSK. A formulação deste modelo baseou-se na descrição do PTSK Transposto e nas conclusões da Fase 2 da pesquisa. A descrição do subdomínio KoT teve como principal embasamento as categorias estabelecidas, os demais subdomínios basearam-se nos descritores definidos pelo foco central dos conhecimentos identificados.

Na construção da proposta do modelo PTSK da pesquisa foram respeitados os critérios de validade, exaustividade, homogeneidade, consistência e exclusividade mútua (MORAES, 1999) nos elementos do modelo, ou seja, domínios, subdomínios e categorias.

A validade refere-se à pertinência e adequação dos domínios, subdomínios e categorias definidos. Desta forma requer-se que estes sejam significativos e úteis na descrição dos conhecimentos dos professores. Também é necessário que o modelo seja exaustivo, ou inclusivo, desta forma todos os conhecimentos especializados identificados devem ser abrangidos pelo modelo, sem exceção.

A homogeneidade do modelo PTSK proposto refere-se ao uso de um único critério de seleção dos conhecimentos, ou seja, não são abordadas ações e sim informações que os professores dispõem e utilizam para o ensino de Física.

A descrição do modelo também visa manter sua consistência interna, sem que sejam necessárias avaliações demasiadamente subjetivas para classificação dos conhecimentos no modelo PTSK proposto. Desta forma mantêm-se a clareza na descrição do modelo, de modo que não haja dúvidas quanto à classificação dos conhecimentos identificados nas categorias, subdomínios e domínios propostos, assim diferentes pesquisadores chegam a conclusões iguais quanto a classificação dos conhecimentos identificados.

De modo análogo busca-se que os elementos sejam mutuamente excludentes, ou seja, um mesmo conhecimento não é passível de classificação simultânea em mais de um domínio, subdomínio ou categoria. Note-se que o fato dos elementos estabelecidos serem mutuamente excludentes não implica que a manifestação dos conhecimentos de professores ocorra de maneira estanque. Um mesmo trecho do episódio de ensino pode conter manifestações de conhecimentos do domínio do Conhecimento Didático do Conteúdo e do Conhecimento da Física.

3.5 SÍNTESE DO PERCURSO METODOLÓGICO

O percurso metodológico adotado para pesquisa pode ser sintetizado conforme Figura 2. Ressalta-se o caráter cíclico da aplicação do PTSK Transposto como ferramenta analítica, pois a identificação de inadequações gerou sucessivos ciclos de

análises até que houvesse adequação entre o conhecimento identificado e a modelagem proposta.

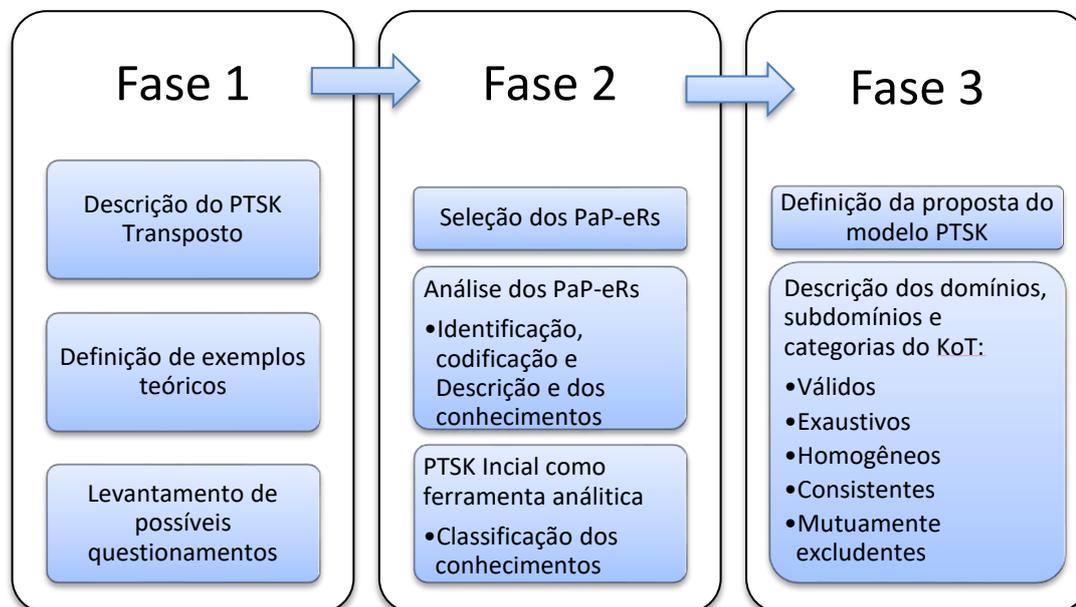


Figura 2: Percurso metodológico da pesquisa

Fonte: Produção da própria autora

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo apresentam-se os resultados das três fases da pesquisa, cada qual como uma abordagem específica. Antes da apresentação do PTSK Transposto faz-se uma breve análise do alinhamento das principais bases teóricas usadas em pesquisas em ensino de Física e os posicionamentos dos autores do MTSK que influenciam a configuração final do MTSK. Na sequência a apresentação do PTSK Transposto dá-se de modo breve, com maior foco para os questionamentos suscitados durante sua elaboração.

Nos resultados da Fase 2 descrevem-se os episódios de ensino selecionados com a caracterização de suas áreas de abrangência. Na sequência apresentam-se as características gerais dos conhecimentos identificados em cada PaP-eRs e como estes distribuem-se nas áreas da Física. Após estas descrições apresentam-se as análises feitas em cada subdomínio e categoria do KoT, exemplificando-se as adequações e inadequações encontradas com trechos de conhecimentos.

Após a apresentação dos resultados do percurso da pesquisa apresenta-se a proposta do modelo PTSK com a descrição de todos os seus subdomínios e das categorias do subdomínio KoT.

4.1 DEFINIÇÃO DO PTSK TRANSPOSTO

A conjugação das três principais abordagens que fundamentam as pesquisas em ensino de Física (SALEM, 2012), a Aprendizagem Significativa de Ausubel (PAULO; SOUZA, 2011), a Aprendizagem Significativa Crítica de Moreira (MOREIRA, 2017) e a Teoria Sócio-interativista de Vigotsky (MOREIRA, 2015), mostra-se alinhada com a base conceitual do MTSK (CARRILLO et al., 2014) quanto às atividades educacionais e ao papel do professor e do aluno no processo de ensino-aprendizagem. Deste modo identifica-se a viabilidade do uso do modelo MTSK para desenvolvimento de modelo do Conhecimento Especializado de Professores de Física, PTSK.

O entendimento de conhecimento, informação que o professor dispõe e aplica no ensino de Física, e de crença, verdades pessoais aplicadas no exercício da

docência, estão no cerne do modelo e são mantidos no modelo proposto nesta pesquisa.

O modelo PTSK Transposto, estabelecido por transposição direta do MTSK, está representado na Figura 3. A estrutura do modelo com dois domínios, cada qual com três subdomínios e a centralidade das crenças dos professores permeando todas as suas ações foram mantidas na proposta inicial. A descrição dos elementos do PTSK Transposto é feita seguindo-se em sentido horário a partir do subdomínio Conhecimento das Características da Aprendizagem da Física.

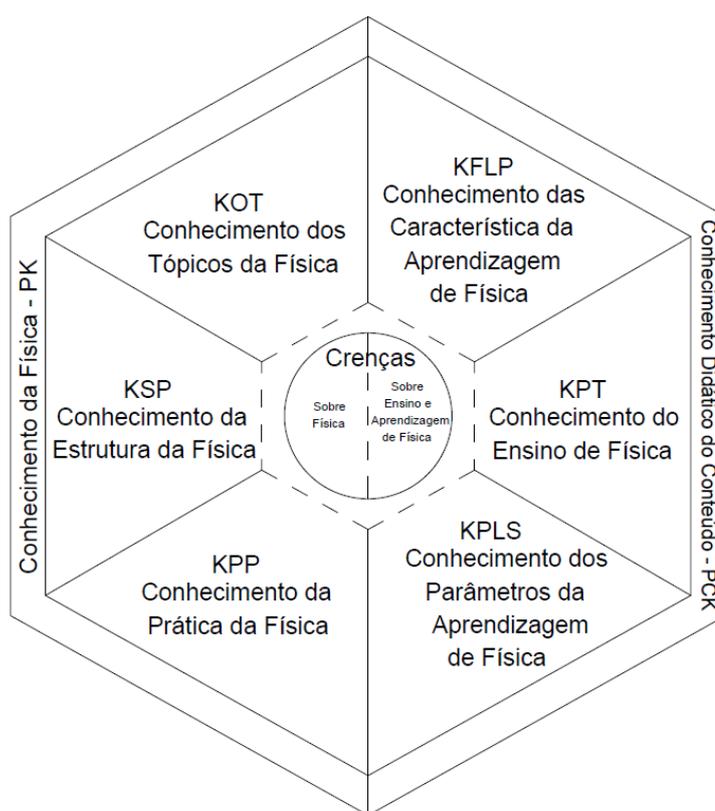


Figura 3: Modelo Inicial do Conhecimento Especializado de Professores de Física (PTSK Transposto)

Fonte: Produção da própria autora

O domínio CONHECIMENTO DIDÁTICO DO CONTEÚDO (PCK) aborda o conhecimento de professores sobre o ensino e a aprendizagem de conteúdos da Física, não são considerados neste domínio aspectos didáticos gerais do ensino da Física, mas apenas aqueles nos quais o conteúdo da Física é uma condicionante.

O subdomínio Conhecimento das Características da Aprendizagem da Física (KFLP²³) está focado no conteúdo da Física como objeto de aprendizagem e na interação do aluno com este conteúdo. Inclui o envolvimento dos estudantes em atividades específicas do aprendizado da Física, os erros comuns, o processo de compreensão, estratégias comuns de solução de problemas e a linguagem normalmente usada pelos alunos.

O conhecimento de estratégias de ensino, atividades, recursos e formas de apresentação do conteúdo da Física fazem parte do subdomínio Conhecimento do Ensino de Física (KPT²⁴). Todos os aspectos estão relacionados com o conteúdo da Física, objeto do processo de ensino, incluindo-se aqui as estratégias de ensino formais, originadas em resultados de pesquisas em Ensino de Física, e estratégias de ensino pessoais, fruto da observação e reflexão da docência do professor.

O terceiro subdomínio do Conhecimento Didático do Conteúdo (PCK) é o Conhecimento dos Parâmetros da Aprendizagem de Física (KPLS²⁵). Aqui estão inclusos o conhecimento dos conteúdos e habilidades que se espera que o aluno aprenda em determinado ano escolar, assim como o que foi aprendido no ano anterior e o que deverá ser aprendido no ano seguinte. Faz parte deste subdomínio o conhecimento dos parâmetros curriculares nacionais e a sequência dos diversos conceitos considerando-se o conhecimento prévio dos estudantes e as capacidades a serem desenvolvidas.

O domínio CONHECIMENTO DA FÍSICA (PK²⁶) engloba o conhecimento da própria disciplina de Física, o foco está no conhecimento de professores a respeito da Física. O Conhecimento da Prática da Física (KPP²⁷) é o terceiro subdomínio do Conhecimento da Física (KP) e aborda o conhecimento da pesquisa científica na Física, suas formas de proceder, os elementos que estruturam um experimento físico, ou seja, como se produz conhecimento científico em Física.

²³ Sigla em inglês para: *Knowledge of Features of Learning Physics*.

²⁴ Sigla em inglês para: *Knowledge of Physics Teaching*.

²⁵ Sigla em inglês para: *Knowledge of Physics Learning Standards*.

²⁶ Sigla em inglês para: *Physics's Knowledge*.

²⁷ Sigla em inglês para: *Knowledge of Practices in Physics*.

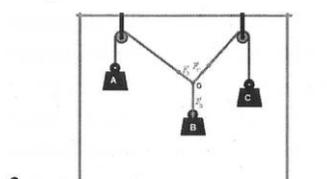
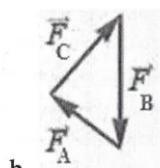
A relação entre os conceitos dos tópicos das diversas áreas de abrangência da Física compõem o subdomínio do Conhecimento da Estrutura da Física (KSP²⁸) estas relações podem ser de conceitos mais simples para mais complexos ou de simplificação de modo a potencializar o aprendizado do conteúdo objeto de estudo. Estas relações também podem tratar de similaridade de pensamentos entre conteúdos diversos ou atuarem de forma a auxiliar a compreensão do tópico propostos sem que haja uma semelhança conceitual entre os tópicos.

O subdomínio Conhecimento dos Tópicos da Física (KoT) consiste no conhecimento fundamentado e aprofundado dos conteúdos da Física de maneira isolada. Aqui incluem-se os conceitos, procedimentos, representações e aplicações de cada tópico da Física em sua área de abrangência, sempre de maneira isolada.

Para melhor compreensão dos subdomínios estabelecidos no PTSK Transposto foram identificados exemplos teóricos para conteúdos da Física, estes estão descritos no Quadro 4. Os exemplos foram focados na Mecânica Clássica, por ser este um tópico inicial da disciplina o que confere maior precisão aos exemplos e maior facilidade de compreensão destes por todos os membros do grupo de pesquisa durante o processo de discussão do PTSK Transposto. Note-se que um mesmo trecho pode conter a manifestação de mais de um conhecimento, sendo estes passíveis de identificação e classificação independentes. Não deve-se confundir a separação feita para fins analíticos com uma estanqueidade na mobilização dos diversos tipos de conhecimentos especializados de professores, assim, em um mesmo episódio pode haver evidência e/ou indício de conhecimento do domínio PCK e evidência e/ou indício de conhecimento domínio PK.

²⁸ Sigla em inglês para: *Knowledge of the Structure of Physics*.

Quadro 4: Exemplos teóricos dos subdomínios do PTSK Transposto

Conhecimento Didático do Conteúdo (PCK)	
<p>Conhecimento das Características da Aprendizagem da Física (KFLP)</p> <p>O objetivo dessa experiência é verificar a aplicação da segunda lei de Newton para uma situação de equilíbrio estático [...].</p> <p style="text-align: center;">Exemplo 1</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>a.</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>b.</p> </div> </div> <p>Como a figura a ilustra, a atividade experimental consiste em suspender livremente em uma armação, por meio de roldanas, duas cargas A e C que, através de fios leves e inextensíveis, sustentam em equilíbrio estático uma terceira carga B. [...]</p> <p>Apesar de, nessa situação, os alunos aceitarem bem o fato de a resultante dessas forças ser nula, a regra do polígono das forças é muito abstrata e dificilmente será bem compreendida sem a realização de uma atividade experimental como essa.</p> <p>Além disso, por meio desta experiência, ficam concretamente evidentes para os alunos dois outros <u>conceitos de difícil compreensão</u>: as diferenças entre soma algébrica e soma vetorial, e entre massa e peso.</p> <p style="text-align: right;">(GASPAR, 2014, p. 230, grifo nosso)</p> <p><u>O autor conhece</u> uma dificuldade de compreensão dos alunos <u>que consiste em</u>: saber a diferença entre soma algébrica e soma vetorial e entre massa e peso.</p>	
<p>Conhecimento do Ensino de Física (KPT)</p> <p>Como a figura a ilustra, a atividade experimental consiste em suspender livremente em uma armação, por meio de roldanas, duas carga A e C, através de fios leves e inextensíveis, sustentam em equilíbrio estático uma terceira carga B.</p> <p><u>O objetivo dessa experiência é verificar a aplicação da segunda lei de Newton para uma situação de equilíbrio estático</u>: a resultante às forças exercidas pelos pesos dessas cargas através dos fios no ponto O, representadas pelos vetores \vec{F}_A, \vec{F}_B, e \vec{F}_C, é nula.</p> <p>A maneira mais simples e prática de fazer essa verificação, nesse caso, é aplicar uma das regras de soma vetorial: se a resultante de um sistema de forças concorrentes e coplanares é nula, o polígono por elas formado é fechado (figura b)</p> <p style="text-align: right;">(GASPAR, 2014, p. 230, grifo nosso)</p> <p><u>O autor conhece</u> atividade experimental para verificar a aplicação da segunda Lei de Newton <u>que consiste em</u>: suspender livremente em uma armação por meio de roldanas duas cargas A e C para que estas sustentem, em equilíbrio estático, uma terceira carga B, conforme figura 1.</p>	

Conhecimento dos Parâmetros da Aprendizagem de Física (KPLS)

Exemplo 2

Conservação da energia mecânica

[...]

(GASPAR, 2014, p. 236)

Esta atividade, muito rica do ponto de vista cognitivo porque associa teoria e prática – demonstrando ao aluno, assim, a consistência conceitual da Física -, é também uma das raras evidências experimentais do princípio da conservação da energia mecânica que podem ser realizadas no Ensino Médio.

(GASPAR, 2014, p. 237)

O autor conhece conteúdo a ser abordado no ensino médio que consiste em: no estudo da conservação da energia mecânica.

Conhecimento da Física (KP)

Conhecimento da Prática da Física (KPP)

Na época era aceita a doutrina do filósofo grego Aristóteles, que afirmava que os corpos pesados caem mais depressa que os leves, proporcionalmente ao seu peso. Além de argumentos experimentais, Galileu refutou a tese de Aristóteles também com raciocínios teóricos, mostrando que levava a previsões contraditórias. É interessante reproduzir o pensamento de Galileu, pois foi o primeiro exemplo do que os alemães chamam de *Gedankenexperiment*, o que quer dizer experimento no pensamento, isto é, imagina-se o que ocorreria em certa situação e analisa-se o resultado. Trezentos anos mais tarde, Albert Einstein utilizou muitas vezes este expediente, em seus estudos da Teoria da Relatividade.

[...]

Galileu é considerado o fundador da Física Moderna, pois utilizou pela primeira vez a combinação de raciocínio teórico e observação experimental que caracteriza a Física até hoje, mas não chegou a formular uma teoria completa do movimento.

(HAMBURGER, 1992, p. 9)

O autor conhece forma de produzir em Física que consiste em: raciocínio teórico associado à observação experimental.

Conhecimento da Estrutura da Física (KSP)

As leis de Newton não dizem nada sobre a trajetória dos planetas, mas a partir delas pode-se deduzir matematicamente que os planetas devem ter órbitas elípticas em torno do Sol; pode-se deduzir também, matematicamente, qual a sua velocidade ao longo do trajeto, obtendo-se assim, pelo cálculo, resultados que são iguais às observações astronômicas.

(HAMBURGER, 1992, p. 11)

O autor conhece a relação entre a Mecânica Clássica e Astronomia que consiste em: as órbitas dos planetas podem ser deduzidas, matematicamente, a partir das Leis de Newton.

Conhecimento dos Tópicos da Física (KoT)

Galileu descobriu um fato importante, ao examinar as bolas rolando pelas rampas: a velocidade da bola aumenta, à medida que ela desce, em ritmo constante. Durante o tempo que a água leva para encher um copo, o aumento de velocidade é sempre o mesmo, seja quando a bola está no início do movimento, seja no fim, quando sua velocidade já é grande. Ele criou então um conceito novo: além da velocidade e da posição de um corpo em movimento, devemos observar também o ritmo de variação da velocidade, que hoje chamamos de *aceleração*. A aceleração de um corpo é quando a velocidade do corpo varia (aumenta ou diminui) durante uma unidade de tempo (por exemplo, um segundo).

(HAMBURGER, 1992, p. 7)

O autor conhece o conceito de aceleração que consiste em: aceleração é o ritmo de variação da velocidade, é quando a velocidade (do corpo) varia (aumenta ou diminui) durante uma unidade de tempo (por exemplo, um segundo).

Fonte: Produção da própria autora.

Para o subdomínio KoT, conforme proposta da pesquisa, foram descritas também suas categorias por transposição direta, ou seja, sem uma adaptação destas à natureza da Física, apenas adaptações mínimas na terminologia foram feitas.

Assim como para os subdomínios, foram definidos exemplos para cada categoria do subdomínio KoT do PTSK Transposto. Esta seleção mostrou-se um processo árduo no qual as diferenças entre as duas disciplinas, Matemática e Física, ficaram mais evidentes e algumas questões foram elencadas para análise na Fase 2 da pesquisa. Pelas razões já expostas anteriormente e para melhor encadeamento das ponderações feitas os exemplos estão todos centrados na medição da velocidade.

A primeira categoria elencada é a de “Procedimentos”, que aborda os modos de proceder na Física e suas razões, são subcategorias de Procedimentos: “Como fazer?”; “Quando pode ser feito?”; “Por que se faz desta forma?”; e “Características do resultado”. Os exemplos teóricos para cada subcategoria estão descritos no Quadro 5. Durante a transposição desta categoria observou-se que no MTSK seu foco está nos algoritmos matemáticos, no entanto na Física os procedimentos estão relacionados, principalmente, às Leis Físicas que podem ser conceituadas como “a relação matemática entre as grandezas que participam de um mesmo fenômeno” (BONJORNO et al., 1992, p. 14). Devido à diferença nas naturezas dos algoritmos matemáticos e das Leis Físicas questionou-se a coerência da subcategoria “Por que se faz desta forma?” uma vez que os por quês das Leis Físicas são baseados na

própria construção dos conceitos dos Fenômenos Físicos (YOUNG; FREEDMAN, 2008).

Quadro 5: Exemplos teóricos para categoria Procedimentos do subdomínio KoT do PTSK Transposto

<p>Procedimentos: Como fazer?</p>	<p>Para construir o gráfico da velocidade deste carro em função do tempo (gráfico $V \times t$, que se lê “V versus t”), devemos traçar dois eixos perpendiculares para representar essas grandezas.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Representamos diversos valores do t, no eixo horizontal; • Representamos os valores da velocidade V correspondentes a cada valor do tempo t, no eixo vertical. <p style="text-align: right;">(MAXIMO; ALVARENGA, 2014, p. 39)</p> <p><u>O autor conhece</u> o procedimento para construção do gráfico velocidade x tempo <u>que consiste em</u>: traçar dois eixos perpendiculares e representar os valores do tempo no eixo horizontal e os valores da velocidade correspondentes a cada valor do tempo no eixo vertical.</p>
<p>Procedimentos: Quando pode ser feito?</p>	<p>Quando o movimento de um objeto é uniforme, a distância que ele percorre é dada por $d = V t$ ou pela área sob o gráfico $V \times t$. Entretanto, se o movimento for variado, a relação $d = V t$ não poderá mais ser aplicada.</p> <p style="text-align: right;">(MAXIMO; ALVARENGA, 2014, p. 40)</p> <p><u>O autor conhece</u> quando a relação $d = V t$ pode ser aplicada <u>que consiste em</u>: ela poder ser aplicada quando o movimento de um objeto é uniforme.</p>
<p>Procedimentos: Por que se faz desta forma?</p>	<p>Quando o movimento de um objeto é uniforme, a distância que ele percorre é dada por $d = V t$ ou pela área sob o gráfico $V \times t$. Entretanto, se o movimento for variado, a relação $d = V t$ não poderá mais ser aplicada, mas a distância percorrida ainda poderá ser obtida pela área sob o gráfico $V \times t$;</p> <p style="text-align: right;">(MAXIMO; ALVARENGA, 2014, p. 49)</p> <p><u>O autor conhece</u> por que é necessário construir o gráfico $V \times t$ <u>que consiste em</u>: quando a relação $d = V t$ não puder ser usada a distância percorrida poderá ser obtida pela área sob o gráfico $V \times t$.</p>
<p>Procedimentos: Características do resultado</p>	<p>A área sob o gráfico $V \times t$ nos fornece a distância percorrida em qualquer movimento.</p> <p style="text-align: right;">(MAXIMO; ALVARENGA, 2014, p. 49)</p> <p><u>O autor conhece</u> características do resultado fornecido pelo gráfico $V \times t$ <u>que consiste em</u>: a distância percorrida pode ser obtida pela área sob o gráfico em qualquer movimento.</p>

Fonte: Produção da própria Autora.

Os exemplos acima mostram grande foco na interação da Física com a Matemática, que foi avaliada durante a Fase 2 da pesquisa. O exemplo definido para a subcategoria “Por que se faz desta forma?” representa a melhor aproximação obtida, porém, questiona-se sua acuidade, pois o conhecimento envolvido parece mais relacionado ao “para que” se faz o gráfico do que ao “por que” o gráfico é feito desta forma.

A categoria “Definições, Propriedade e seus Fundamentos” engloba as características que definem um objeto de estudo, as propriedades atribuíveis a este objeto e o embasamento desta definição. Aqui estão incluídas conexões entre conceitos de um mesmo conteúdo. O exemplo desta categoria está descrito no Quadro 6. Questionou-se nesta fase da pesquisa a nomenclatura usada no título da categoria, pois na Física o uso do termo propriedade pode levar a uma confusão com o conceito de propriedade dos materiais, tais como condutividade térmica ou elétrica, elasticidade e outras características do comportamento dos materiais.

Quadro 6: Exemplos teóricos para categoria Definições, Propriedade e seus Fundamentos do subdomínio KoT do PTSK Transposto

Definições, Propriedade e seus Fundamentos

Quando um objeto se desloca com velocidade constante ao longo de uma trajetória retilínea, dizemos que o seu movimento é retilíneo uniforme (a palavra “retilíneo” refere-se ao tipo de trajetória, no caso, reta, e “uniforme” indica que o valor da velocidade permanece constante).

(MAXIMO; ALVARENGA, 2014, p. 39)

O autor conhece a definição de movimento retilíneo uniforme e suas características que consiste em: o movimento de um objeto que se desloca em velocidade constante ao longo de uma trajetória reta.

Fonte: Produção da própria Autora.

Outro questionamento originou-se quanto à sobreposição dos fundamentos com a subcategoria “Por que se fazer desta forma” da categoria “Procedimentos”. No MTSK os objetos matemáticos são foco da categoria “Definições, Propriedades e Fundamentos” enquanto os algoritmos matemáticos são o foco da categoria “Procedimentos”, porém, neste momento, não havia clareza quanto à existência deste tipo de distinção na Física.

A notação e o vocabulário adequados para determinado conteúdo, assim como suas diferentes formas de representação, tais como, descritiva, matemática e gráfica são conhecimentos da categoria “Registros e Representações”, cujos exemplos teóricos estão descritos no Quadro 7. Não houve questionamento nesta categoria durante esta fase da pesquisa.

Quadro 7: Exemplos teóricos para categoria Registros e Representações do subdomínio KoT do PTSK Transposto

<p>Registros e Representações</p> <p>Como exemplo, supúnhamos um automóvel movendo-se em uma estrada plana e reta, como seu velocímetro indicado sempre uma velocidade de 60km/h. Isso significa que:</p> <ul style="list-style-type: none"> • em 1,0 h o carro percorrerá 60 km; • em 2,0 h o carro percorrerá 120 km; • em 3,0 h o carro percorrerá 180 km, etc. <p>Observe que, para obter os resultados mencionados, você intuitivamente foi acrescentando 60 km a cada acréscimo de 1,0 h no tempo de percurso. Você poderia, então, chegar aos mesmos valores da distância percorrida multiplicando a velocidade pelo tempo gasto no percurso. Portanto, podemos escrever:</p> $d = V t$ <p>em que:</p> <ul style="list-style-type: none"> • d é a distância percorrida; • V é a velocidade (constante); • t é o tempo gasto para percorrer a distância d. <p style="text-align: right;">(MAXIMO; ALVARENGA, 2014, p. 39)</p> <p>No movimento uniforme o gráfico V x t é uma reta paralela ao eixo dos tempos e a área sob esse gráfico nos fornece o valor da distância percorrida.</p> <p style="text-align: right;">(MAXIMO; ALVARENGA, 2014, p. 40)</p> <p><u>O autor conhece</u> a representação algébrica e gráfica para identificação do valor da distância percorrida em um movimento uniforme <u>que consiste em</u>: matematicamente a equação $d = V t$ e graficamente a área sob o gráfico V x t.</p>

Fonte: Produção da própria Autora.

A quarta e última categoria do subdomínio KoT é “Fenomenologia e Aplicações”, que consiste no conhecimento dos modelos associados aos conceitos físicos, assim como, as aplicações e usos destes. Aqui também está inclusa a relação entre a Física e as demais disciplinas. Tem-se um exemplo teórico do uso da medição da velocidade no Quadro 8. Novamente a terminologia usada no título da categoria

mostrou-se potencialmente prejudicial à clareza do modelo, pois Fenômenos Físicos são o próprio objeto de estudo da Física, fato que pode vir a gerar dúvidas no entendimento com termo Fenomenologia presente no título desta categoria.

Quadro 8: Exemplos teóricos da categoria Fenomenologia e Aplicações do subdomínio KoT do PTSK Transposto

Fenomenologia e Aplicações

A lombada eletrônica utiliza três sensores para aferição da velocidade do veículo. Os sensores são colocados em sequência na pista, geralmente sob o asfalto, e servem para identificar quando o veículo passou pelo sensor (é comum se tomar como referência o eixo dianteiro do veículo, por causa do motor). Como a distância entre os sensores é conhecida (em geral entre quatro e seis metros), e sabendo quando tempo o carro levou de um sensor para o outro, é possível calcular a velocidade média e, portanto, saber se o carro estava acima da velocidade máxima permitida para aquele trecho.

(MAXIMO; ALVARENGA, 2014, p. 50)

O autor conhece aplicação da medição da velocidade no controle de tráfego que consiste em: lombada eletrônica.

Fonte: Produção da própria autora.

Ao realizar-se a transposição das categorias do subdomínio KoT para o PTSK Transposto alguns questionamentos foram levantados. Estes podem originar-se na natureza da Física, que é diversa da natureza da Matemática, ou no uso de exemplos teóricos e não reais, provenientes de episódios de ensino, que permitam um melhor entendimento dos conhecimentos especializados dos professores de Física.

No tocante a transposição dos subdomínios, não foram identificadas potenciais divergências relacionadas a subdomínios específicos. Porém não há na descrição do PTSK Transposto nenhum subdomínio que mencione os conhecimentos dos professores quanto ao caráter experimental da Física, fato este analisado com atenção durante a Fase 2 da pesquisa.

4.2 EXPERIMENTAÇÃO DO PTSK TRANSPOSTO

4.2.1 Episódios de Ensino Selecionados

A seleção de PaP-eRs ocorreu por busca em repositórios digitais de periódicos e universidades com programas de pós-graduação em ensino de Física ou ciências. Foram selecionados 18 episódios de ensino, nas diversas áreas de abrangência da

Física, conforme Figura 4. A seleção dos PaP-eRs visou abarcar todas as áreas de abrangência da Física, havendo assim pelo menos 1 PaP-eRs de cada área.

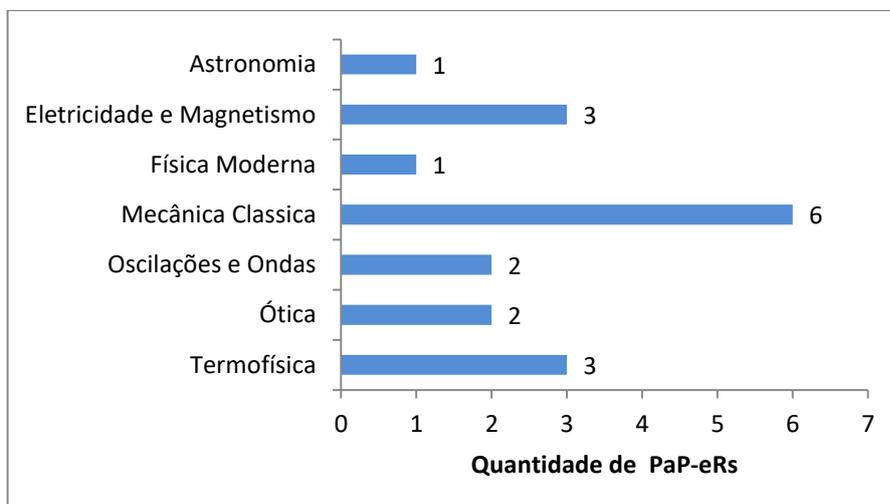


Figura 4: Distribuição dos PaP-eRs nas áreas de abrangência da Física

Fonte: Produção da própria autora

Os 18 PaP-eRs selecionados atendem aos 4 critérios estabelecidos na metodologia da pesquisa. Para apresentação dos episódios de ensino estão transcritos no Quadro 9 os resumos de cada publicação e sua referência bibliográfica. Durante a seleção dos episódios foram identificados artigos que apresentavam diversos indícios de conhecimento, porém não apresentavam evidências destes. Como não era possível a realização de entrevistas buscou-se o trabalho original, ou seja, a dissertação de mestrado na qual o artigo foi baseado, em alguns casos esta opção foi bem sucedida, em outras nem tanto, como será visto na próxima seção do texto.

Quadro 9: Referências e resumo dos PaP-eRs selecionados

PaP-eRs P01

OSTERMANN, F.; RICCI, T. S. F. Conceitos de física quântica na formação de professores: relato de uma experiência didática centrada no uso de experimentos virtuais. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 22, n. 1, p. 9-35, abr. 2005.

Relato de episódio de ensino, da área de abrangência da Física Moderna, sobre unidade conceitual sobre Física Quântica centrada na aplicação de softwares do tipo bancada virtual como recurso didático.

PaP-eRs P02

OLIVEIRA, V.; VEIT, E. A.; ARAUJO, I. S. Relato de experiência com os métodos Ensino sob Medida (*Just-in-Time Teaching*) e Instrução pelos Colegas (*Peer Instruction*) para o Ensino de Tópicos de Eletromagnetismo no nível médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 32, n. 1, p. 180-206, abr. 2015.

Relato de episódio de ensino, da área de abrangência de Eletricidade e Magnetismo, sobre conceitos fundamentais de Eletromagnetismo utilizando o método Instrução pelos Colegas (*Peer Instruction*) associado ao Ensino sob Medida (*Just-in-Time Teaching*).

PaP-eRs P03

OLIVEIRA, V. **Uma proposta de ensino de tópicos de eletromagnetismo via instrução pelos colegas e ensino sob medida para o ensino médio**. 2012. 236 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física, Instituto de Física, Programa de Pós-graduação em Ensino de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

Relato de episódio de ensino, da área de abrangência de Eletricidade e Magnetismo, sobre conceitos fundamentais de Eletromagnetismo com a utilização dos métodos de ensino-aprendizagem Ensino sob Medida e Instrução pelos Colegas, no qual está descrito o material didático elaborado pelo autor.

PaP-eRs P04

ALVES, D. T.; AMARAL, J. V.; MEDEIROS NETO, J. F. Aprendizagem de Eletromagnetismo via Programação e Computação Simbólica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 24, n. 2, p. 201-213, jun. 2002.

Relato de episódio de ensino, da área de abrangência de Eletricidade e Magnetismo, em curso básico de teoria eletromagnética com uso da programação em Maple como ferramenta de aprendizagem do estudante.

PaP-eRs P05

BRUSCATO, G. C.; MORS, P. M. Ensinando física através do radioamadorismo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 36, n. 1, p. 1-8, mar. 2014.

Relato de episódio de ensino, da área de abrangência de Oscilações e Ondas, que utiliza o radioamadorismo como tema motivador para ensino de diversos conteúdos da Física.

PaP-eRs P06

BRUSCATO, G. C. **O ensino de física através das atividades práticas realizadas na instalação, operação e manutenção de uma estação radioamadora**. 2011. 177 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física, Instituto de Física, Programa de Pós-graduação em Ensino de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

Relato de episódio de ensino, da área de abrangência de Oscilações e Ondas, que utiliza o radioamadorismo como tema motivador, no qual está descrito o material didático elaborado pelo autor e texto-guia facilitador do professor que se interessar em reproduzir experiência semelhante.

PaP-eRs P07

ROSA, C. T. W. da et al. Experimento de condução térmica com e sem uso de sensores e Arduino. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 33, n. 1, p. 292-305, abr. 2016.

Relato de episódio de ensino, da área de abrangência da Termofísica, sobre atividade experimental envolvendo o conteúdo de condução de calor, na qual a realização foi dividida em duas partes, com distintas formas de medição de temperatura: (i) com uso de termômetros convencionais; (ii) com o uso de sensores de temperatura e a placa Arduino, sendo o experimento assistido por computador nesta etapa.

PaP-eRs P08

GARCIA, R. L. et al. Resfriamento de um cilindro de aço: estudo experimental da convecção e radiação do calor. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 39, n. 4, p. 1-8, 22 maio 2017a.

Relato de episódio de ensino, da área de abrangência da Termofísica, sobre transferência de calor em atividade experimental envolvendo o resfriamento de um cilindro de aço e a comparação dos resultados experimentais com valores previstos em modelos de convecção e radiação do calor.

PaP-eRs P09

PARREIRA, J. E. Aplicação e avaliação de uma metodologia de aprendizagem ativa (tipo ISLE) em aulas de Mecânica, em cursos de Engenharia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 40, n. 1, p. 1-6, jul. 2018.

Relato de episódio de ensino, da área de abrangência da Mecânica Clássica, sobre conceitos e ferramentas da Mecânica com a realização de experimentos e discussões com os colegas e com o professor.

PaP-eRs P10

PASTANA, C. O.; NEIDE, I. G. A integração do ensino de funções trigonométricas e movimento harmônico simples por meio do software Modellus. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 40, n. 1, p. 1-7, ago. 2018.

Relato de episódio de ensino, da área de abrangência da Mecânica Clássica, sobre movimento harmônico simples e funções trigonométricas com o uso do software Modellus como recurso didático.

PaP-eRs P11

GARCIA, R. L. et al. Transferência de calor e massa: Fusão de uma placa de gelo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 39, n. 3, p. 1-8, fev. 2017b.

Relato de episódio de ensino, da área de abrangência da Termofísica, sobre transferência de calor e massa por meio de experimento, a partir da fusão de uma placa de gelo exposta ao ar ambiente e posterior comparação dos resultados aos valores teóricos.

PaP-eRs P12

BORGES, C. C.; DICKMAN, A. G.; VERTCHENKO, L. Uma aula sobre conversão de energia utilizando bicicleta, motor, alternador e lâmpada. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 40, n. 2, p. 1-11, nov. 2018.

Relato de episódio de ensino, da área de abrangência da Mecânica Clássica, sobre conversão de energia, por meio da análise do funcionamento de um sistema constituído por uma roda de bicicleta acoplada a um alternador e farol, acionado por um motor.

PaP-eRs P13

BARROSO, F. F.; CARVALHO, S. A.; HUGUENIN, J. A. O.; TORT, A. C. Formação de imagens na óptica geométrica por meio do método gráfico de Pierre Lucie. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 40, n. 2, p. 1-9, set. 2018.

Relato de episódio de ensino, da área de abrangência da Ótica, sobre formação de imagens a partir de lentes delgadas, no contexto de Óptica geométrica, com o método gráfico de Pierre Lucie associado ao uso de simulador PhET, para Simulações Interativas, e do software GeoGebra, para análise dos dados.

PaP-eRs P14

RODRIGUES, M. A. T.; MACKEDANZ, L. F. Produção de espelhos parabólicos e construção do conceito de função polinomial de 2º grau. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 40, n. 1, p. 1-12, jul. 2018.

Relato de episódio de ensino, da área de abrangência da Ótica, sobre espelhos parabólicos com o desenvolvimento de atividade experimental que integra os conceitos físicos envolvidos ao conteúdo matemático de função polinomial de 2º grau.

PaP-eRs P15

RIBEIRO, J. L. P. Perguntas em sala no ensino médio: observando o pôr do sol em um elevador panorâmico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 39, n. 4, p.1-5, maio 2017.

Relato de episódio de ensino, da área de abrangência da Mecânica Clássica, sobre velocidade, no qual se apresenta a solução para a pergunta de um estudante acerca de qual velocidade um elevador panorâmico deveria ter para que uma pessoa em seu interior pudesse observar o pôr do sol continuamente.

PaP-eRs P16

KIELT, E. D.; SILVA, S. C. R.; MIQUELIN, A. F. Implementação de um aplicativo para smartphones como sistema de votação em aulas de Física com *Peer Instruction*. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 39, n. 4, p. 1-8, jun. 2017.

Relato de episódio de ensino, da área de abrangência da Mecânica Clássica, sobre seus conceitos iniciais, com o uso de aplicativo para smartphones e da metodologia *Peer Instruction*.

PaP-eRs P17

KIELT, E. D. **Utilização integrada do *Just-In-Time Teaching* e *Peer Instruction* como ferramentas de Ensino de Mecânica no Ensino Médio mediadas por *app***. 2017. 110 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciência e Tecnologia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2017.

Relato de episódio de ensino, da área de abrangência da Mecânica Clássica, sobre seus conceitos iniciais, com o uso de aplicativo para smartphones e da metodologia *Peer Instruction*. e *Just-in-Time Teaching*

PaP-eRs P18

BARAI, A. et al. Astronomia nos anos iniciais do Ensino Fundamental: uma parceria entre universidade e escola. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 33, n. 3, p. 1009-1025, dez. 2016.

Relato de episódio de ensino, da área de abrangência da Astronomia, sobre diversos conceitos abordados no Ensino Fundamental com o uso de diversos recursos didáticos.

Fonte: Produção da própria autora

4.2.2 Identificação dos Conhecimentos nos PaP-eRs

Nos 18 PaP-eRs analisados foram identificados 346 conhecimentos, distribuídos nas áreas da Física conforme Figura 5. Ao comparar a concentração de conhecimentos e a distribuição da quantidade de PaP-eRs por área de abrangência da Física, percebe-se que cada episódio de ensino teve uma contribuição diferente no tocante à quantidade de conhecimentos identificados. Por exemplo, a Mecânica Clássica apesar de ser o foco de 6 PaP-eRs apresenta apenas 17% dos conhecimentos, enquanto a Eletricidade e Magnetismo apesar de contar com apenas 3 episódios de ensino detêm a maior concentração de conhecimentos, 26%. Mesmo com a mudança na representatividade inicialmente planejada para cada área de abrangência da Física, entende-se que o resultado da pesquisa não foi impactado, pois todas tiveram conhecimentos identificados nos dois domínios do PTSK.

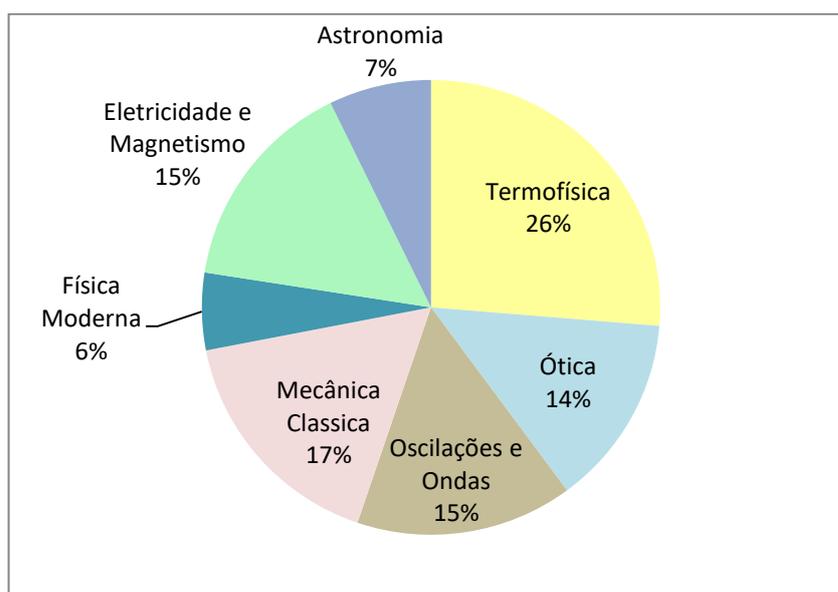


Figura 5: Concentração dos conhecimentos identificados nas áreas da Física

Fonte: Produção da própria autora

Outra diferença entre os PaP-eRs, identificada após a classificação dos conhecimentos, foi com relação à concentração de conhecimentos no domínio Conhecimento Didático do Conteúdo, em função do enfoque dado pelo professor/autor no relato do episódio de ensino. Em 6 episódios de ensino foram identificados apenas conhecimentos do PCK, conforme pode ser observado na Figura 6²⁹. Porém estas características específicas de cada PaP-eRs não impactaram a configuração geral dos conhecimentos, na qual o domínio Conhecimento da Física foi representado em aproximadamente 46% dos conhecimentos e o Conhecimento Didático do Conteúdo em 54%.

²⁹ As quantificações apresentadas referem-se à configuração final da classificação dos conhecimentos, o que pode levar a pequenas diferenças se comparados aos dados da primeira análise, que são apresentados ao longo dos próximos tópicos, devido à reclassificação de alguns conhecimentos entre os subdomínios.

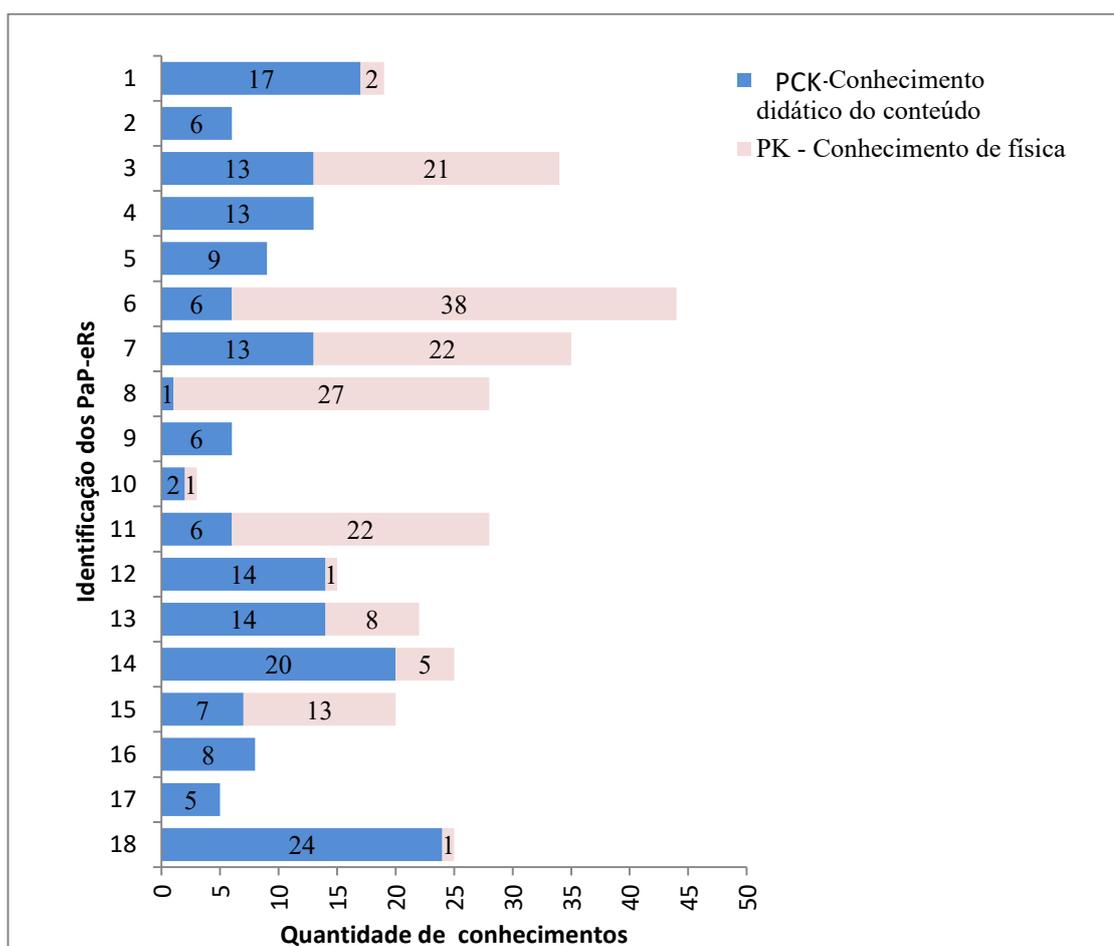


Figura 6: Distribuição dos conhecimentos identificados em cada PaP-eRs nos domínios do PTSK
Fonte: Produção da própria autora

Um aspecto interessante, que não reflete diretamente nos resultados desta pesquisa, mas refere-se à metodologia adotada, é que nem sempre a dissertação de mestrado que originou um artigo apresenta maior número de conhecimentos. Um exemplo é o PaP-eRs P17, uma dissertação, no qual foram identificados 5 conhecimentos, enquanto no artigo sobre o mesmo tópico, PaP-eRs P16, identificou-se 8 conhecimentos. Este é um caso particular, porém observa-se que a identificação de conhecimentos nas publicações depende muito mais da abordagem dada pelo professor/autor, do que de seu formato, por exemplo, o PaP-eRs P07 é um artigo e apresenta-se como o segundo episódio com mais conhecimentos identificados.

4.2.3 Aplicação do PTSK Transposto como Ferramenta Analítica

Após os conhecimentos serem identificados, codificados e descritos fez-se o primeiro ciclo de análises, para classifica-los nos domínios, subdomínios e, quando

aplicável, nas categorias do PTSK. No decorrer destas análises não houve avaliações de possíveis adaptações, apenas a identificação dos pontos de inadequação entre o modelo proposto e os conhecimentos identificados.

Estas inadequações apresentavam dois focos distintos, o primeiro relacionado à terminologia, ou seja, apesar das ideias centrais propostas no modelo estarem alinhadas aos conhecimentos identificados, o vocabulário empregado na descrição do PTSK não se adequava àquele habitualmente usado na Física. Para estas situações foram propostas alterações nos títulos e/ou nos descritores usados no modelo.

A própria natureza da Física constituía o cerne do segundo tipo de inadequação, estas situações concentravam-se nas categorias do KoT. Nestes casos o processo deu-se por sucessivos ciclos de análise, nos quais, por muitas vezes, para cada passo dado a frente recuava-se dois. A busca era por uma configuração na qual houvesse adequação entre os conhecimentos e o PTSK, desta forma a conformação final proposta para o modelo é fruto deste ir e vir, que nem sempre apresentou uma sequência lógica em sua evolução.

Porém na apresentação dos resultados, para melhor compreensão, as discussões e conclusões são apresentadas de forma linear, por subdomínio, iniciando-se pelo KPT e seguindo em sentido horário até o subdomínio KoT, no qual também são apresentadas suas categorias. Ao término da análise de cada subdomínio apresenta-se um quadro com o foco central dos conhecimentos nele identificados que serão usados como descritores na definição da proposta do modelo PTSK.

No decorrer da discussão dos resultados, foram citados 145 conhecimentos, dos 346 identificados. Destes 65 conhecimentos tiveram os trechos dos PaP-eRs transcritos ao longo do texto, para exemplificação dos conhecimentos e das considerações feitas a cerca destes. Para transcrição foram selecionados os trechos nos quais os conhecimentos encontravam-se mais explícitos. Todos os demais conhecimentos estão transcritos nos apêndices, cada apêndice corresponde a um PaP-eRs, de modo a facilitar a localização o conhecimento desejado. Optou-se pela não inserção de todos os trechos ao longo do texto para que este não se tornasse cansativo e desinteressante para o leitor.

4.2.3.1 Conhecimento do Ensino de Física (KPT)

Foram identificados 137 conhecimentos no subdomínio KPT, que representam aproximadamente 40% de todos os 346 conhecimentos identificados nos PaP-eRs no decorrer da Fase 2 da pesquisa. Destes mais de 65% relacionam-se às estratégias, técnicas, atividades e exemplos para o ensino de Física dos quais mais de 33% relacionam-se às atividades experimentais.

A representatividade das atividades experimentais no subdomínio mostra a importância do aspecto experimental no ensino da Física, reforçando a necessidade de considerá-las na concepção da proposta do modelo PTSK desta pesquisa.

Nos conhecimentos identificados os professores apresentam, por exemplo, teorias de ensino para abordar o Eletromagnetismo a partir de situações mais gerais (c06.a02.KPT, transcrito no Quadro 10), a Ótica tomando o conhecimento cotidiano dos estudantes como ponto de partida (c25.a14.KPT, transcrito no Quadro 10) e a Física Quântica com analogias (c07.a01.KPT). Também foram identificados exemplos, tais como, o aquecimento da ponta de uma agulha no ensino da transferência de calor (c06.a07.KPT, transcrito no Quadro 10) e no ensino da Ótica o uso de exemplo que envolve a dupla observação do sol poente com a mudança de posição do observador (c01.a15.KPT, transcrito no Quadro 10).

Quadro 10: Transcrição dos trechos dos conhecimentos c25.a14.KPT, c01.a15.KPT, c06.a02.KPT e c06.a07.KPT

c25.a14.KPT

Faremos uma pequena comparação entre conhecimento cotidiano e conhecimento científico, o primeiro trata da experiência imediata, ou seja, servem para solucionar problemas práticos; já o segundo busca a veracidade. Então os conhecimentos do cotidiano servem de ponto de partida e portanto precisam ser superados, não no sentido de desqualificá-los e sim suas ideias devem ser trabalhadas para que atinjam o âmbito das ideias científicas. Resumidamente, afirmamos que para atingir a evolução das ideias para o âmbito científico, um componente é indispensável, o conteúdo, pois eles alimentam as estruturas mentais, promovendo sua progressão. De forma bem trivial, devemos considerar a realidade do aluno, todavia devemos propor situações para superar tais realidades.

(RODRIGUES; MACKEDANZ, 2018, p. 11, grifo nosso)

c01.a15.KPT

Durante uma aula de óptica no 2º ano do ensino médio, comentamos com os estudantes sobre uma popular experiência, na qual é possível estimar o raio da Terra a partir de observações do pôr do sol [1]. O experimento envolve uma dupla observação do sol poente: inicialmente, a pessoa deve estar sentada (ou deitada) e observar o primeiro pôr do sol; assim que o astro desaparecer no horizonte, a pessoa deve se levantar, e será possível observar um novo pôr do sol, com um intervalo de tempo de alguns segundos entre as duas observações. Conhecido esse intervalo e o deslocamento (diferença de altura) dos olhos entre as duas observações, o raio pode então ser calculado por aplicação de regras geométricas simples.

(RIBEIRO, 2017, p. 1, grifo nosso)

c06.a02.KPT

Em sala de aula buscou-se apresentar as situações mais gerais, os conceitos mais abrangentes, e progressivamente aprofundá-los de modo a chegar aos mais específicos, fornecendo subsídios para os estudantes fazerem diferenciação progressiva e reconciliação integradora dos conceitos discutidos, coerentemente com a Teoria da Aprendizagem Significativa (MOREIRA, 1999).

(OLIVEIRA; VEIT; ARAUJO, 2015, p. 14, grifo nosso)

c06.a07.KPT

Para discutir a condução térmica Hewitt (2002) descreve uma situação na qual uma agulha de metal está sendo aquecida pelo fogo em uma de suas extremidades. Diz o texto: “O fogo faz os átomos da extremidade aquecida moverem-se cada vez mais rapidamente. Em consequência, esses átomos e elétrons livres colidem com seus vizinhos e assim por diante. Esse processo de múltiplas colisões continua até que o aumento no movimento seja transmitido a todos os átomos, e o corpo inteiro torne-se quente. A condução de calor ocorre por meio de colisões atômicas e eletrônicas” (p. 281).

(ROSA et al., 2016, p. 4, grifo nosso)

Fonte: Produção da própria autora

O conhecimento do impacto de atividades e estratégias adotadas também foi identificado na Fase 2. São exemplos deste conhecimento o impacto de experimentos mentais no ensino de conceitos da Física Quântica (c12.a01.KPT, transcrito no Quadro 11), do uso de técnicas de programação e do radioamadorismo no ensino de Eletromagnetismo (c02.a04.KPT; c05.a05.KPT, transcrito no Quadro 11) e da observação da plotagem em tempo real do gráfico de variação de temperatura durante atividade experimental no ensino da transferência de calor (c29.a07.KPT).

Quadro 11: Transcrição dos trechos dos conhecimentos c12.a01.KPT e c05.a05.KPT**c12.a01.KPT**

Pôde-se comprovar a grande utilidade dos experimentos de pensamento discutidos dessa forma na compreensão e assimilação dos conceitos abordados na unidade conceitual.

(OSTERMANN; RICCI, 2005, p. 8, grifo nosso)

c05.a05.KPT

Ao analisarmos a evolução afetiva, cognitiva e psicomotora dos alunos que participaram deste projeto de ensino de física através do radioamadorismo, foi possível perceber um significativo avanço na apropriação dos conceitos físicos abordados, e na constatação de que os aprendizes passaram por uma experiência motivadora e contextualizada onde perceberam sentido no estudo da física.

(BRUSCATO; MORS, 2014, p. 4, grifo nosso)

Fonte: Produção da própria autora

Não foram identificados pontos de divergência entre o PTSK Transposto e os 27 conhecimentos relativos às teorias de ensino, formais e pessoais, aos exemplos e ao impacto de atividades e estratégias adotadas identificados nos PaP-eRs.

Foram identificados 21 conhecimentos relacionados aos recursos materiais e virtuais para ensino de Física, dos quais 14 referem-se a recursos virtuais tais como softwares para: simular o funcionamento do interferômetro e a experiência da fenda dupla com feixes de elétrons (c08.a01.KPT), simular a Lei de Faraday (c30.a03.KPT, transcrito no Quadro 12), simular a variação do fluxo magnético (c34.a03.KPT), simular modelos físicos (c02.a10.KPT, transcrito no Quadro 12), simulação de fenômenos óticos (c07.a13.KPT) e para ensino das constelações (c19.a18.KPT). Além dos recursos virtuais foram abordados pelos professores recursos materiais como livros e publicações para ensino da Física Quântica (c13.a01.KPT, transcrito no Quadro 12; c15.a01.KPT), vídeos, imagens e desenhos animados para ensino da Astronomia (c15.a18.KPT; c13.a18.KPT; c10.a18.KPT, transcrito no Quadro 12).

Quadro 12: Transcrição dos trechos dos conhecimentos c30.a03.KPT, c02.a10.KPT, c13.a01.KPT e c10.a18.KPT

c30.a03.KPT

Em seguida, discutimos a respeito da lei de Faraday, utilizando exposição dialogada, a simulação computacional Faraday's Electromagnetic Lab, do Grupo PhET da Universidade do Colorado [...]

(OLIVEIRA, 2012, p. 75, grifo nosso)

c02.a10.KPT

O Software Modellus é um programa computacional de distribuição gratuita por meio da internet, sua criação é obra da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa. [...] É um software que simula e constrói modelos de fenômenos Químicos, Matemáticos e Físicos

(PASTANA; NEIDE, 2018, p. 2)

c13.a01.KPT

Os alunos também realizaram uma atividade de leitura extraclasse dos oito primeiros capítulos do livro Alice no país do quantum (GILMORE, 1998), que são, realmente, os capítulos onde diversos conceitos de FQ são abordados.

(OSTERMANN; RICCI, 2005, p. 8)

c10.a18.KPT

Lua: suas fases, os meses do ano e os eclipses

[...]

De uma forma geral, fazendo o uso de vídeos e imagens, é possível mostrar que o movimento que a Lua faz ao redor da Terra é periódico, ou seja, possui um tempo para ser efetuado, e isso passa a definir o mês.

(BARAI et al., 2016, p. 8)

Fonte: Produção da própria autora

As estratégias de ensino representaram a grande maioria dos conhecimentos identificados no subdomínio KPT, foram 89 no total, sendo destes 31 relativos às estratégias de ensino, 42 relacionados a atividades experimentais, sua preparação, seleção e viabilidade e outros 16 conhecimentos relacionados a metodologias de ensino, objetivos didáticos, atividades e atividades avaliativas.

Os conhecimentos relativos às estratégias de ensino, metodologias, objetivos didáticos e atividades mostraram-se alinhados com as definições feitas para o subdomínio no PTSK Transposto, porém alguns conhecimentos relativos às atividades experimentais levantam questionamentos quanto ao seu enquadramento neste subdomínio.

No tocante a experimentação no ensino da Física identificou-se conhecimentos de atividades experimentais demonstrativas como soltar de uma mesma altura uma borracha e uma folha de papel amassada com volume próximo ao da borracha e observar que as duas chegam ao solo juntas, para mostrar que a massa não interfere no tempo de queda dos corpos (c03.a17.KPT, transcrito no Quadro 13), que caracteriza-se como um conhecimento do ensino de Física por ter como principal componente a didática envolvida na concretização de conceitos da Física, de modo a facilitar a compreensão dos alunos.

Quadro 13: Transcrição do trecho do conhecimento c03.a17.KPT

c03.a17.KPT
<p>Durante as explicações, o professor fez uma breve demonstração para a compreensão da queda livre e queda amortecida. Tal demonstração consiste em soltar uma borracha escolar e uma folha de papel de uma mesma altura, observar a queda e ao final perguntar: por que a folha caiu com menor velocidade? A maioria respondeu que é devido à folha ter massa menor que a borracha. Em seguida, amassa-se a folha, deixando-a com volume próximo ao da borracha. Eleva-se a uma mesma altura, solta-as e observa-se que chegam juntos ao solo. Em seguida, pode-se perguntar o porquê de caírem juntas, sendo que não houve alteração das suas massas. Consideramos que esta demonstração de queda permite a constatação de que não é a massa que interfere no tempo de queda, e que se trata de uma queda amortecida pela resistência do ar.</p> <p style="text-align: right;">(KIELT, 2017, p. 77)</p>

Fonte: Produção da própria autora

Por outro lado, também foram identificados conhecimentos envolvidos na preparação da atividade experimental que, apesar de classificados no subdomínio KPT na Fase 2 da pesquisa, causam inquietação quanto à exatidão desta escolha. Tem-se como exemplo o conhecimento do professor, que ao propor uma atividade de transferência de calor e massa por meio da fusão de uma barra de gelo, esclarece que sua escolha pelo gelo, e não por outra superfície sólida, baseou-se no fato desta manter uma estabilidade na temperatura da interface sólida, mesmo durante a troca térmica (c23.a11.KPT, transcrito no Quadro 14³⁰), assim o aparato empregado para realização das medições necessárias para obtenção dos dados experimentais são simples (c03.a11.KPT, transcrito no Quadro 14³¹).

O conhecimento mostrado pelo professor em sua explanação, apesar de focado no objetivo didático de concretizar os conceitos envolvidos no Fenômeno Físico do experimento, transferência de calor e massa (c27.a11.KPT), e permitir uma reflexão ampla deste processo, não se limitando à verificação experimental de uma lei expressa por uma equação padronizada (c26.a11.KPT), suscita o questionamento quanto aos conhecimentos das características de viabilidade de realização de atividade experimental serem referentes ao domínio do Conhecimento Didático do Conteúdo, PCK, ou referentes ao domínio do Conhecimento de Física, PK.

³⁰ No quadro o conhecimento está codificado como c23.a11.KoT devido à alteração no subdomínio.

³¹ No quadro o conhecimento está codificado como c03.a11.KoT devido à alteração no subdomínio

A preparação de experimentos com fins didáticos envolve diversos aspectos, dentre eles a avaliação de sua viabilidade quanto ao local de execução, recursos materiais necessários, o tempo demandado versus o tempo disponível e o alcance dos objetivos didáticos estabelecidos pelo professor (GASPAR, 2014).

Neste universo de parâmetros, o alcance dos objetivos da atividade experimental versa sobre a efetividade do experimento quanto à metodologia experimental e a precisão adequada dos resultados obtidos. Desta forma, durante a preparação, o professor deve ter conhecimento das possíveis limitações dos métodos escolhidos para medição e monitoramento dos dados experimentais e do impacto que estes podem ter nos resultados obtidos. Tais conhecimentos não se relacionam ao Conhecimento Didático do Conteúdo, PCK, e sim ao Conhecimento da Física, PK, como exemplos temos os conhecimentos descritos no Quadro 14

No PaP-eRs P11 o professor descreve que o uso de uma placa de gelo como superfície de troca térmica garante a estabilidade na temperatura e evita erros associados a incertezas na medição da temperatura na interface sólida da superfície (c23.a11.KoT, transcrito no Quadro 14). Expõe também que, em função desta mesma característica, dispensa-se o uso de termopares ou sensores de temperatura no experimento, facilitando o método de obtenção dos dados, que é realizado apenas pela medição do volume líquido escoado da placa de gelo no intervalo de 1 minuto (c03.a11.KoT, transcrito no Quadro 14). Estes trechos evidenciam conhecimentos do professor a respeito de Física, apesar de aplicados na preparação de atividade didática, pois versam sobre o Fenômeno Físico de troca de calor entre a placa de gelo e o ar circundante e o efeito desta interação nestes dois corpos.

Assim durante a reanálise dos conhecimentos, com o objetivo de sanar as lacunas conceituais identificadas na análise inicial, entende-se que estes conhecimentos são referentes ao subdomínio KoT, a discussão sobre suas categorias foi feita no tópico específico.

Quadro 14: Transcrição dos trechos dos conhecimentos c03.a11.KoT e c23.a11.KoT

c03.a11.KoT
<p>[...] foi elaborado um experimento destinado ao estudo da transferência de calor e massa, no qual uma placa de gelo posicionada verticalmente sofre processo de fusão por exposição ao ar ambiente. A simplicidade do aparato empregado para a realização dos ensaios e a <u>facilidade na obtenção dos dados experimentais relativos à taxa de transferência de calor e massa</u> tornam o experimento descrito uma alternativa interessante [...]</p> <p style="text-align: right;">(GARCIA et al., 2017b, p. 2, grifo nosso)</p> <p>[...] uma placa de gelo que é suspensa verticalmente [...] Em consequência do derretimento contínuo dessa placa, haverá a presença de uma película de água que flui na interface sólida e produz gotejamento na extremidade inferior da placa, devendo o líquido assim produzido ser recolhido através de uma canaleta e conduzido para uma proveta. Durante o experimento, a cada minuto, devem ser feitas <u>medições do volume de líquido escoado nesse intervalo.</u></p> <p style="text-align: right;">(GARCIA et al., 2017b, p. 4, grifo nosso)</p> <p>[...] fica <u>dispensado o uso de termopares ou sensores de temperatura</u>, simplificando a execução dos ensaios.</p> <p style="text-align: right;">(GARCIA et al., 2017b, p. 6, grifo nosso)</p>
c23.a11.KoT
<p>A <u>utilização de uma placa de gelo</u> como superfície de troca térmica garante uma <u>estabilidade na temperatura da interface sólida</u>, diferentemente do que ocorre quando o objeto sólido absorve ou cede calor sensível. <u>Consequentemente, eventuais erros associados a incertezas na medição da temperatura da interface sólida são evitados</u>; e, além disso, fica dispensado o uso de termopares ou sensores de temperatura, simplificando a execução dos ensaios.</p> <p style="text-align: right;">(GARCIA et al., 2017b, p. 6, grifo nosso)</p>

Fonte: Produção da própria autora

Nem todos os conhecimentos envolvidos na preparação de atividades experimentais são a respeito da Física, a maioria dos conhecimentos identificados, relacionados à experimentação, são Conhecimentos Didáticos do Conteúdo. Por exemplo, a seleção de atividades experimentais deve basear-se em dois critérios: a motivação dos estudantes e concretização de conteúdos pouco familiares aos alunos (GASPAR, 2014). Estes são conhecimentos do subdomínio Conhecimento do Ensino da Física (KPT) como exemplo, tem-se a escolha do professor por aparato experimental, para estudo dos fenômenos relacionados à energia, com o uso de bicicleta como fonte geradora de energia, baseada no fato dos alunos terem familiaridade com o fato de ser possível gerar energia luminosa ao pedalar uma

bicicleta acoplada a um dínamo, usando assim um mecanismo familiar aos alunos para ensinar um tópico abstrato (c09.a12.KPT, transcrito no Quadro 15).

Quadro 15: Transcrição do trecho do conhecimento c09.a12.KPT

c09.a12.KPT

Desta maneira, justificamos nossa escolha pela familiaridade de muitos adolescentes com o fato de que é possível gerar energia luminosa ao pedalar uma bicicleta acoplada a um dínamo e pela falta de hábito dos estudantes em análises de sistemas ou processos, que pode afetar a compreensão e uso do conceito de energia para explicar fenômenos [5, p.4].

(BORGES; DICKMAN; VERTCHENKO, 2018, p. 2)

Fonte: Produção da própria autora

O conhecimento do professor, evidenciado no PaP-eRs P07, quanto ao tempo necessário para realização de atividade experimental de transferência de calor com o uso de termômetros em relação ao tempo disponível representar uma limitação a sua implantação, principalmente na educação básica (c34.a07.KPT, transcrito no Quadro 16), é um exemplo de conhecimento relacionado à viabilidade de atividade experimental em relação ao prazo de realização.

Quanto à adequação das atividades experimentais com relação aos recursos disponíveis tem-se o conhecimento do professor evidenciado, no PaP-eRs P13, no qual ele relata ter optado pelo uso do banco óptico PhET para obter as coordenadas dos pontos P e P' como uma alternativa à falta de infraestrutura (c16.a13.KPT, transcrito no Quadro 16).

Quadro 16: Transcrição dos trechos dos conhecimentos c16.a13.KPT e c34.a07.KPT

c16.a13.KPT

Considerando as TIC's como uma linguagem potencialmente significativa, associada à carência de infraestrutura adequada na grande maioria das escolas brasileiras para a realização de experimentos, optamos por utilizar o banco óptico do PhET para obter as coordenadas dos pontos $P = (0, p)$ e $P' = (p', 0)$ que representam a distância do objeto a lente e da imagem a lente, respectivamente. Este aplicativo é de fácil manuseio e possui uma interface como ilustrado na Figura 3. Vale destacar que em havendo possibilidade de acesso a um banco óptico, mesmo com material de baixo custo, as coordenadas podem ser obtidas experimentalmente. Neste trabalho, nossa intenção é apresentar uma alternativa à falta de infraestrutura, explorando aplicativos que facilitam a linguagem da atual geração de estudantes.

(BARROSO et al., 2018, p. 4)

c34.a07.KPT

Como o experimento foi realizado de duas formas distintas, torna-se necessário fazer algumas considerações sobre ambas as abordagens. A primeira, realizada com os termômetros para a obtenção dos valores de temperatura, mostra-se eficaz [...] Porém, essa atividade leva bastante tempo para ser desenvolvida, o que, muitas vezes, dificulta sua inserção em sala de aula, principalmente na educação básica.

(ROSA et al., 2016, p. 12)

Fonte: Produção da própria autora

Outros conhecimentos, relativos a atividades experimentais, foram evidenciados nos PaP-eRs analisados, sendo que estes representaram 46 dos 134 identificados no subdomínio KPT, ou seja mais de 34% dos conhecimentos relativos ao ensino da Física tem relação com atividades experimentais. A proposição de alterações nas categorias do KPT não está no escopo desta pesquisa, porém esta investigação poderia ser desenvolvida no futuro, pois a grande representatividade deste tipo de atividade talvez justifique que se estabeleça uma categoria exclusiva.

Os conhecimentos identificados nos PaP-eRs do subdomínio KPT mostraram-se bastante aderentes com a descrição feita no PTSK Transposto. Durante as análises conduzidas, dois conhecimentos relativos à eficiência das atividades experimentais foram reclassificados do subdomínio KPT para o subdomínio KoT, conforme descrito acima (c03.a11.KoT; c23.a11.KoT, transcritos no Quadro 14, p. 58).

Os 134 conhecimentos identificados no KPT foram agrupados conforme o foco central de cada um deles, o resultado desta classificação encontra-se na Tabela 1. Na Fase 3 da pesquisa estes descritores foram comparados com a caracterização do subdomínio KPT, no PTSK Transposto, para aprimorar-se a proposta do modelo PTSK da pesquisa.

Tabela 1: Foco central dos conhecimentos do subdomínio KPT

Foco central do conhecimento	Quantidade
Atividades experimentais: sua preparação, a escolha do tipo de atividade, a seleção de conteúdos e sua viabilidade quanto a tempo de realização e recursos necessários.	46
Recursos virtuais	14
Atividade	14
Estratégia de ensino	13
Sequencia didática para abordagem dos conteúdos	9
Teorias de ensino pessoais dos professores	8
Recursos didáticos tais como: vídeos, imagens e desenhos animados	5
Abordagem dos conteúdos com uma perspectiva histórica	5
Avaliação	4
Teorias de ensino formais	4
Metodologia de ensino	4
Exemplos pessoais	2
Recursos didáticos bibliográficos	2
Exemplos típicos	2
Experimentos do pensamento	2
Total	134

Fonte: Produção da própria autora

4.2.3.2 Conhecimento das Características da Aprendizagem de Física (KFLP)

Na análise dos PaP-eRs identificaram-se conhecimentos relacionados às teorias de aprendizagem que relacionam os processos cognitivos dos alunos com a Física ou tópicos específicos da Física. Como exemplo tem-se a discussão feita pelo professor, no PaP-eRs P18, que versa sobre ensino de Astronomia para crianças do ensino fundamental, a respeito do conceito de eclíptica (plano da órbita da Terra) demandar uma capacidade de abstração acima da apresentada por crianças neste período de desenvolvimento (c23.a18.KFLP, transcrito no Quadro 17).

O uso de programação e computação simbólica para aprendizagem do Eletromagnetismo, no PaP-eRs P04, apresenta a visão do professor sobre como o processo cognitivo do aluno é impactado pelo uso da programação, que exige a descrição, precisa e formal, do problema a ser resolvido e permite que o foco dos

alunos esteja apenas nos conceitos e não nos cálculos, características estas que auxiliam no entendimento da estrutura lógica e aceleram o tempo de maturação dos conceitos (c01.a04.KFLP; c12.a04.KFLP, ambos transcritos no Quadro 17).

Quadro 17: Transcrição dos trechos dos conhecimentos c23.a18.KFLP, c01.a04.KFLP e c12.a04.KFLP

c23.a18.KFLP
<p>No entanto, nos tópicos abordados: a eclíptica, a ideia da abóboda celeste e as distâncias das estrelas acabaram sendo muito complexas para serem introduzidos nas faixas etárias que a parceria abrangeu. O que reforça a necessidade de adequação do conteúdo à população. Por exemplo: <u>a eclíptica é um conceito que apresenta a necessidade da capacidade de abstração – pensamento formal – que as crianças nesse período de desenvolvimento ainda não apresentam (PIAGET, 1986; RAPPAPORT, 1981)</u>. Porém, mesmo diante desse desafio, a abordagem do assunto em uma apresentação de astronomia, se feita de maneira interativa, pode tornar o tópico mais palpável.</p> <p style="text-align: right;">(BARAI et al., 2016, p.12, grifo nosso)</p>
c01.a04.KFLP
<p>Neste trabalho, descrevemos nossa experiência com o uso dos comandos de Maple e basicamente da sua linguagem de programação como instrumentos de aprendizagem em um curso de introdução a teoria eletromagnética.</p> <p>[...]</p> <p>Como as linguagens de computação são precisas e não ambíguas, de acordo com Valente [4] o aluno que representa a resolução de um problema segundo um programa de computador, tem uma descrição formal e precisa dessa resolução, apurando seu entendimento sobre a estrutura lógica de toda uma classe de problemas semelhantes ao que ele está tratando.</p> <p>Mais ainda, orientar o aluno a se concentrar na sequência lógica que leva a solução de um problema - a ponto de ser capaz de criar programas que simulem tal sequência - sem ter que desviar a atenção com evitar os "erros de contas", acelerou notavelmente o tempo de maturação dos conceitos.</p> <p style="text-align: right;">(ALVES; AMARAL; MEDEIROS NETO, 2002, p. 2)</p>
c12.a04.KFLP
<p>Resultou surpreendente para os alunos notar que um procedimento deste tipo pode ser usado para determinar o vetor de Poynting associado a qualquer conjunto (E;B), bastando para isso mudar apenas a forma funcional na definição dos campos sem ter que se deter na verificação de erros de conta usuais aos cálculos feitos com caneta e papel. Como mencionado na introdução, isso permitiu ao aluno se concentrar nos conceitos envolvidos, deixando o momento de praticar "contas a mão" apenas para verificar - em algum momento do processo - que o programa feito funciona corretamente.</p> <p style="text-align: right;">(ALVES; AMARAL; MEDEIROS NETO, 2002, p. 8)</p>

Fonte: Produção da própria autora

Outros conhecimentos relacionados a teorias de aprendizagem abordam o uso de perguntas hipotéticas, discussões e interação argumentativa (c20.a15.KFLP;

c03.a16.KFLP; c11.a14.KFLP). Estes conhecimentos mostraram-se alinhados com o subdomínio KFLP do PTKS Transposto.

Os conhecimentos dos professores relativos aos interesses e expectativas dos estudantes foram identificados em trechos que relatam a visão do aluno sobre a disciplina de Física (c01.a05.KFLP; c02.a17KFLP; c04.a18.KFLP; c05.a17.KFLP, transcrito no Quadro 18) e o interesse dos aprendizes em tópicos específicos da Física tais como, o desejo de saber se é possível voltar no tempo ao se mover mais rápido que a luz no estudo da Física Quântica (c18.a15.KFLP, transcrito no Quadro 18) e a dúvida se uma geladeira com a porta aberta funciona como um ar condicionado no estudo da termologia (c19.a15.KFLP). No PaP-eRs P12 foram identificados conhecimentos relativos ao vocabulário comum dos alunos para os conceitos de energia e de dissipação de energia (c15.a12.KFLP; c14.a12.KFLP, transcrito no Quadro 18). Também estes conhecimentos apresentaram alinhamento com o subdomínio KFLP do PTKS Transposto.

Quadro 18: Transcrição dos trechos dos conhecimentos c14.a12.KFLP, c05.a17.KFLP e c18.a15.KFLP

c14.a12.KFLP

Para responder à primeira questão, entendemos que não é possível definir energia em termos concretos de tamanho, formato ou massa, pelo contrário, é algo abstrato que descreve o estado dinâmico de um sistema [14]. Assim, em uma primeira aproximação, podemos associar energia à capacidade de produzir transformações nas configurações dos sistemas, que podem ser associadas a variações de energia em partes destes sistemas ou no sistema como um todo [3, p.294]. É importante ressaltar, entretanto, que esta definição de energia também tem suas limitações, pois a ideia de considerar energia como a causa de fenômenos não é mais utilizada, aliada ao fato de a possibilidade do processo ocorrer estar ligado ao aumento de entropia [2][3, p.293]. Assim, consideramos como resposta esperada qualquer afirmação dos estudantes que implicasse em energia como a “capacidade de produzir transformações” ou “o potencial inato para executar trabalho ou realizar uma ação”. Nenhum aluno elaborou uma resposta neste sentido.

(BORGES; DICKMAN; VERTCHENKO, 2018, p. 4, grifo nosso)

c18.a15.KFLP

em aulas de relatividade, os estudantes usualmente desejam saber o que ou se é possível voltar no tempo ao se mover mais rápido do que a luz

(RIBEIRO, 2017, p. 5, grifo nosso)

C05.a17.KFLP

Os estudantes apresentaram dificuldades na resolução das equações, que foram reduzindo à medida que resolviam exemplos. Mas, ainda permanece uma espécie de medo com relação às equações, como se fosse a maior dificuldade na disciplina.

(KIELT, 2017, p. 78, grifo nosso)

Fonte: Produção da própria autora

No tocante às fortalezas e dificuldades dos alunos foram identificados erros comuns relacionados à crença que um corpo mais “pesado” em queda livre atinge mais rapidamente o solo (c04.a17.KFLP, transcrito no Quadro 19) e a confusão do conceito de energia e força com os conceitos de força, movimento ou potência (c01.a12.KFLP).

Quadro 19: Transcrição do trecho do conhecimento c04.a17.KFLP

c04.a17.KFLP

Essa demonstração foi produtiva, pois dava continuidade aos conteúdos da TL e diferenciava queda livre de queda amortecida, facilitando romper com a ideia intuitiva dos estudantes de que o corpo mais “pesado” (E5; E6; E10) chegaria antes ao chão. Explicar que todos os corpos em queda, nas proximidades da superfície terrestre, estão sujeitos a uma mesma aceleração (a da gravidade) foi um excelente argumento pois, como já conheciam o conceito de aceleração, puderam compreender que os corpos estavam sujeitos a uma mesma variação de velocidade. A explicação da aceleração da gravidade como agente causador de variação da velocidade favoreceu a compreensão das equações da velocidade e da posição na queda livre.

(KIELT, 2017, p. 77, grifo nosso)

Fonte: Produção da própria autora

A dificuldade de aprendizado, no subdomínio KFLP, foi identificada em conhecimentos nos quais os professores descrevem a dificuldade dos alunos em compreender conceitos abstratos, tais como energia e campo magnético, devido à necessidade de interpretação e reflexão (c02.a12.KFLP; c04.a03.KFLP; c03.a05.KFLP, transcrito no Quadro 20). A abordagem de tópicos isoladamente, sem integração entre os conteúdos, é apontada com um aspecto que dificulta o aprendizado pelo professor no PaP-eRs P14 (c12.a14.KFLP, transcrito no Quadro 20).

Quadro 20: Transcrição dos trechos dos conhecimentos c03.a05.KFLP e c12.a14.KFLP

c03.a05.KFLP
<p>Como se ensina, e se aprende física é motivo de interesse de muitos pesquisadores que buscam identificar as de ciências e propor sugestões para melhorar o processo ensino-aprendizagem, como Batista [4]: Quando nos dedicamos à melhoria do ensino de física, estamos grandemente sensibilizados pelos problemas que, em geral, atingem o ensino de forma global. No entanto, <u>em relação à física, temos características especiais quanto às dificuldades de compreensão e fixação de conceitos que muitas vezes exigem, nesses processos, grande abstração, interpretação e reflexão para serem aprendidos pelos alunos.</u> O que se pode perceber é que os alunos, apesar de enunciarem uma determinada lei da física, não compreenderam todo o seu significado. [4, p. 462]</p> <p style="text-align: right;">(BRUSCATO; MORS, 2014, p. 2, grifo nosso)</p>
c12.a14.KFLP
<p><u>Um dos aspectos que dificulta a observação do significado do conteúdo pelo aluno é o fato de o mesmo ser trabalhado isoladamente em determinada disciplina.</u> Os documentos oficiais [23] propõem que o ensino deva ser interdisciplinar e contextualizado</p> <p style="text-align: right;">(RODRIGUES; MACKEDANZ, 2018, p. 4, grifo nosso)</p>

Fonte: Produção da própria autora

Foram identificados nove conhecimentos relacionados aos benefícios de diferentes formas de apresentação do conteúdo, sendo um relacionado à modelagem matemática (c01.a10.KFLP, transcrito no Quadro 21), um ao uso de TIC (c04.a13.KFLP) e sete relacionados aos benefícios das atividades experimentais para estimular o interesse dos alunos, concretizar os conceitos e familiarizar os alunos com os fenômenos (c09.a14.KFLP; c25.a18.KFLP; c05.a12.KFLP; c28.a11.KFLP; c25.a11.KFLP; c01.a11.KFLP; c07.a12.KFLP, transcrito no Quadro 21).

Quadro 21: Transcrição dos trechos dos conhecimentos c01.a10.KFLP e c07.a12.KFLP

c01.a10.KFLP
<p>De acordo com [9] os softwares de modelagem são ferramentas computacionais que facilitam a construção de modelos matemáticos que representam o cotidiano, tornando os processos de ensino e de aprendizagem mais próximo da realidade do aluno.</p> <p>[...]</p> <p>O Software Modellus [...] simula e constrói modelos de fenômenos Químicos, Matemáticos e Físicos</p> <p style="text-align: right;">(PASTANA; NEIDE, 2018, p. 2)</p>

c07.a12.KFLP

A visualização e a interação dos estudantes com modelos ou analogias palpáveis ajudam a desenvolver o pensamento abstrato e auxiliam na assimilação dos conceitos, resultando em uma base mais sólida para o entendimento dos fenômenos estudados, além do aumento do interesse dos estudantes.

(BORGES; DICKMAN; VERTCHENKO, 2018, p. 2)

Fonte: Produção da própria autora

Nota-se a importância dos conhecimentos relativos à atividade experimental, como forma de apresentação dos conteúdos, na amostra de conhecimentos identificados. Este aspecto, apesar de não ser entendido como uma possível discrepância entre o PTSK Transposto e os dados levantados, chama atenção para representatividade do aspecto experimental do ensino da Física que, além de precisar ser considerado na Fase 3 da pesquisa para definição da proposta do modelo PTSK, constitui uma possibilidade para estudos futuros.

A falta de domínio da Matemática envolvida na Física é apontada como uma dificuldade em três conhecimentos identificados, no total de sete relacionados às dificuldades de aprendizado (c01.a14.KFLP; c05.a04.KFLP; c13.a14.KFLP, transcrito no Quadro 22). Esta observação reforça a ligação entre a disciplina de Física e da Matemática, que precisa ser investigada para definição da proposta do modelo PTSK. O caráter especializado do modelo busca a manutenção do foco dos conhecimentos na Física e tópicos da Física, porém sem a compreensão da Matemática envolvida o conhecimento do professor não abrangerá todos aqueles necessários para o ensino da disciplina.

Note-se que nos conhecimentos dos professores sobre a visão dos alunos a respeito da Física a Matemática, também, figura como um obstáculo para o aprendizado da disciplina (c01.a05.KFLP; c05.a17.KFLP, transcrito no Quadro 22³²), o que reforça a presença da Matemática na Física.

A ligação estreita entre as duas ciências pode ser percebida nas definições relacionadas ao objeto de estudo da Física, os Fenômenos Físicos. Tem-se que “qualquer número usado para descrever quantitativamente um Fenômeno Físico

³² Este conhecimento, apesar de já transcritos no Quadro 18, p. 54, foi apresentado novamente para comodidade do leitor.

denomina-se grandeza física” (YOUNG; FREEDMAN, 2008, p. 4) e que “lei física é a relação matemática entre as grandezas que participam de um mesmo fenômeno” (BONJORNIO et al., 1992, p. 14). Estas definições mostram como a Matemática está inserida na Física, exercendo um papel que vai além de uma ferramenta de cálculo. Ela está presente desde o tratamento numérico das Grandezas Físicas até a inferência de leis a partir da manipulação de objetos matemáticos abstratos (BATISTA; MOZOLEVSKI, 2010). A relação simbiótica entre a Física e a Matemática pode ser representada pelas citações na **Figura 7**.

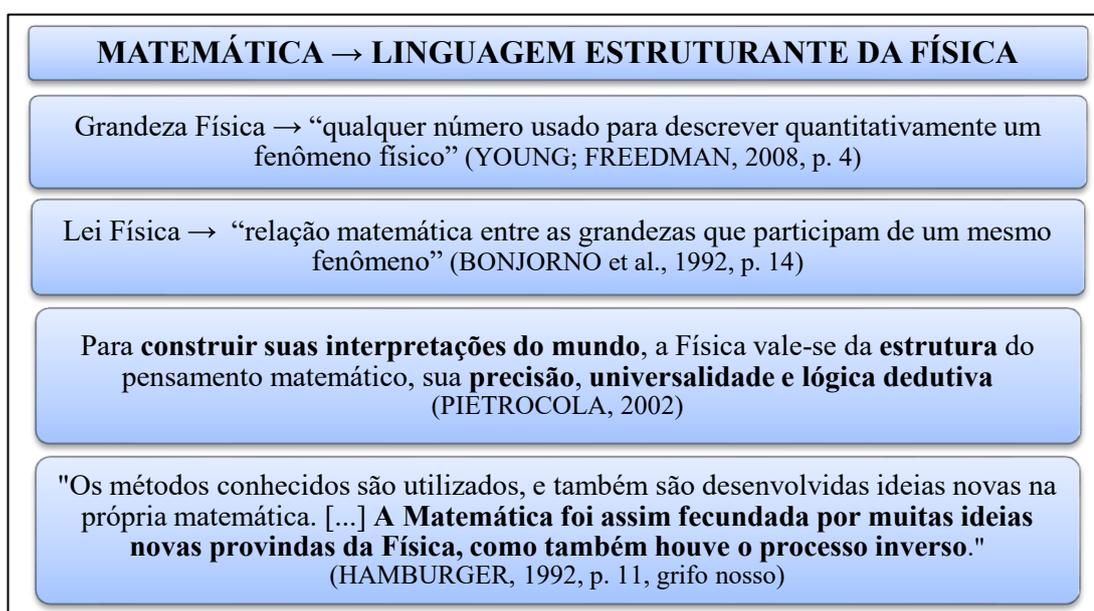


Figura 7: O papel da Matemática na Física

Fonte: Produção da própria autora

Desta forma, no âmbito da presente pesquisa, assume-se o entendimento da Matemática como linguagem estruturante da Física, pois os modelos físicos não apenas utilizam as ferramentas matemáticas para sua composição. Para construir suas interpretações do mundo, a Física vale-se da estrutura do pensamento matemático, sua precisão, universalidade e lógica dedutiva (PIETROCOLA, 2002).

Nesta perspectiva os conhecimentos identificados, relacionados ao tratamento matemático dos Fenômenos Físicos, são tratados como conhecimentos especializados de professores de Física, pois se referem a conhecimentos da linguagem estruturante da Física, não havendo assim distanciamento do caráter especializado do PTSK.

No Quadro 22 estão três conhecimentos referentes ao impacto do conhecimento matemático no aprendizado da Física, sendo um relacionado a resultado de pesquisa em ensino de Física, outro sobre a visão do professor e o terceiro sobre a visão dos alunos. No PaP-eRs P14, o professor realizou atividade experimental de produção de espelhos parabólicos para ensino dos conceitos de Ótica e de função polinomial de 2º grau, trabalhando em paralelo conceitos da Física e da Matemática (c13.a14.KFLP). No conhecimento c13.a14.KFLP o professor afirma, com base em referência bibliográfica, que a falta de conhecimento matemático é apontado como grande fonte de dificuldade no aprendizado da Física. Já no conhecimento c05.a04.KFLP tem-se exemplo no qual a dificuldade com operações matemáticas impactam na compreensão de conceitos físicos. A visão dos alunos quanto à resolução de equações é apresentada pelo professor no conhecimento c05.a17.KFLP.

Quadro 22: Transcrição dos trechos dos conhecimentos c13.a14.KFLP, c05.a04.KFLP e c05.a17.KFLP

c13.a14.KFLP
Tal autor relata [...] que a Matemática é apontada como grande responsável pelo fracasso escolar no que tange ao ensino de Física, ou seja, os estudantes não sabem Física pois não sabem Matemática, isto reafirma o que pensam um número significativo de professores de Física que conhecemos.
(RODRIGUES; MACKEDANZ, 2018, p. 6, grifo nosso)
c05.a04.KFLP
Os conceitos de gradiente, divergente e rotacional frequentemente confundem os alunos, pois <u>misturam operações vetoriais e diferenciais</u> .
(ALVES; AMARAL; MEDEIROS NETO, 2002, p. 4, grifo nosso)
c05.a17.KFLP
Os estudantes apresentaram dificuldades na resolução das equações, que foram reduzindo à medida que resolviam exemplos. Mas, ainda permanece uma espécie de medo com relação às equações, como se fosse a maior dificuldade na disciplina.
(KIELT, 2017, p. 78)

Fonte: Produção da própria autora

Os demais conhecimentos identificados no subdomínio KFLP não geraram questionamentos quanto à adequação do PTSK Transposto, desta forma eles foram apenas agrupados quanto ao foco central de cada conhecimento, para auxiliar na

melhor descrição deste subdomínio na Fase 3 da pesquisa, a Tabela 2 apresenta o resultado deste agrupamento.

Tabela 2: Foco central dos conhecimentos do subdomínio KFLP

Foco central do conhecimento	Quantidade
Dificuldade dos alunos no aprendizado de Física ou de tópicos da Física	4
Impacto do uso de linguagem de programação no processo de aprendizagem do aluno	2
Dificuldade dos alunos relacionada à Matemática	3
Visão do aluno sobre a Física ou tópicos da Física	4
Benefícios do uso de diferentes formas de apresentação do conteúdo	2
Benefícios das atividades experimentais	7
Erro comum dos estudantes	3
Vocabulário usado pelos estudantes	2
Impacto de atividades experimentais no processo de aprendizagem do aluno	1
Interesse dos alunos em tópicos da Física	2
Impacto de estratégia de ensino no processo de aprendizagem do aluno	2
Processo de aprendizagem dos alunos de conceitos abstrato	1
Total	33

Fonte: Produção da própria autora

4.2.3.3 Conhecimentos dos Parâmetros da Aprendizagem de Física (KPLS)

Na Fase 2, durante a análise dos PaP-eRs no subdomínio KPLS, foram identificados conhecimentos que versam sobre os conteúdos obrigatórios a serem abordados na etapa escolar de atuação do professor (c10.a14.KPLS, transcrito no Quadro 23), bem como conhecimentos referentes a sequencia de tópicos que antecedem e sucedem o tema abordado pelo professor nos demais anos escolares (c22.a03.KPLS; c21.a18.KPLS).

Ainda no tocante a sucessão dos conteúdos, identificou-se conhecimentos relativos ao sequenciamento destes em uma mesma etapa escolar, como por exemplo, que para o aprendizado da 2ª Lei de Newton o aluno deve ter conhecimento dos conceitos de velocidade, aceleração, força e dos diversos tipos de movimento (c05.a09.KPLS, transcrito no Quadro 23). Ressalta-se que, este conhecimento difere

daqueles abordados no subdomínio KPT, por não se referirem a uma sequencia didática, pois não tratam do ordenamento e articulação de ações para que as intenções de ensino sejam atingidas (ZABALA, 1998, p. 18), mas sim de uma exigência do desenvolvimento do próprio conteúdo, pois o aprendizado do tema abordado depende do aluno conhecer outros conceitos.

Quadro 23: Transcrição dos trechos dos conhecimentos c10.a14.KPLS e c05.a09.KPLS

c10.a14.KPLS
Podemos perceber, a partir do livro didático, que o ensino de <u>Óptica no Ensino Médio está fortemente atrelado aos conceitos geométricos</u> . O ramo da Óptica Física, que trata a luz como onda eletromagnética e assim pode ser considerada como uma extensão (ou área) do Eletromagnetismo, é pouco tratado antes do Ensino Superior, apesar de sua necessidade para explicar um grande número de fenômenos físicos observados no cotidiano.
(RODRIGUES; MACKEDANZ, 2018, p. 3, grifo nosso)
c05.a09.KPLS
A seguir será apresentado, no quadro 1, a título de exemplificação, um trecho do roteiro relativo à 2ª Lei de Newton, assunto abordado na sexta atividade do semestre. Importante salientar que o tema das <u>atividades anteriores foi “Movimento – observação, registro, representação e análise”, de forma que os estudantes já haviam observado diversos tipos de movimento, fazendo análise de seu comportamento quanto à velocidade e à aceleração. Naquele momento, já havia sido trabalhado também o conceito de força.</u>
(PARREIRA, 2018, p. 3, grifo nosso)

Fonte: Produção da própria autora

Esta diferença fica explicitada quando se compara os conhecimentos transcritos no Quadro 24. No PaP-eRs P13 o professor relata episódio de ensino de formação de imagens e lista os conteúdos que os alunos já devem conhecer para que o a sequencia didática proposta possa ser realizada (c17.a13.KPLS, transcrito no Quadro 24). Já no PaP-eRs P04 o professor vale-se da programação e computação simbólica para ensino do Eletromagnetismo e apresenta uma sequencia de ações, com abordagens distintas em cada momento de ensino, para que o aluno possa compreender a propagação de ondas eletromagnéticas num guia-de-ondas (c13.a04.KPT, transcrito no Quadro 24).

Quadro 24: Transcrição dos trechos dos conhecimentos c17.a13.KPLS e c13.a04.KPLS

c13.a04.KPT
<p>Num primeiro momento, portanto, o aluno entra em contato com essa sequência lógica de ideias a respeito do problema da propagação de ondas eletromagnéticas num guia-de-ondas. Num segundo momento, tais ideias, ainda não amadurecidas, assim como a sequência de operações matemáticas descritas nas fórmulas (9), (10), (11) e (12), podem ser organizadas pelo aluno em rotinas computacionais. A elaboração de tais rotinas permite ao aluno a fixar e amadurecer os conceitos teóricos envolvidos, assim como melhorar seu entendimento sobre a sequência de operações usadas no problema.</p> <p style="text-align: right;">(ALVES; AMARAL; MEDEIROS NETO, 2002, p. 9)</p>
c17.a13.KPLS
<p>Com relação aos conhecimentos prévios dos alunos [8], é recomendado que os alunos conheçam de maneira qualitativa os esquemas de formação de imagens nas lentes delgadas convergentes. Nas aulas anteriores à aplicação da sequência didática, o tópico de formação de imagens por meio de lentes esféricas delgadas deve ser apresentado, sendo construídos todos os casos de formação de imagens nas lentes delgadas convergentes e divergentes [11]. É nesta etapa que se apresenta a refração e o desvio da luz. Uma abordagem interessante é proposta na referência [14], onde o conceito de refração é discutido no contexto de lentes esféricas. Com estes pré-requisitos, estamos aptos a aplicação da sequência didática com o método de Pierre Lucie.</p> <p style="text-align: right;">(BARROSO et al., 2018, p. 4)</p>

Fonte: Produção da própria autora

No subdomínio KPLS também se identificou conhecimento relativo ao nível de desenvolvimento conceitual esperado do aluno para determinada etapa escolar, nos quais o professor valia-se de avaliações nacionais como parâmetro. No PaP-eRs P18 o professor mostra conhecimento de parâmetro nacional para avaliação dos conhecimentos dos alunos quanto à Astronomia, baseado na Olimpíada Brasileira de Astronomia³³ (c08.a18.KPLS; c12a18.KPLS; c14a18.KPLS; c17a18.KPLS, transcrito no Quadro 25). Em outros PaP-eRs identificou-se conhecimento referentes a outras avaliações nacionais, tais como vestibulares e exames nacionais de cursos, (c03.a02.KPLS; c17.a01.KPLS, transcrito no Quadro 25) que trazem parâmetros do nível de desenvolvimento conceitual esperado de alunos egressos do ensino médio e do ensino superior respectivamente.

³³ A Olimpíada Brasileira de Astronomia é organizada e realizada anualmente pela Sociedade Astronômica Brasileira e abrange a os ensinamentos fundamental e médio. (BARAI et al., 2016)

Quadro 25: Transcrição dos trechos dos conhecimentos c17.a18.KPLS e c17.a01.KPLS

c17.a18.KPLS
<p>1.5. As constelações e o reconhecimento do céu</p> <p>Relação dos conteúdos com a OBA: o reconhecimento das constelações é um ponto importante para a OBA, pois notamos questões recorrentes sobre a diferenciação e identificação de certas constelações, principalmente as melhores visualizadas no hemisfério sul. A relação da constelação do Cruzeiro do Sul com nosso país se mostrou um ponto importante na avaliação, sendo que abordamos a sua presença na bandeira do Brasil.</p> <p style="text-align: right;">(BARAI et al., 2016, p. 10)</p>
c17.a01.KPLS
<p>O instrumento elaborado para levantamento de concepções sobre FQ (OSTERMANN; RICCI, 2003b) consiste de três partes: a primeira contendo seis questões abertas extraídas ou adaptadas de artigos de pesquisa em ensino de Física; uma segunda parte consistindo de 11 questões objetivas retiradas de concursos vestibulares, Exames Nacionais de Cursos (Provão do MEC) e artigos de pesquisa em ensino de Física; e a terceira contendo 20 afirmativas, frente às quais o professor-aluno deve posicionar-se empregando uma escala Likert (OSTERMANN; RICCI, 2004).</p> <p style="text-align: right;">(OSTERMANN; RICCI, 2005, p. 11)</p> <p>A sigla FQ no contexto do PaP-eRs P01 é usada como sinônimo de Física Quântica.</p>

Fonte: Produção da própria autora

No tocante a expectativas de aprendizado, identificou-se, no PaP-eRs P09, conhecimento de teste para mensurar o ganho conceitual do estudante sobre conceitos de mecânica, que normaliza o ganho comparando os resultados iniciais e finais dos alunos, o teste Force Concept Inventory³⁴ (c02.a09.KPLS).

No PaP-eRs P18, o professor referiu-se às habilidades e competências que se espera desenvolver nos alunos com o ensino da Astronomia (c01.a18.KPLS, transcrito no Quadro 26).

³⁴ O teste *Force Concept Inventory* foi objeto de estudo em 2016 envolvendo 50.000 estudantes para identificar-se o ganho normalizado médios dos estudantes. (PARREIRA, 2018)

Quadro 26: Transcrição do trecho do conhecimento c01.a18.KPLS

c01.a18.KPLS
Dentro dessa diversidade de habilidades que o ensino da astronomia desenvolve nos educandos e que auxiliam no desenvolvimento dos demais componentes curriculares, podemos destacar: o desenvolvimento do raciocínio lógico e melhora da capacidade de cálculos, medições, interpretações, observações, comparações, transferências e classificações de objetos e eventos; outros processos cognitivos como: descrição, organização, avaliação, dedução, imaginação, exploração, comunicação e, também, habilidades como manipulação e reconhecimento de instrumentos (FRAKNOI, 1995).
(BARAI et al., 2016, p. 3)

Fonte: Produção da própria autora

Há a possibilidade de questionamentos quanto à pertinência de considerar-se como um conhecimento especializado de professores de Física àqueles relativos ao desenvolvimento de habilidades e competência e não apenas aqueles relacionados aos conteúdos a serem ensinados nas etapas escolares. No entanto, nos Parâmetros Curriculares Nacionais o desenvolvimento de competências e habilidades são norteadores para os objetivos didáticos estabelecidos para a disciplina de Física. Desta forma, acredita-se que não há prejuízo ao caráter especializado do modelo PTSK em função da inclusão deste tipo de conhecimento.

No subdomínio dos Conhecimentos dos Parâmetros da Aprendizagem da Física, foi identificado um conhecimento relativo ao conteúdo matemático (c05.a15.KPLS, transcrito no Quadro 27), no qual o professor não recomenda o ensino do conteúdo físico como apresentado no PaP-eRs aos alunos desta etapa escolar, em função dos conteúdos matemáticos ensinados no ensino médio serem insuficientes para compreensão do modelo físico proposto no estudo.

Quadro 27: Transcrição do trecho do conhecimento c05.a15.KPLS

c05.a15.KPLS
Conforme o leitor perceberá, a formulação algébrica que desenvolvemos como resposta a tal questionamento vai além do ferramental matemático abordado no ensino médio, sendo sua apresentação mais adequada nas disciplinas iniciais da graduação. Assim, nas considerações finais desse texto, apresentamos algumas sugestões para o trabalho com essa pergunta (ou similares) no ensino médio.
(RIBEIRO, 2017, p. 2)

Fonte: Produção da própria autora

A ponderação sobre a inclusão ou não de conhecimentos matemáticos necessários para compreensão da Física e conteúdos da Física no PTSK encontra-se no tópico anterior, do subdomínio KPFL. Desta forma o trecho acima foi transcrito apenas com o objetivo de mostrar que a Matemática permeia o domínio do Conhecimento Didático da Física, reforçando o entendimento da Matemática como linguagem estruturante da Física.

Os conhecimentos identificados neste subdomínio foram agrupados conforme o foco central de cada um, tendo-se a distribuição destes apresentada na Tabela 3.

Tabela 3: Foco central dos conhecimentos do subdomínio KPFL

Foco central do conhecimento	Quantidade
Parâmetro de avaliação do nível de desenvolvimento conceitual dos alunos	5
Conceitos que se espera que o aluno conheça em determinada etapa escolar	3
Conteúdo da Física ensinado em determinada etapa escolar	3
Conceitos que aluno deve conhecer antes do ensino de determinado tópico	3
Conteúdo matemático ensinado em determinada etapa escolar	1
Habilidades e competências que se espera que o aluno desenvolva em determinada etapa escolar	1
Total	16

Fonte: Produção da própria autora

4.2.3.4 Conhecimento da Prática da Física (KPP)

No subdomínio Conhecimento da Prática da Física (KPP) foi identificado um único conhecimento, no PaP-eRs P07, no qual o professor relata a construção de equipamento para realização de atividade experimental para ensino da transferência de calor, o trecho encontra-se transcrito no Quadro 28. No relato do professor, percebe-se o planejamento para construção de equipamento que permita a demonstração do fenômeno da transferência de calor com materiais de baixo custo. Na concepção deste equipamento o professor, para reduzir o tempo de realização do experimento, separou a fonte de calor do meio com uma tampa, minimizando assim a troca de calor com o meio.

Quadro 28: Transcrição do trecho do conhecimento c16.a07.KPP

c16.a07.KPP
<p>III. Construção do equipamento</p> <p>O equipamento proposto foi construído utilizando <u>materiais alternativos e de baixo custo, como forma de viabilizar e facilitar a sua reprodução nas escolas</u>. É importante ressaltar que o experimento pode ser construído de outras formas, a fim de adaptá-lo aos materiais e às ferramentas disponíveis. A relação dos materiais necessários para a construção do experimento está listada a seguir: uma lata de azeite ou semelhante (tem que ser metálica e deve caber uma lâmpada incandescente em seu interior); um soquete para lâmpada incandescente comum; aproximadamente 50 a 60 cm de fio cabo paralelo; um plugue macho 2 P; uma lâmpada incandescente de 60 W ou 100 W; suporte de madeira ou MDF de aproximadamente 20 cm x 8 cm; uma barra metálica de alumínio com 42 cm de comprimento, 2 cm de largura e 3 mm de espessura (obtida em oficinas de esquadrias de alumínio); e uma barra metálica de cobre com 42 cm de comprimento, 2 cm de largura e 3 mm de espessura (obtida em lojas de materiais elétricos).</p> <p>A Fig. 1 consiste em uma fotografia dos materiais utilizados para a construção do equipamento.</p> <p>Para a construção do equipamento, é necessário inicialmente que se monte o circuito com o soquete para a lâmpada, o cabo e o plugue 2P. Na sequência, é necessário que se prenda o soquete no suporte de madeira. Deve-se remover o fundo da lata de azeite, fixando-a no suporte de madeira como demonstrado na Fig. 2. Para fixar as barras de alumínio e cobre na lata de azeite, foi feito um corte horizontal na lata. As barras foram colocadas nesse corte e presas com um rebite (elas podem ser presas com cola epóxi), como mostra a Fig. 3.</p> <p><u>Para reduzir a troca de calor com o meio, reduzindo o tempo para a realização da experiência, construiu-se uma tampa que foi colocada sobre a lata</u>. Essa tampa também pode ser uma pequena tampa de panela, eliminando, assim, a necessidade de se construir uma exclusivamente para a realização da experiência.</p> <p>Na Fig. 4, apresenta-se o equipamento pronto para ser utilizado.</p> <p style="text-align: right;">(ROSA et al., 2016, p. 5, grifo nosso)</p>

Fonte: Produção da própria autora

O fato de haver-se identificado apenas um conhecimento no subdomínio KPP, no universo dos 346 conhecimentos identificados na pesquisa, prejudica a análise da adequação deste subdomínio. Considera-se possível que o uso dos PaP-eRs como fonte para identificação dos conhecimentos tenha relação com a não identificação de conhecimentos relacionados ao planejamento e processo para resolução dos problemas de Física.

As publicações científicas, por vezes, divulgam os resultados sem detalhar por completo o processo de planejamento envolvido. No conhecimento c16.a07.KPP, transcrito no Quadro 28, o texto do professor sobre a construção do aparato experimental apresenta caráter preponderantemente descritivo, sem a apresentação de

todo planejamento envolvido na concepção deste equipamento e as justificativas para as escolhas feitas.

Nota-se que o tipo de conhecimento identificado nos PaP-eRs é fortemente influenciado pela visão do professor/autor a respeito de quais aspectos do episódio de ensino são importantes e devem ser relatados. Este fato fica bem caracterizado na Figura 6 (p. 50), percebe-se que há PaP-eRs nos quais não houve a identificação de nenhum conhecimento do domínio Conhecimento da Física, devido ao enfoque dado pelo professor/autor aos aspectos didáticos do episódio de ensino.

Frente às ponderações feitas considera-se que a investigação da adequação do subdomínio KPP no PTSK é um tópico importante a ser abordado em futuras pesquisas sobre o modelo proposto. Para a presente pesquisa opta-se pela manutenção do subdomínio sendo que o aprimoramento de sua descrição será baseada em aspectos da natureza da Física que afloraram durante a análise dos demais subdomínios do PTSK Transposto.

4.2.3.5 Conhecimento da Estrutura da Física (KSP)

No subdomínio Conhecimento da Estrutura da Física (KSP) foram identificados o total de 7 conhecimentos. As conexões feitas pelos professores, entre as diferentes áreas de abrangência da Física, para auxiliar a compressão dos alunos, que tiveram maior representatividade, são aquelas relativas à similaridade de pensamentos entre conceitos de distintas áreas. São exemplos destas conexões os paralelos entre conceitos de Eletricidade, energia potencial elétrica e potência elétrica, e os conceitos de Mecânica Clássica, energia potencial gravitacional e potência mecânica, ambos feitos pelo professor no PaP-eRs P06 (c22.a06.KSP; c26.a06.KSP). Os trechos destes dois conhecimentos estão transcritos no Quadro 29.

Quadro 29: Transcrição dos trechos dos conhecimentos c22.a06.KSP e c26.a06.KSP

c22.a06.KSP
<p>Atividades desenvolvidas e assuntos abordados: [...]</p> <p>Análise da diferença de potencial da rede de energia elétrica residencial na capital e no interior. (BRUSCATO, 2011, p. 34)</p> <p>Uma partícula carregada, ao se deslocar num campo elétrico, o faz por ação de uma força que o campo exerce sobre a carga e que realiza um trabalho. Este trabalho realizado pode ser expresso em termos de energia potencial elétrica. Assim como a energia potencial gravitacional depende da altura em que se encontra uma massa em relação à superfície terrestre, a energia potencial elétrica depende da posição da partícula no campo elétrico. (BRUSCATO, 2011, p. 100)</p>
c26.a06.KSP
<p>Atividades desenvolvidas e assuntos abordados: [...]</p> <p>Através da medida da resistência de um ferro de solda foi feito o cálculo teórico de sua potência. O valor nominal do ferro de solda era de 30 watts e o cálculo teórico foi de 27,8 watts. (BRUSCATO, 2011, p. 34)</p> <p>Em um circuito elétrico submetido a uma diferença de potencial, há o deslocamento de elétrons, ou seja, uma corrente elétrica. A força elétrica está movimentando os elétrons e, portanto, está sendo realizado um trabalho para deslocar estes elétrons. Em um paralelo com a mecânica, onde, quanto maior for a rapidez para executar um trabalho, maior será a potência mecânica, temos que, na eletricidade, quanto maior a rapidez com que é realizado o trabalho para movimentar os elétrons, maior será a potência elétrica. (BRUSCATO, 2011, p. 115)</p>

Fonte: Produção da própria autora

Além da similaridade de pensamentos os professores também se valeram de conexões auxiliares usando o debate de um tema para melhor compreensão de outro tópico. No PaP-eRs P14, que relata episódio de ensino sobre a Ótica Geométrica, o professor valeu-se da constatação dos alunos que o seus esquentavam quando posicionados no foco do espelho parabólico exposto ao sol para introduzir conceitos básicos sobre a radiação eletromagnética (c23.a14.KSP) o relato do professor está no Quadro 30.

Quadro 30: Transcrição do trecho do conhecimento c23.a14.KSP**c23.a14.KSP**

[...] durante as discussões que seguiram à exposição dos espelhos montados à luz solar, um dos alunos relatou que havia sentido a luz ser refletida na direção de seu dedo, e passava a entender como ocorria a propagação de calor por radiação. Aproveitamos o espaço para trabalhar a ideia desta propagação, introduzindo os conceitos básicos sobre a radiação eletromagnética, aproveitando o interesse despertado pelas atividades.

(RODRIGUES; MACKEDANZ, 2018, p. 10)

Fonte: Produção da própria autora

O aproveitamento de conceitos mais simples, já conhecidos pelos alunos, para introdução de conceitos mais complexos pode ser exemplificado com o uso da Ótica Ondulatória como pano de fundo clássico para introdução da Física Quântica no PaP-eRs P01, conforme trecho transcrito no Quadro 31 do conhecimento c04.a01.KSP.

Quadro 31: Transcrição do trecho do conhecimento c04.a01.KSP**c04.a01.KSP**

A Ótica Ondulatória seguiu sendo uma espécie de porta de entrada para o mundo quântico através da abordagem de analogias entre situações da Ótica e da Mecânica Quântica, e também da exploração de semelhanças formais entre as duas teorias. O papel destacado da Ótica Ondulatória na concepção da unidade conceitual, como pano de fundo clássico para a abordagem da Mecânica Quântica, está baseado na própria formulação histórica da Mecânica Ondulatória por Schrödinger em 1925-26.

(OSTERMANN; RICCI, 2005, p. 4)

Fonte: Produção da própria autora

Ainda no âmbito das relações entre as diversas áreas de abrangência identificou-se, no PaP-eRs P12, a abordagem do conceito de energia como um conceito unificador entre a Mecânica, Termodinâmica, Fenômenos Ondulatórios, Eletromagnetismo e Física Moderna (c03.a12.KSP). Para tratamento deste conteúdo o professor propôs atividade experimental demonstrativa sobre transformação e dissipação de energia conforme descrito no trecho do Quadro 32.

Quadro 32: Transcrição do trecho do conhecimento c03.a12.KSP**c03.a12.KSP**

Acreditamos na importância do aprendizado do conceito de energia como um conceito unificador, e enfatizamos o princípio de conservação da energia, como um princípio universal em toda a física, pois não abrange somente a Mecânica, mas também a Termodinâmica, fenômenos ondulatórios, Eletromagnetismo e Física moderna [3].

(BORGES; DICKMAN; VERTCHENKO, 2018, p. 4)

O experimento, mostrado na Figura 1, é constituído de uma bicicleta, sem a roda dianteira e o guidão, ligada a um motor de tanquinho lavete por meio de correias e polias, ambos presos em uma plataforma de madeira. O motor impulsiona a roda da bicicleta, que ao girar transmite energia para o alternador, que por sua vez, gera energia para acender a lâmpada.

(BORGES; DICKMAN; VERTCHENKO, 2018, p. 3)

Fonte: Produção da própria autora

Neste ponto se faz um breve retorno a análise feita no tópico anterior, sobre o subdomínio KPP, quanto à construção dos textos dos PaP-eRs. O trecho do conhecimento c03.a12.KSP descreve de modo sucinto a construção de aparato experimental, porém não há neste trecho comentário algum do professor acerca do planejamento e demais processos associados à concepção deste aparato. Desta forma não há como considera-lo um conhecimento do subdomínio KPP, há apenas o indício que o professor talvez possua este tipo de conhecimento. No entanto, como na metodologia definida não há oportunidade para verificação destes indícios, este possível conhecimento não foi considerado na análise.

Concluído este pequeno interlúdio, finaliza-se a análise do subdomínio KSP com a apresentação da Tabela 4 que traz o foco central dos conhecimentos identificados ao longo da Fase 2 da pesquisa. Note-se que não houve a identificação da relação entre os conteúdos ensinados e conteúdos futuros. Acredita-se que esta lacuna deve-se apenas a uma característica da amostra selecionada e não a inexistência deste tipo de conexão no âmbito da Física. Desta forma a descrição deste tipo de conhecimento foi mantida na proposta do PTSK.

Tabela 4: Foco central dos conhecimentos do subdomínio KSP

Foco central do conhecimento	Quantidade
Similaridade de pensamentos entre temas de diferentes áreas de abrangência da Física	3
Valer-se de conceitos trabalhados em um tema para auxiliar na compreensão de tema de outra área de abrangência da Física, sem que haja similaridade de pensamentos	2
Conceito unificador entre as diferentes áreas de abrangência da Física	1
Explicar um tema mais complexo valendo-se de conceitos de outra área de abrangência da Física que foram trabalhados anteriormente com os alunos	1
Total	7

Fonte: Produção da própria autora

4.2.3.6 Conhecimento dos Tópicos da Física (KoT) e suas categorias

O subdomínio Conhecimento dos Tópicos da Física (KoT) concentra-se no conteúdo da Física e suas fundamentações. No decorrer da Fase 1 da pesquisa levantou-se alguns questionamentos quanto à adequação da terminologia de suas categorias, estes foram considerados no decorrer das análises, porém não alteraram a metodologia estabelecida para a pesquisa.

No primeiro ciclo de análise da Fase 2 a classificação dos conhecimentos nas categorias do KoT baseou-se nas categorias do PTSK Transposto, que por sua vez baseia-se na transposição direta do MTSK. No decorrer desta primeira etapa de análises foram levantados diversos questionamentos quanto à adequação das categorias do PTSK Transposto para representar o conhecimento especializado de professores de Física que levaram a novas análises. No decorrer dos sucessivos ciclos de análise que se seguiram emergiram novas categorias que aparentam melhor adequar-se às características da Física.

A seguir são apresentados os resultados da Fase 2 do subdomínio KoT, separados por categoria do PTSK Transposto. São apresentadas às classificações de todos os conhecimentos, tendo como referência as categorias do PTSK Transposto, e as considerações sobre as adequações ou não entre estas e os conhecimentos. Na sequência apresenta-se as categorias que emergiram das análises subsequentes e as justificativas para sua concepção. Ao término deste processo apresenta-se a classificação dos conhecimentos nestas novas categorias.

Na primeira etapa de análise foram identificados 151 conhecimentos no subdomínio KoT, a distribuição destes conhecimentos nas categorias iniciais pode ser observada na Tabela 5. Nesta classificação buscou-se o melhor ajuste entre o tipo de conhecimento identificado e a descrição das categorias feita no PTSK Transposto durante a Fase 1, mesmo que, nem sempre, tenha sido totalmente adequada. A identificação destas inadequações é o principal foco desta seção.

Tabela 5: Classificação dos conhecimentos do KoT nas categorias do PTSK Transposto

Categoria	Quantidade	%
Procedimentos: Como fazer?	23	15,23%
Procedimentos: Quando pode ser feito?	8	5,30%
Procedimentos: Por que se faz desta forma?	0	0,00%
Procedimentos: Características do resultado	10	6,62%
Definições, Propriedades e seus Fundamentos	52	34,44%
Registros e Representações	18	11,92%
Fenomenologia e aplicações	40	26,49%
Total Geral	151	100,00%

Fonte: Produção da própria autora

4.2.3.6.1 *Categoria: Procedimentos*

A categoria “Procedimentos” é composta por quatro subcategorias, que são analisadas individualmente a seguir, o primeiro questionamento levantado, já na Fase 1 da pesquisa, refere-se à adequação do termo procedimento à ciência da Física e seus conteúdos. Desta forma buscou-se maior compreensão do significado da palavra procedimento no âmbito da prática educativa, identificando-se a seguinte definição:

Um conteúdo procedimental – que inclui entre outras coisas as regras, as técnicas, os métodos, as destrezas ou habilidades, as estratégias, os procedimentos – é um conjunto de ações ordenadas e com um fim, quer dizer, dirigidas para a realização de um objetivo. (ZABALA, 1998, p. 43)

No universo dos conteúdos procedimentais alguns critérios são usados para distingui-los, conforme as características específicas de cada um. Um dos parâmetros usados para diferenciá-los está relacionado à rigidez existente na ordem das sequências das ações envolvidas. Aqueles cuja ordem de execução é sempre

constante são chamados de conteúdos procedimentais algorítmicos. Já aqueles que, apesar de sempre envolverem as mesmas ações, tem a ordem de execução destas ações alterada em função das características da situação em que são aplicados são chamados de conteúdos procedimentais heurísticos (ZABALA, 1998).

Frente esta definição entende-se que há conteúdos procedimentais envolvidos no ensino da Física, principalmente na resolução de problemas tais como os presentes nos exames de seleção para o ensino superior. Desta forma descartou-se a priori a alteração da categoria, sua permanência ou não na proposta do modelo PTSK da pesquisa foi definida em função das análises de suas subcategorias.

4.2.3.6.1.1 Subcategoria: Como fazer?

Nesta subcategoria foram identificados 23 conhecimentos, dos quais 21 têm como foco central as equações para calcular Grandezas Físicas tais como a taxa de transferência de calor (c03.a08.KoT; c09.a11.KoT) e a velocidade instantânea (c11.a15.KoT). Apenas dois dos conhecimentos identificados não estavam relacionados diretamente a equações, mas ainda assim envolviam procedimentos matemáticos, o foco central destes conhecimentos é como determinar a direção de Grandeza Física vetorial, a força magnética no caso do conhecimento c15.a03.KoT e o fluxo de calor no conhecimento c13.a07.KoT.

Todos os conhecimentos identificados nesta categoria relacionam-se a linguagem Matemática e adequam-se ao PTSK Transposto. No entanto face ao posicionamento assumido, na análise do subdomínio KFLP, da Matemática como uma linguagem estruturante do pensamento físico e não uma mera ferramenta para resolução de problemas, entende-se que a adoção da do termo “Como fazer?”, possivelmente, levaria a uma compreensão equivocada do tipo de conhecimento que integra o Conhecimento Especializado de Professores de Física.

Para melhor justificar este posicionamento apresenta-se o trecho do conhecimento c19.a11.KoT no Quadro 33. O conhecimento contido na transcrição abrange mais do que o simples ato operacional de calcular a taxa de calor transferido entre o ar circundante e a superfície sólida da placa de gelo.

Quadro 33: Transcrição do trecho do conhecimento c19.a11.KoT

c19.a11.KoT	
<p>A transferência de calor entre o ar circundante e a superfície sólida resulta no derretimento do gelo. O produto da massa m de água assim produzida pelo calor latente de fusão do gelo, L_f, corresponde ao calor absorvido na superfície; sendo possível estimar a taxa de calor transferido pela equação (13):</p>	
$q = \frac{mL_f}{\Delta t}$	(13)
<p>na qual Δt é o intervalo de tempo necessário para a fusão de uma massa m de gelo.</p>	
<p>(GARCIA et al., 2017b, p. 4)</p>	

Fonte: Produção da própria autora

A equação (13), descrita pelo professor, mostra que há uma relação direta de proporcionalidade entre a massa de água derretida e a taxa de calor transferido, sendo esta relação influenciada pelo calor latente de fusão do gelo e pelo tempo. Tratar este conhecimento apenas como um conteúdo procedimental, no qual o aluno deve substituir os valores conhecidos na fórmula para encontrar a variável desconhecida, seria reduzir em muito o potencial formativo da informação.

Assim para representar os conhecimentos matemáticos, necessários para estruturação do pensamento físico, opta-se pela inclusão de uma categoria intitulada “Linguagem matemática” no modelo proposto do PTSK. Devido à nova categoria, ora estabelecida, a subcategoria “Como fazer?” será excluída do modelo na Fase 3.

4.2.3.6.1.2 Subcategoria: *Quando pode ser feito?*

Nesta subcategoria foram identificados 9 conhecimentos, sendo 1 relacionado à condição necessária para que ocorra um Fenômeno Físico e os outros 8 relacionados aos modelos adotados para estudo de sistemas físicos.

O conhecimento c08.a07.KoT, transcrito no Quadro 34, aborda a condição necessária para que ocorra o fenômeno de condução térmica, que consiste na diferença de temperatura em pontos espacialmente distribuídos ao longo do material.

Quadro 34: Transcrição do trecho do conhecimento c08.a07.KoT

c08.a07.KoT
O fluxo de calor – ou a condução térmica – ocorre somente quando existe uma diferença de temperatura em pontos espacialmente distribuídos ao longo do material. (ROSA et al., 2016, p. 4)

Fonte: Produção da própria autora

Apesar do caráter condicionante deste conhecimento não são percebidas características de conteúdo procedimental, relacionado à execução de ações. Há uma relação mais intensa com o aporte teórico envolvido no estudo do fenômeno de transferência de calor por condução. Desta forma entende-se que este conhecimento deve ser enquadrado na categoria que engloba os Fenômenos Físicos, que será apresentada na discussão da categoria “Definições, Propriedades e seu Fundamentos”.

Dos 8 conhecimentos relacionados aos modelos adotados para estudo de sistemas físicos 4 se referem às condições necessárias para que o modelo adotado seja válido, um exemplo, transcrito no Quadro 35, é o conhecimento do professor que para adoção do modelo proposto, no qual apenas uma forma de transmissão de calor é considerada, é necessário que haja predominância de uma forma de transmissão de calor (c06.a11.KoT). Percebe-se que o professor conhece a condição necessária para que seja possível fazer a simplificação do sistema físico real.

Quadro 35: Transcrição do trecho do conhecimento c06.a11.KoT

c06.a11.KoT
Cabe aqui ressaltar que, em sistemas físicos reais, os três mecanismos de transferência de calor estão presentes; e, conseqüentemente, o calor transferido é resultado da soma das contribuições correspondentes a cada um deles [6]. Em algumas situações práticas, <u>a predominância de um dos mecanismos permite desprezar a contribuição dos outros dois modos de transferência de calor;</u> (GARCIA et al., 2017b, p. 2, grifo nosso)

Fonte: Produção da própria autora

Outro exemplo interessante é encontrado no PaP-eRs P08 e versa sobre condição necessária para que o modelo matemático adotado seja válido, a transcrição do trecho encontra-se no Quadro 36. Neste recorte o professor determina que a

equação (12) é válida, para o estudo do fenômeno proposto, pelo fato do valor do número adimensional de Biot do corpo sólido usado na atividade experimental ser inferior a 0,1 por estar entre 0,000512 e 0,0064.

Quadro 36: Transcrição do trecho do conhecimento c25.a08.KoT

c25.a08.KoT
<p>A validade da equação (12) condiciona-se à hipótese de que a temperatura desse sólido é espacialmente uniforme. Essa hipótese é válida quando o número adimensional de Biot (N_{bi}) for inferior a 0,1 [18].</p> <p>[...]</p> <p>No experimento foi utilizado um cilindro cujo raio e altura são, respectivamente, 36 e 102 mm, confeccionado em aço carbono. O resfriamento desse cilindro ao ar consiste num processo de convecção natural, cujo coeficiente de película situa-se na faixa de 2 a 25 W/(m².K) [3]; e a condutividade térmica desse objeto é de 52 W/(m.K), resultando num valor de Bi compreendido entre 0,000512 e 0,0064. Logo, para o experimento proposto, a equação (12) é válida.</p> <p style="text-align: right;">(GARCIA et al., 2017a, p. 4)</p>

Fonte: Produção da própria autora

A outra metade dos conhecimentos identificados, quatro, versa sobre os limites de validade do modelo adotado. No PaP-eRs P08, o professor ressalta que o modelo de balanço térmico adotado só é válido para um intervalo de tempo suficientemente pequeno, no qual a variação da taxa de transferência de calor por radiação e convecção sejam desprezíveis (c26.a08.KoT, transcrito no Quadro 37). A leitura do trecho mostra que o professor conhece a condição que limita a validade do modelo matemático adotado, equação (16), para estudo do sistema físico.

Quadro 37: Transcrição do trecho do conhecimento c26.a08.KoT

c26.a08.KoT
<p>Neste ponto cabe atentar para o fato de que a temperatura da interface sólida não é constante e, conseqüentemente, as taxas de transferência de calor por radiação e convecção variam ao longo do processo. Dessa forma, a equação (16) <u>só é válida para um intervalo de tempo suficientemente pequeno, durante o qual a variação dessas taxas seja desprezível.</u></p> <p style="text-align: right;">(GARCIA et al., 2017a, p. 4, grifo nosso)</p>

Fonte: Produção da própria autora

Nos oito conhecimentos relacionados a modelos classificados nesta subcategoria a presença de fator condicionante é clara de modo que a relação destes com a subcategoria “Quando pode ser feito?” seria adequada, não fosse o fato de esta estar inserida na categoria “Procedimentos”.

As condições estabelecidas estão relacionadas à adoção de modelos e aos limites de validade de modelos. A modelagem de Fenômenos Físicos não é um conteúdo procedimental, pois não se caracteriza como “um conjunto de ações ordenadas” (ZABALA, 1998). Sendo esta uma inadequação entre os conhecimentos identificados e o PTKS Transposto. Desta forma, entende-se que estes conhecimentos devem ser enquadrados na categoria que englobe a modelagem de sistemas físicos, que será apresentada na discussão da categoria “Fenomenologia e Aplicações”.

Em função desta inadequação, optou-se pela exclusão da subcategoria do “Quando pode ser feito?” da proposta do modelo PTKS.

4.2.3.6.1.3 Subcategoria: Por que se faz desta forma?

Nesta subcategoria não foram identificados conhecimentos nos PaP-eRs analisados durante a Fase 2. Porém há que se fazer uma reflexão quanto adequação desta subcategoria a natureza da Física.

A Física é a ciência que estuda a natureza (HAMBURGER, 1992), os Fenômenos Físicos são entendidos como a interação entre corpos (PIETROCOLA, 2002) e são regidos por Leis Físicas, que são entendidas como a relação matemática entre Grandezas Físicas que participam de um mesmo fenômeno (BONJORNO et al., 1992). Por sua vez Grandezas Físicas são números usados para descrever quantitativamente um Fenômeno Físico (YOUNG; FREEDMAN, 2008).

As definições acima mostram que há uma íntima relação entre o conhecimento conceitual da Física e o conhecimento procedimental, ou seja, o porquê dos procedimentos está na concepção das Leis Físicas, pois são estas que estabelecem as relações entre as Grandezas Físicas e estas relações são estabelecidas matematicamente.

Isto remete ao entendimento que a Matemática não deve ser entendida apenas como uma ferramenta da Física, mas sim como uma linguagem estruturante do pensamento físico, que empresta sua precisão, universalidade e lógica dedutiva ao pensamento científico para compor modelos sobre os sistemas físicos reais do mundo (PIETROCOLA, 2002).

Nesta perspectiva, conforme observado na Figura 8, a adequação de uma categoria relacionada ao “por que se faz desta forma?” parece questionável no âmbito da Física. A não identificação de conhecimentos nesta categoria reforça a aparente inadequação conceitual apontada na análise acima.

Desta forma opta-se pela exclusão desta subcategoria na proposta do PTSK.

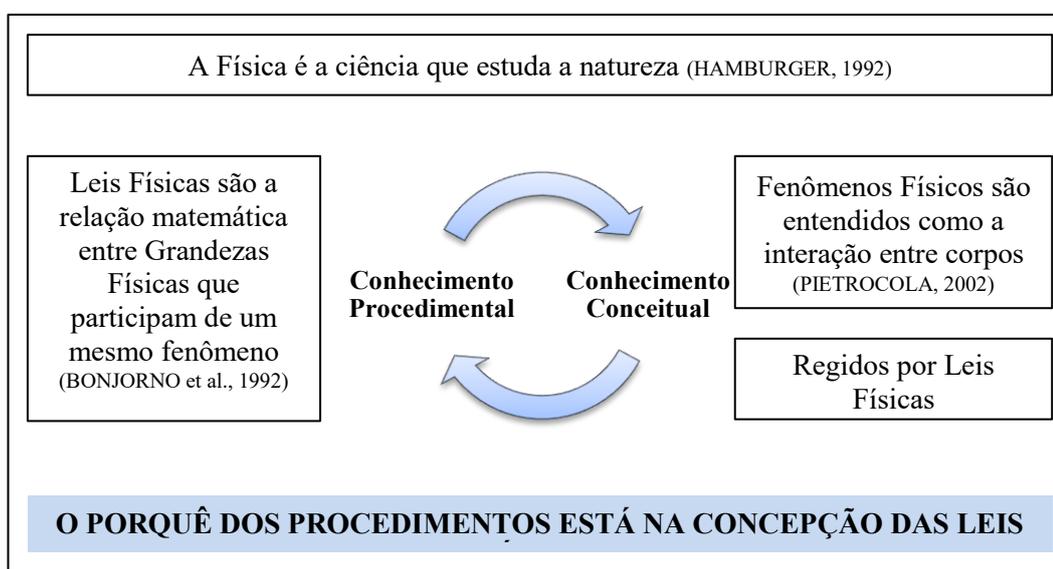


Figura 8: Síntese da análise da subcategoria: Por que se faz desta forma?

Fonte: Produção da própria autora

4.2.3.6.1.4 Subcategoria: Características dos resultados

Na subcategoria “Características dos resultados” foram identificados 9 conhecimentos, sendo 7 deles relacionados a atividades experimentais e 2 relacionados a modelos.

Foram identificados conhecimentos relativos às características dos resultados de atividade experimental, tais como as características da representação gráfica da

temperatura conforme o sistema de medição utilizado no experimento (c28.a07.KoT, transcrito no Quadro 38) e as características relativas ao prazo necessário para que se estabeleça o fluxo estacionário de calor em barras de metais diferentes (c25.a07.KoT).

No Quadro 38 tem-se a transcrição do trecho no qual se identificou o conhecimento c28.a07.KoT. Nele o professor destaca a diferença entre o gráfico gerado pelo experimento conduzido com termômetros, no qual a temperatura era monitorada a cada 2 minutos, e o gráfico produzido pelo uso de sensores que coleta as informações 8 vezes a cada segundo, sendo o primeiro representado por uma linha de tendência e o segundo pela união de pontos de monitoramento.

Quadro 38: Transcrição do trecho do conhecimento c28.a07.KoT

C28.a07.KoT
<p>Percebe-se que o comportamento das curvas no gráfico é bastante similar ao do experimento realizado com os termômetros. Um fator que precisa ser levado em consideração é que a curva traçada no gráfico anterior, onde se utilizou a planilha eletrônica de cálculo (Excel®, da Microsoft®), <u>trata-se de uma linha de tendência entre os pontos obtidos a partir dos dados coletados</u>. Já o aplicativo empregado para traçar o gráfico baseado nos valores coletados pelos sensores de <u>temperatura apenas une os pontos, e estes, por sua vez, são plotados oito vezes por segundo</u>.</p> <p style="text-align: right;">(ROSA et al., 2016, p. 4, grifo nosso)</p>

Fonte: Produção da própria autora

Também foram entendidos como características dos resultados conhecimentos que versam sobre as incertezas envolvidas em atividades experimentais. São exemplos destes conhecimentos, as incertezas decorrentes do método de coleta de dados e da precisão dos instrumentos utilizados para monitorar a variação de temperatura durante atividade experimental sobre transferência de calor (c21.a07.KoT), as incertezas sobre o modelo estabelecido devido às simplificações feitas para estudo do fenômeno de transferência de calor em atividade experimental (c26.a07.KoT) e as incertezas envolvidas na estimativa do valor do coeficiente de película em experimentos de transferência de calor (c10.a11.KoT; c06.a08.KoT, transcrito no Quadro 39).

Quadro 39: Transcrição do trecho do conhecimento c06.a08.KoT

c06.a08.KoT
A estimativa do valor do <u>coeficiente de película constitui o problema da convecção, pois h é um parâmetro empírico</u> , determinado através de correlações que envolvem, entre outros, os números adimensionais de Nusselt (Nnu), Reynolds (Nre) e Prandtl (Npr). Muitas dessas correlações são obtidas na literatura, devendo-se destacar que seu emprego é limitado a situações específicas e <u>o grau de precisão dos resultados obtidos poderá variar em função da geometria do sólido e das características do escoamento</u> [8].
(GARCIA et al., 2017a, p. 2, grifo nosso)

Fonte: Produção da própria autora

Ainda com relação às características dos resultados de atividade experimental, foram identificados conhecimentos relativos à avaliação da validade dos resultados obtidos, tais como a verificação de se os desvios constatados em experimento de transferência de calor são compatíveis com as incertezas na quantificação das propriedades termofísicas dos materiais envolvidos e nas estimativas de parâmetros do modelo propostos (c28.a08.KoT; c22.a11.KoT, transcrito no Quadro 40).

Quadro 40: Transcrição do trecho do conhecimento c22.a11.KoT

c22.a11.KoT
O desvio entre os valores teórico e experimental da taxa de transferência de calor é de 7,12%. Tal discrepância é significativamente pequena, considerando o grau de incerteza associado aos parâmetros utilizados para caracterizar o sistema físico real e o fato de que são empregadas equações empíricas no cálculo do coeficiente de película e do coeficiente convectivo de transferência de massa. Diante disso, admite-se que a metodologia utilizada, descrita pelo balanço térmico da equação (14), representa adequadamente o comportamento do sistema objeto de análise.
(GARCIA et al., 2017b, p. 6)

Fonte: Produção da própria autora

Percebe-se que os conhecimentos identificados estão relacionados a atividades experimentais e a avaliação da validade de modelos. A execução de atividades experimentais poderia ser entendida como conteúdo procedimental heurístico, porém nota-se que os conhecimentos descritos não tratam de ações ordenadas e sim de ponderações acerca das incertezas existentes no estudo, da previsibilidade de Fenômeno Físico e da variação de dados em função do tipo de instrumento de medição utilizado. Desta forma os conhecimentos relativos às atividades experimentais presentes nesta subcategoria não se referem a conteúdos

procedimentais. Assim como também não o são os conhecimentos referentes à modelagem de Fenômenos Físicos, conforme discutido no tópico da subcategoria “Quando pode ser feito?”.

Desta forma os conhecimentos identificados nesta subcategoria estão, aparentemente, inadequados à descrição da categoria “Procedimentos” do PTSK Transposto, portanto a subcategoria “Características do Resultado” será excluída da proposta do modelo PTSK. Os conhecimentos referentes à associação de modelos aos Fenômenos Físicos em estudo terão sua nova classificação discutida na análise da categoria “Fenomenologia e Aplicações”, deste modo agora o debate centra-se nos conhecimentos referentes à realização de atividades experimentais.

A Física enquanto ciência é caracterizada pela combinação do raciocínio teórico e da observação experimental (HAMBURGER, 1992). Desta forma o Conhecimento da Física deve abranger seus aspectos teóricos e experimentais. Em um primeiro momento ao avaliar o PTSK Transposto identifica-se a pesquisa científica e a estrutura de um experimento como conhecimentos do subdomínio KPP. Porém em uma análise mais aproximada percebe-se que a experimentação contida no KPP refere-se primordialmente à produção de novos conhecimentos físicos e não às práticas experimentais relacionadas a conteúdos já estudados, cujas Leis estão estabelecidas no aporte teórico da Física.

Independente do Fenômeno Físico objeto de estudo a observação experimental demanda uma cuidadosa preparação teórica e técnica, ambas orientadas por um planejamento com objetivos claramente estabelecidos (PRAIA; CACHAPUZ; GIL-PÉREZ, 2002). Estes requisitos também são necessários quando a experimentação é aplicada aos conteúdos já estabelecidos da Física. Na leitura dos trechos transcritos no Quadro 41³⁵, pode-se perceber a preparação teórica e técnica feita pelo professor no PaP-eRs P11, quando, ao preparar atividade experimental para estudo do fenômeno de troca de calor, ele opta pelo uso de uma placa de gelo em função da estabilidade na temperatura da interface sólida durante o processo de fusão (c23.a11.KoT), e pela facilidade com que as medições necessárias para o estudo podem ser feitas (c03.a11.KoT).

³⁵ Estes conhecimentos, apesar de já transcritos na análise do subdomínio KPT, foram apresentados novamente para comodidade do leitor.

Quadro 41: Transcrição dos trechos dos conhecimentos c03.a11.KoT e c23.a11.KoT

c03.a11.KoT
<p>[...] foi elaborado um experimento destinado ao estudo da transferência de calor e massa, no qual uma placa de gelo posicionada verticalmente sofre processo de fusão por exposição ao ar ambiente. A simplicidade do aparato empregado para a realização dos ensaios e a <u>facilidade na obtenção dos dados experimentais relativos à taxa de transferência de calor e massa</u> tornam o experimento descrito uma alternativa interessante [...]</p> <p style="text-align: right;">(GARCIA et al., 2017b, p. 2, grifo nosso)</p> <p>[...] uma placa de gelo que é suspensa verticalmente [...] Em consequência do derretimento contínuo dessa placa, haverá a presença de uma película de água que flui na interface sólida e produz gotejamento na extremidade inferior da placa, devendo o líquido assim produzido ser recolhido através de uma canaleta e conduzido para uma proveta. Durante o experimento, a cada minuto, devem ser feitas <u>medições do volume de líquido escoado nesse intervalo.</u></p> <p style="text-align: right;">(GARCIA et al., 2017b, p. 4, grifo nosso)</p> <p>[...] fica <u>dispensado o uso de termopares ou sensores de temperatura</u>, simplificando a execução dos ensaios.</p> <p style="text-align: right;">(GARCIA et al., 2017b, p. 6, grifo nosso)</p>
c23.a11.KoT
<p>A <u>utilização de uma placa de gelo</u> como superfície de troca térmica garante uma <u>estabilidade na temperatura da interface sólida</u>, diferentemente do que ocorre quando o objeto sólido absorve ou cede calor sensível. <u>Consequentemente, eventuais erros associados a incertezas na medição da temperatura da interface sólida são evitados;</u> e, além disso, fica dispensado o uso de termopares ou sensores de temperatura, simplificando a execução dos ensaios.</p> <p style="text-align: right;">(GARCIA et al., 2017b, p. 6, grifo nosso)</p>

Fonte: Produção da própria autora

Nesta perspectiva percebe-se que os conhecimentos referentes a atividades experimentais classificados na subcategoria “Características do Resultado” estão relacionados à preparação, técnica e teórica, exigida para realizar-se atividades experimentais, pois versam, respectivamente, sobre os instrumentos de medição e o aporte teórico da Física envolvidos no experimento.

Frente ao exposto parece necessária a inclusão dos conhecimentos relativos à experimentação de tópicos da Física, já estabelecidos, no modelo PTSK. Assim opta-se por inserir no subdomínio KoT uma categoria relativa aos conhecimentos envolvidos na realização de atividades experimentais, que envolvam conteúdos já consagrados na Física, com fins didáticos ou não. A esta categoria deu-se o título “Experimentação”.

4.2.3.6.2 Categoria: Definições, Propriedades e seus Fundamentos

Foram identificados 52 conhecimentos classificados na categoria “Definições, Propriedades e seus Fundamentos”, estes representam aproximadamente 35% de todos os conhecimentos identificados no subdomínio KoT.

Estes conhecimentos estão relacionados a conceitos tais como: campo magnético uniforme (c06.a03.KoT), tensão elétrica (c03.a06.KoT), campo elétrico (c12.a06.KoT), onda eletromagnética (c14.a06.KoT, transcritos no Quadro 42), capacitância (c31.a06.KoT), fluxo de calor (c07.a07.KoT) e corpo negro (c15.a08.KoT, transcritos no Quadro 42).

Quadro 42: Transcrição dos trechos dos conhecimentos c14.a06.KoT e c15.a08.KoT

c14.a06.KoT
<p>Atividades desenvolvidas e assuntos abordados: [...] Características das ondas eletromagnéticas</p> <p style="text-align: right;">(BRUSCATO, 2011, p. 32)</p> <p>A maior consequência destas ideias é a existência de ondas eletromagnéticas, que podem ser obtidas, por exemplo, alimentando-se as espiras de um eletroímã com uma fonte de corrente alternada. Nestas espiras surgirá um campo magnético oscilante, variando seu módulo e sentido no decorrer do tempo. Como há variação do campo magnético, aparecerá nas proximidades do eletroímã um campo elétrico induzido. Este campo, também variando no tempo, dará origem a um campo magnético induzido, e assim sucessivamente. Então devemos ter a propagação pelo espaço de uma sucessão de campos induzidos, variáveis, elétricos e magnéticos, que se irradiam em todas as direções.</p> <p>Maxwell deduziu, pelas suas equações, que esta perturbação eletromagnética, ao se propagar pelo espaço, deveria apresentar características de um movimento ondulatório, podendo, portanto, sofrer reflexão, refração, difração e interferência, como qualquer onda.</p> <p><u>A esta perturbação, que é uma sequência de campos elétricos e magnéticos propagando-se no espaço, damos o nome de onda eletromagnética.</u></p> <p style="text-align: right;">(BRUSCATO, 2011, p. 103, grifo nosso)</p>
c15.a08.KoT
<p>O corpo que, a uma dada temperatura, emite a máxima radiação possível é conceituado como corpo negro;</p> <p style="text-align: right;">(GARCIA et al., 2017a, p. 3)</p>

Fonte: Produção da própria autora

Também foram identificados conhecimentos relativos aos Fenômenos Físicos e sua descrição quantitativa, as Grandezas Físicas. São exemplos conhecimentos relativos à velocidade (c08.a06.KoT), a intensidade de corrente elétrica (c41.a06.KoT), a indução eletromagnética (c26.a03.KoT, transcrito no Quadro 43) e a transferência de calor por condução (c04.a07.KoT, transcrito no Quadro 43), por

convecção (c08.a08.KoT) e por radiação (c13.a08.KoT). No Quadro 43 estão transcritos dois exemplos de conhecimentos relacionados a fenômenos e Grandezas Físicas, no total foram identificados 18 conhecimentos com esta característica.

Quadro 43: Transcrição dos trechos dos conhecimentos c26.a03.KoT e c04.a07.KoT

c26.a03.KoT
<p>Iniciamos o encontro com uma breve abordagem histórica sobre indução eletromagnética [...]</p> <p style="text-align: right;">(OLIVEIRA, 2012, p. 75)</p> <p>Após Oersted descobrir que corrente elétrica gera campo magnético, os cientistas passaram a se questionar se o inverso seria possível, ou seja, se campo magnético poderia gerar corrente elétrica. Em 1831, Michael Faraday descobriu que esse fenômeno era possível. Ele conseguiu estabelecer corrente elétrica em um condutor com a variação do campo magnético através de sua superfície.</p> <p>[...]</p> <p><u>Quanto mais rápida for a aproximação ou o afastamento entre ímã e espira, mais intensidade de corrente elétrica é gerada. Esse fenômeno é chamado de indução eletromagnética [...]</u></p> <p style="text-align: right;">(OLIVEIRA, 2012, p. 130, grifo nosso)</p>
c04.a07.KoT
<p><u>A condução de calor ocorre pela transmissão de energia térmica por meio de impactos entre as moléculas de um corpo, sem que haja um deslocamento apreciável dessas moléculas ao longo do corpo. A condução térmica que ocorre dessa forma não se mostra tão significativa como a que ocorre pelo deslocamento de elétrons de um átomo para outro ao longo do material. Esse fenômeno ocorre uma vez que, em alguns átomos, os elétrons não estão tão fortemente ligados ao núcleo, dos quais, em decorrência disso, podem se desprender, deslocando-se para átomos vizinhos e transportando, assim, energia térmica ao longo do material. A esse fenômeno chama-se “condução térmica”. Esses elétrons, denominados “elétrons livres”, são os principais responsáveis para que um material seja considerado um bom ou mau condutor de calor, assim como um bom ou mau condutor de eletricidade, respectivamente.</u></p> <p style="text-align: right;">(ROSA et al., 2016, p. 4, grifo nosso)</p>

Fonte: Produção da própria autora

Os conhecimentos referentes às Leis Físicas identificados representaram aproximadamente 15% dos conhecimentos da categoria “Definições, Propriedades e seus Fundamentos”. Como exemplos tem-se o conhecimento da Lei de Faraday (c28.a03.KoT), Lei de Coulomb (c20.a06.KoT), Lei de Lenz (c32.a03.KoT), Lei de Resfriamento de Newton (c02.a08.KoT; c08.a11.KoT, transcrito no Quadro 44), Lei de Stefan-Boltzmann (c19.a08.KoT) e Lei de Gauss (c11.a13.KoT). No Quadro 44 está transcrito um exemplo de conhecimento relacionado a Leis Físicas, no total foram identificados 8 conhecimentos com esta característica.

Quadro 44: Transcrição do trecho do conhecimento c08.a11.KoT**c08.a11.KoT**

A lei de resfriamento de Newton nos diz que a taxa de transferência de calor q numa interface sólida é diretamente proporcional ao produto da área A dessa interface pela diferença de temperatura entre o fluido e a parede do sólido nele imerso, sendo o coeficiente de película h a constante de proporcionalidade, conforme explicitado na equação (1):

$$q = hA(T_s - T_\infty) \quad (1)$$

Nessa equação as temperaturas da superfície do sólido e do fluido circundante são admitidas como sendo constantes e iguais a T_s e T_∞ , respectivamente.

(GARCIA et al., 2017b, p. 2)

Fonte: Produção da própria autora

Também foram classificados nesta categoria os conhecimentos de propriedades físicas dos materiais tais como a resistência elétrica (c42.a06.KoT); a condutividade térmica (c22.a07.KoT) e a emissividade (c17.a08.KoT; c16.a11.KoT). Foram identificados 8 conhecimentos relativos a propriedades físicas dos materiais.

Nesta categoria percebe-se a concentração do aporte teórico da Física, porém a nomenclatura adotada em seu título e sua descrição no PTSK Transposto não parecem representar adequadamente os pilares do conhecimento físico identificado nos PaP-eRs. Na descrição do PTSK Transposto tem-se que: A categoria “Definições, Propriedade e seus Fundamentos” engloba as características que definem um objeto de estudo, as propriedades atribuíveis a este objeto e o embasamento desta definição.

O objeto de estudo da Física são os Fenômenos Físicos, a interação entre corpos. Os Fenômenos Físicos são representados quantitativamente por Grandezas Físicas e relacionados matematicamente por Leis Físicas. Assim entende-se que a definição do objeto de estudo da Física, que é o Fenômeno Físico, é feita pelas Grandezas Físicas que o representam e pelas Leis Físicas o relaciona com os demais Fenômenos Físicos. Desta forma crê-se que o uso das palavras “Leis”, “Fenômenos” e “Grandezas” representariam melhor o aporte teórico da Física do que a palavra “Definições”.

De modo similar tem-se que as propriedades atribuíveis ao Fenômeno Físico, que é o objeto de estudo da Física, podem ser relacionadas às causas e aos efeitos da interação entre os corpos, que consiste no estudo do próprio Fenômeno Físico. Soma-

se a este argumento a questão abordada ainda na Fase 1 da pesquisa, o termo “propriedade” no âmbito da Física é usado mais comumente para referir-se a propriedade física dos materiais, tais como condutividade elétrica e elasticidade. Desta forma não se julga adequado o uso da palavra “Propriedades” título da categoria.

O termo “Fundamentos” refere-se ao embasamento das definições, como se refutou a adequação do uso da palavra “Definições”, conforme argumentação acima, o uso do termo “Fundamentos” no título da categoria é refutado por associação. Porém percebe-se que toda ciência tem um embasamento para sustentação de suas teorias. Na Física a descrição de fenômenos, grandezas e leis é embasada em conceitos que “são ideias estabilizadas pelo uso [...], todavia esses conceitos sozinhos nada podem e só ganham sentido quando vinculados uns aos outros” (PIETROCOLA, 2002, p. 104). Desta forma considera-se adequado o uso da palavra “Conceitos” para representar a base de sustentação para estudo das “Leis” e “Fenômenos” na Física.

Assim, conforme representado na Figura 9, optou-se por intitular a categoria que representará o aporte teórico da Física como “Leis, Fenômenos e Conceitos”. As Grandezas Físicas não constam do título da categoria por serem a representação quantitativa dos Fenômenos Físicos, que já integram a nomenclatura adotada.

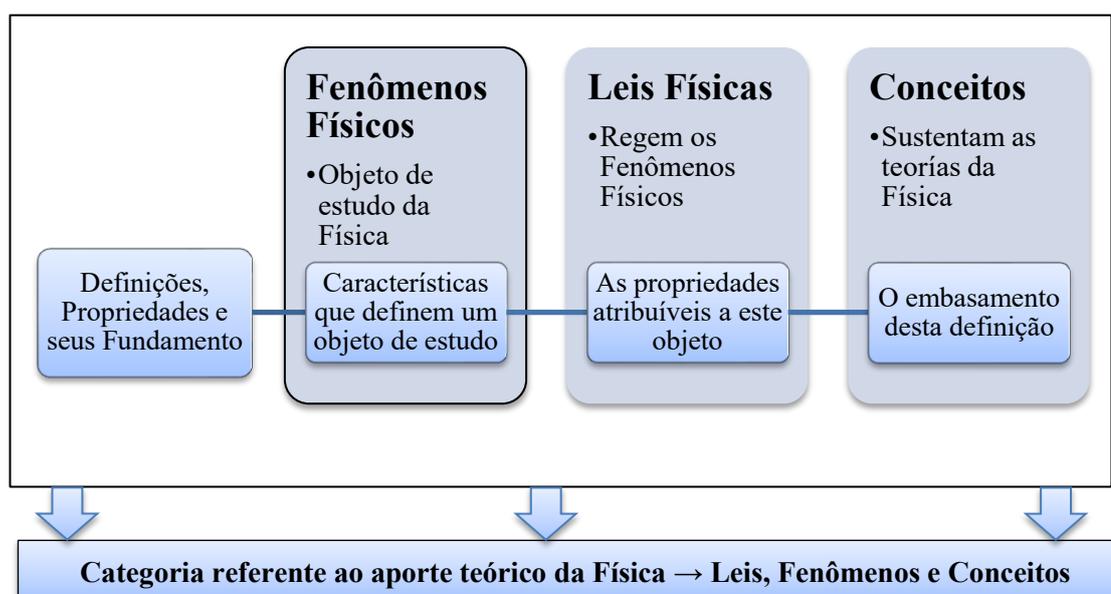


Figura 9: Síntese da análise da categoria: Definições, Propriedades e seus Fundamentos

Fonte: Produção da própria autora

4.2.3.6.3 Categoria: Registros e Representações

Na categoria de “Registros e Representações” foram identificados 20 conhecimentos. A representação de menor participação foi a descritiva, que sempre foi acompanhada de outra forma de representação. Conhecimentos da representação descritiva foram evidenciados no enunciado da Lei de Resfriamento de Newton (c04.a08.KoT; c07.a11.KoT), que foi acompanhada por sua representação algébrica, e na descrição de modelo proposto para estudo de questão proposta pelo aluno (c07.a15.KoT, transcrito no Quadro 45), que foi acompanhada pela representação pictográfica deste modelo, o trecho deste conhecimento está no Quadro 45.

Quadro 45: Transcrição do trecho do conhecimento c07.a15.KoT

c07.a15.KoT

A figura 1 representa um esquema da situação questionada. Na imagem, a Terra é considerada um planeta esférico de raio r e período de rotação T , cujo centro é o ponto O . Na figura, o sentido dessa rotação é horário. A tangente que toca o círculo no ponto P representa a trajetória dos raios de luz que, vindo do Sol, são captados pelo observador no ponto Q , que se encontra no elevador panorâmico à altura h em relação ao solo. Os segmentos de reta OP e OQ formam um ângulo θ entre si, o qual é dependente do tempo. Por simplicidade, o efeito de translação do planeta ao redor do Sol é desconsiderado (ou seja, a posição do Sol é assumida como fixa em relação ao centro da Terra), assim como o desvio que a luz solar sofre devido à refração na atmosfera ou nas paredes do elevador. Assume-se ainda que o ponto inicial de movimento do elevador é o ponto P e, portanto, nesse ponto, o observador deveria estar com os olhos ao nível do chão quando o pôr do sol é inicialmente visto (ou seja, origem dos tempos: $t = 0$).

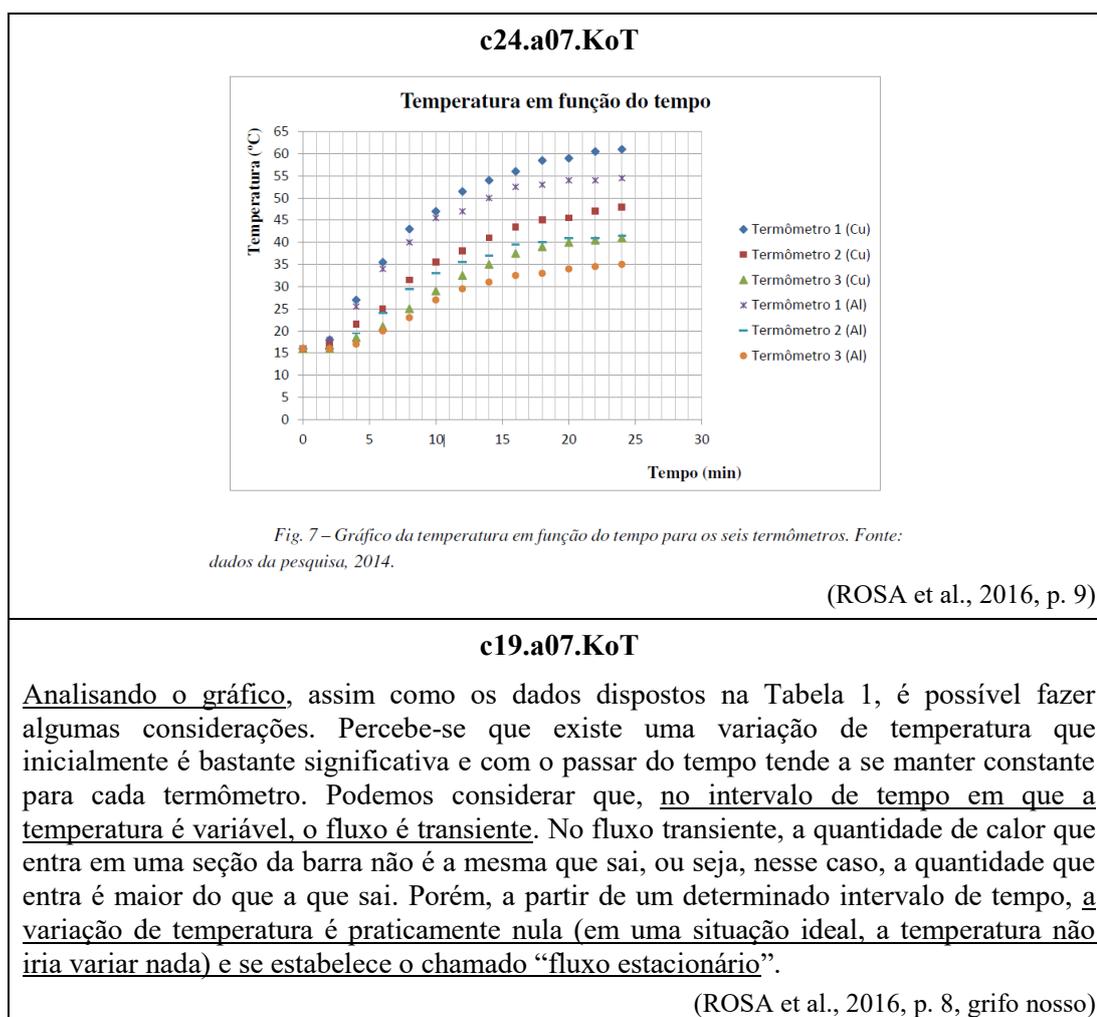
Figura 1: Representação esquemática da situação.

(RIBEIRO, 2017, p. 2)

Fonte: Produção da própria autora

A representação de segunda maior participação nos conhecimentos evidenciados foi a gráfica que incluiu conhecimentos sobre a representação gráfica do fluxo de calor (c24.a07.KoT, transcrito no Quadro 46) e da velocidade x tempo (c12.a15.KoT). O conhecimento da interpretação de gráficos também foi incluso nesta categoria, um exemplo é encontrado no PaP-eRs P07, no qual durante experimento sobre a transmissão de calor o professor descreve que no gráfico Temperatura x Tempo considera-se que o tempo no qual a temperatura é variável o fluxo de calor é transiente (c19.a07.KoT, transcrito no Quadro 46). No Quadro 46 constam os trechos do PaP-eRs P07, nos quais o professor apresenta a representação gráfica do fluxo de calor e a interpretação desta representação.

Quadro 46: Transcrição dos trechos dos conhecimentos c24.a07.KoT e c19.a07.KoT



Fonte: Produção da própria autora

A representação algébrica foi predominante nesta categoria, estando presente em mais de 50% dos conhecimentos identificados. São exemplos dos conhecimentos identificados a representação algébrica da Lei de Faraday (c29.a03.KoT), da Lei de Coulomb (c21.a06.KoT) e da Lei de Stefan-Boltzmann (c18.a08.KoT; c14.a11.KoT).

Nesta categoria notou-se bastante aderência entre os conhecimentos identificados e a descrição feita no PTSK Transposto. A única questão que se apresenta é o fato de não terem sido identificados conhecimentos relativos às notações e ao vocabulário adequado.

Esta ausência pode ter sua origem no fato dos PaP-eRs selecionados serem publicações científicas e desta forma não abordarem aspectos mais básicos do conhecimento da Física como registros, notações e vocabulários. Porém entende-se que a manutenção do termo “Registros” no título da categoria é pertinente, pois representa um tipo de conhecimento importante para os professores de Física.

Um exemplo deste tipo de conhecimento é a notação adotada para grandezas vetoriais, no Quadro 47 tem-se a trecho de um livro didático no qual o autor explica a adequada notação destas grandezas. Outros exemplos simples deste tipo de conhecimento são a adoção da letra “v” para representar a velocidade e a letra “t” para representar o tempo.

Quadro 47: Transcrição de trecho de livro didático relacionado ao registro de grandeza vetorial

Para indicar apenas o módulo do vetor (uma grandeza positiva e sem direção) usamos o símbolo do vetor em itálico sem a seta, como a , b e s (Você pode usar simplesmente um símbolo manuscrito) Uma seta sobre um símbolo indica que a grandeza representada pelo símbolo possui as propriedades de um vetor: módulo e orientação.

(HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009)

Fonte: Produção da própria autora

Frente aos argumentos apresentados acredita-se que há adequação entre a categoria “Registros e Representações” do PTSK Transposto e os conhecimentos identificados durante a Fase 2, portanto a categoria será mantida sem alterações significativas na proposta do modelo PTSK.

4.2.3.6.4 Categoria: Fenomenologia e Aplicações

Na categoria “Fenomenologia e Aplicações” foram identificados 38 conhecimentos, dos quais 28 referem-se a aplicações técnicas dos conteúdos da Física, estando estes alinhados com o descritivo da categoria no PTSK Transposto. São exemplos destes conhecimentos: o uso combinado do campo magnético de um solenoide e um material ferromagnético, eletroímã, no transporte de sucatas de ferro, disjuntores, amplificadores e caixas de som (c13.a03.KoT, transcrito no Quadro 48), o impacto da diferença de potencial elétrico no funcionamento de eletrodomésticos (c24.a06.KoT, transcrito no Quadro 48) e da transferência de calor entre a interface de um corpo sólido e um fluido circundante em projetos de máquinas térmicas e trocadores de calor (c05.a08.KoT, transcrito no Quadro 48).

Quadro 48: Transcrição dos trechos dos conhecimentos c13.a03.KoT, c24.a06.KoT e c05.a08.KoT

c13.a03.KoT
<p>Se no interior de um solenoide for inserido um material ferromagnético [...], constitui-se um eletroímã, e o campo magnético gerado torna-se bem maior. <u>Um eletroímã é bastante utilizado para o transporte e seleção de sucatas de ferro, em disjuntores, amplificadores de música, caixas de som, fechaduras magnéticas, campainhas elétricas, etc.</u></p> <p style="text-align: right;">(OLIVEIRA, 2012, p. 110, grifo nosso)</p>
c24.a06.KoT
<p>Atividades desenvolvidas e assuntos abordados: [...] Análise da diferença de potencial da rede de energia elétrica residencial na capital e no interior.</p> <p style="text-align: right;">(BRUSCATO, 2011, p. 34)</p> <p>POTENCIAL ELÉTRICO</p> <p>[...]</p> <p>Na descrição da energia potencial elétrica usamos um conceito chamado de potencial elétrico, ou mais simplesmente como potencial. Ao se trabalhar com circuitos elétricos ou eletrônicos, a diferença de potencial entre dois pontos é chamada de tensão.</p> <p><u>O conhecimento da tensão de funcionamento dos mais variados equipamentos, tais como lâmpadas, geladeiras, televisores, rádios, é fundamental para sua utilização. No estado do Rio Grande do Sul, normalmente, a tensão da energia elétrica nas residências é de 127 volts na capital e de 220 volts no interior.</u></p> <p style="text-align: right;">(BRUSCATO, 2011, p. 100, grifo nosso)</p>
c05.a08.KoT
<p>A transferência de calor na interface que delimita um corpo sólido e um fluido circundante é um fenômeno cuja quantificação é fundamental <u>no projeto de caldeiras, máquinas térmicas, trocadores de calor e diversos outros equipamentos industriais.</u></p> <p style="text-align: right;">(GARCIA et al., 2017a, p. 2, grifo nosso)</p>

Fonte: Produção da própria autora

No âmbito dos modelos atribuíveis a um tema da Física, chamado de fenomenologia na descrição da categoria, identificaram-se conhecimentos a cerca de como definir modelos para simplificar sistemas físicos reais para análise, em todos os casos identificados estes estavam associados à realização de atividades experimentais. Um exemplo deste tipo de conhecimento é o modelo definido pelo professor no PaP-eRs P11, que considerou apenas uma forma de transferência de calor no experimento de fusão de uma placa de gelo, ao invés de todos os três fenômenos presentes em situações reais (c05.a11KoT, transcrito no Quadro 49).

Do mesmo modo foi identificada simplificação de modelo matemático no PaP-eRs P09. Neste episódio de ensino o professor considera retilínea a trajetória de um elevador em relação a um observador externo ao sistema solar, apesar desta ser de fato curva (c09.a15.KoT, transcrito no Quadro 49).

Quadro 49: Transcrição dos trechos dos conhecimentos c05.a11.KoT e c09.a15.KoT

c05.a11.KoT
Cabe aqui ressaltar que, em sistemas físicos reais, os três mecanismos de transferência de calor estão presentes; e, conseqüentemente, o calor transferido é resultado da soma das contribuições correspondentes a cada um deles [6]. Em algumas situações práticas, a predominância de um dos mecanismos permite desprezar a contribuição dos outros dois modos de transferência de calor;
(GARCIA et al., 2017b, p. 2)
c09.a15.KoT
Isso faz com que a trajetória do elevador possa ser considerada retilínea (fig.1) em relação a um observador externo ao sistema. O arco de comprimento $(r + h)$ d pode ser aproximado por uma reta, pois o ângulo d é pequeno.
(RIBEIRO, 2017, p. 2)

Fonte: Produção da própria autora

Nos 10 conhecimentos relacionados ao uso de modelos identificados na categoria “Fenomenologia e Aplicações” a palavra modelo representa “uma versão simplificada de um sistema físico que seria complicado demais analisar com detalhes completos” (YOUNG; FREEDMAN, 2008, p. 3), enquanto no âmbito da Física a palavra fenomenologia está ligada ao estudo de fenômenos, o que abrange toda a área de estudo da Física.

Desta forma a acuidade do termo “fenomenologia” usado na descrição da categoria deve ser avaliada, pois apesar da categoria ter mantido sua coerência interna, em seu caráter bivalente, a terminologia usada mostra-se inadequada, conforme apresentado na Figura 10. Desta forma opta-se pelo uso da palavra “Modelos” para representar, de modo direto e intuitivo, os conhecimentos englobados por esta categoria.

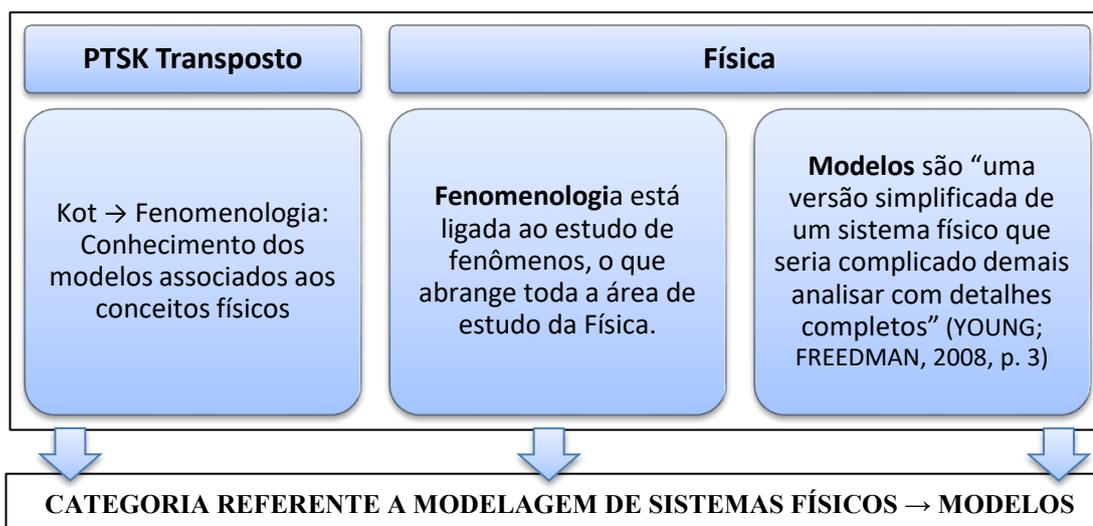


Figura 10: Síntese da análise da categoria: Fenomenologia e Aplicações

Fonte: Produção da própria autora

A esta nova categoria foram incorporados 8 conhecimentos oriundos da categoria “Quando pode ser feito?” referentes às condições necessárias para que o modelo adotado seja válido (c06.a11.KoT, transcrito no Quadro 35, p. 84; c23.a08.KoT; c25.a08.KoT, transcrito no Quadro 36, p. 85; c27.a08.KoT) e aos limites de validade do modelo adotado (c10.a13.KoT; c14.a15.KoT; c22.a08.KoT; c26.a08.KoT, transcrito no Quadro 37, p. 85).

Também foram incluídos na categoria “Modelos” 2 conhecimentos anteriormente classificados na categoria “Características dos resultado” referentes à avaliação da validade do modelo adotado (c28.a08.KoT; c22.a11.KoT, transcrito no Quadro 40, p. 89). A origem dos conhecimentos que incorporaram a categoria “Modelos” está representada na Figura 11.

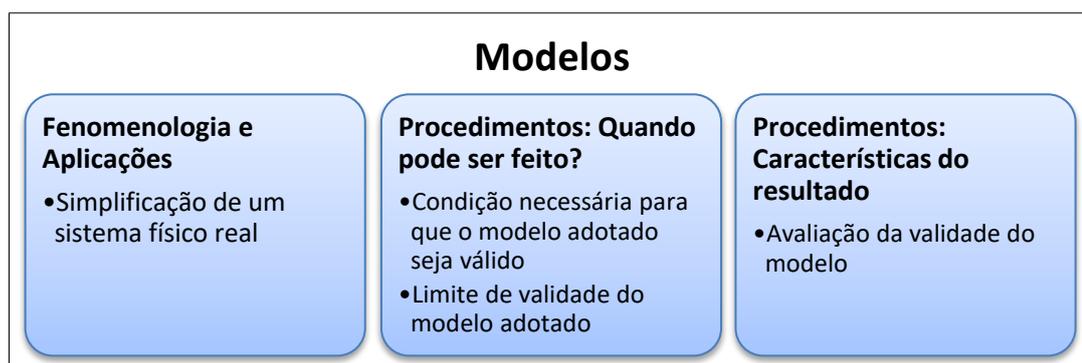


Figura 11: Categorias originais (PTSK Transposto) dos conhecimentos referentes à modelagem de sistemas físicos

Fonte: Produção da própria autora

Durante a reorganização dos conhecimentos percebeu-se que muitos conhecimentos relacionados aos modelos estão relacionados também às atividades experimentais e foi considerada a união das duas categorias. No entanto esta possibilidade foi descartada, pois nem sempre que um modelo for estabelecido haverá necessariamente a realização de uma atividade experimental, como é o caso da modelagem feita pelo professor no PaP-eRs P15, no qual foram identificados 5 conhecimentos referentes à modelagem de sistemas físicos (c02.a15.KoT; c06.a15.KoT; c08.a15.KoT; c09.a15.KoT, transcrito no Quadro 49; c14.a15.KoT).

Outra consideração feita refere-se à manutenção ou não em uma única categoria dos conhecimentos referentes aos “Modelos” e às “Aplicações”, devido natureza distinta destes conhecimentos. Devido à importância dos modelos na Física optou-se por separar a categoria original em duas intituladas respectivamente “Modelos” e “Aplicações” na proposta do modelo PTSK.

4.2.3.6.5 Análise da adequação entre as categorias do KoT do PTSK Transposto e os conhecimentos identificados

Ao término da análise das categorias do subdomínio KoT emergiram 6 categorias “Leis, Fenômenos e Conceitos”; “Linguagem matemática”; “Registros e Representações”; “Modelos”; “Experimentação”; e “Aplicações”. Algumas destas categorias têm uma relação direta com categorias do PTSK Transposto, outras foram compostas por conhecimentos provenientes de mais de uma categoria inicial. A Tabela 6 mostra a contribuição das categorias iniciais na composição das categorias finais do subdomínio KoT.

Percebe-se que as categorias “Leis, Fenômenos e Conceitos”; “Linguagem matemática”; “Registros e Representações”; e “Aplicações” tem basicamente uma relação direta com categorias originais do PTSK Transposto tendo sido feitas apenas adequações de nomenclatura em sua definição, ou nem isso no caso da penúltima citada.

As categorias “Modelos” e “Experimentação” são as que recebem contribuições significativas de mais de uma categoria original, pois não há similaridade entre elas e as categorias do PTSK Transposto. Estas categorias emergiram durante a análise dos episódios de ensino e estão intimamente relacionadas à natureza da Física, o que era esperado, pois o PTSK Transposto baseava-se em um modelo configurado para a Matemática.

Tabela 6: Contribuição das categorias iniciais para composição das categorias finais do subdomínio KoT

Categoria Final / Categoria Inicial	Percentual
Leis, Fenômenos e Conceitos	
Definições, Propriedades e seus fundamentos	98%
Procedimentos: Quando pode ser feito?	2%
Linguagem matemática	
Procedimentos: Como fazer?	100%
Registros e Representações	
Registros e Representações	100%
Modelos	
Fenomenologia e aplicações	50%
Procedimentos: Características do resultado	10%
Procedimentos: Quando pode ser feito?	40%
Experimentação	
Estratégias, técnicas, tarefas (atividades) e exemplos (Provenientes do KPT)	22%
Procedimentos: Características do resultado	78%
Aplicações	
Fenomenologia e aplicações	100%

Fonte: Produção da própria autora

A distribuição dos conhecimentos identificados nas novas categorias do subdomínio KoT encontra-se na Figura 12, percebe-se maior concentração no aporte teórico da Física, a importância da Matemática é confirmada pela participação de 15% desta categoria nos conhecimentos identificados, assim como a necessidade de adaptação no modelo é reforçada pelo fato de quase 20% dos conhecimentos estarem inclusos nas novas categorias estabelecidas.

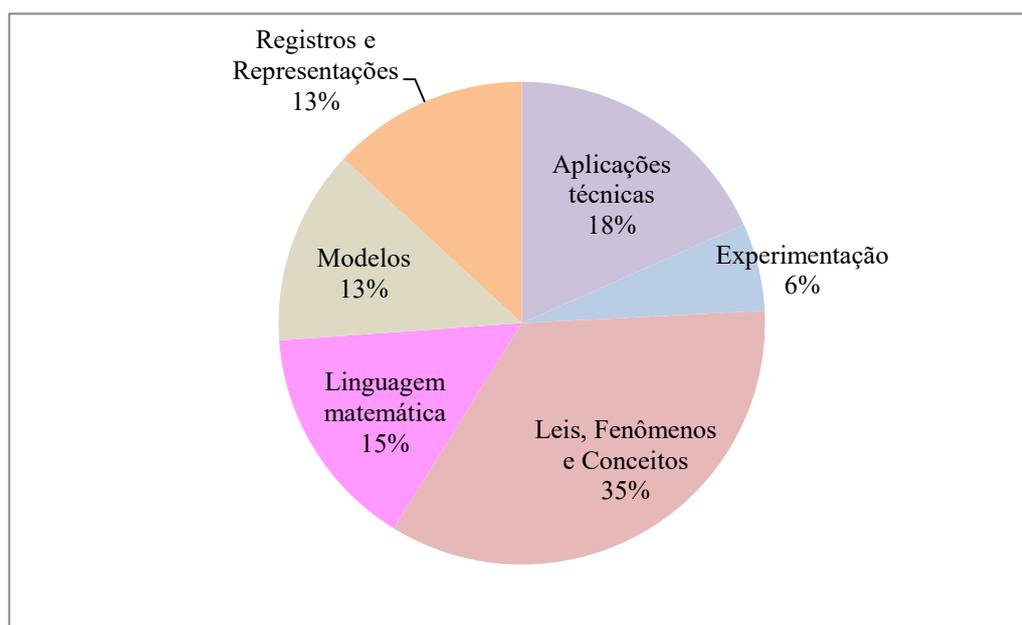


Figura 12: Distribuição dos conhecimentos do subdomínio KoT

Fonte: Produção da própria autora

Os 153 conhecimentos identificados no subdomínio KoT foram organizados conforme o foco central de cada deles e organizados nas novas categorias, o resultado desta classificação encontra-se na Tabela 7. Na Fase 3 da pesquisa estes descritores foram confrontados com a descrição do subdomínio e suas categorias no PTSK Transposto para construção da proposta do modelo PTSK na Fase 3 da pesquisa.

Tabela 7: Foco central dos conhecimentos em cada categoria do subdomínio KoT

Foco central do conhecimento	Quantidade
Leis, Fenômenos e Conceitos	53
Conceito	18
Fenômeno Físico	13
Lei Física	8
Propriedade dos materiais	8

Grandeza Física	5
Condição necessária para ocorrência de Fenômeno Físico	1
Linguagem matemática	23
Equação para calcular Grandeza Física	19
Como determinar a direção de Grandeza Física vetorial	2
Como calcular	1
Dedução da equação	1
Registros e Representações	20
Representação algébrica	9
Representação gráfica	5
Interpretação da representação gráfica	3
Representação descritiva associada à Representação algébrica	2
Representação descritiva associada à Representação pictográfica	1
Modelos	20
Condição necessária para que o modelo adotado seja válido	4
Limites de validade do modelo adotado	4
Definição de modelo para estudo de fenômeno	2
Avaliação da validade de modelo adotado	2
Fator que influencia no modelo adotado em atividade experimental	2
Definição de modelo para estudo da atividade experimental	1
Fator que influencia no modelo matemático adotado em atividade experimental	1
Simplificações feitas no modelo matemático adotado para estudo de fenômeno	1
Simplificações feitas no modelo adotado em atividade experimental	1
Tipo de modelo matemático para estudo de fenômenos periódicos (funções trigonométricas)	1
Simplificações feitas no modelo adotado para estudo de fenômeno	1
Experimentação	9
Comportamento esperado do Fenômeno Físico em função das características dos corpos envolvidos na atividade experimental	3
Incertezas associadas aos dispositivos e métodos de medição dos dados em atividade experimental	2
Incertezas associadas aos parâmetros físicos utilizados no modelo matemático de atividades experimentais	2
Incertezas associadas às simplificações feitas no modelo adotado em atividade experimental	1
Características dos dados obtidos em atividade experimental em função dos instrumentos de medição utilizados	1
Aplicações	28
Aplicação técnica	28
Total	153

Fonte: Produção da própria autora

4.2.3.7 Crenças dos Professores sobre Física e sobre o Ensino e Aprendizagem de Física

Apenas um conhecimento foi identificado como crença nos 18 PaP-eRs analisados, credita-se este fato ao caráter científico das publicações analisadas, que tendem a não apresentar posições pessoais dos professores/autores. No PaP-eRs P15 o professor apresenta o tratamento dado a um problema proposto por um aluno, durante uma aula de Ótica, que levou ao debate de tópicos da Mecânica Clássica (c04.a15.BLV, transcrito no Quadro 50) e mostra a crença que este tipo de intervenção dos alunos, segundo sua visão, contribui com o desenvolvimento do conteúdo por ser uma fonte de motivação e curiosidade dos estudantes.

Quadro 50: Transcrição do trecho do conhecimento c04.a15.BLV

c04.a15.BLV
<p>Cabe ressaltar ainda que, de acordo com a revisão bibliográfica produzida por Krasilchik [3], o papel das perguntas em sala de aula é um frequente tema de investigação entre mestrandos e doutorandos em ensino de ciências. Assim, esperamos que o artigo possa apresentar alguma contribuição para pesquisadores da área, por ter se originado a partir de um questionamento oriundo de uma situação didática tradicional e se <u>afastar da triste ideia de que um questionamento de aluno que leve a uma digressão do assunto discutido possa atrapalhar a aula ou o raciocínio do professor. Ao contrário, vemos tais questionamentos como fontes férteis de motivação e curiosidade.</u></p> <p style="text-align: right;">(RIBEIRO, 2017, p. 2, grifo nosso)</p>

Fonte: Produção da própria autora

Apesar da identificação de uma única crença, opta-se por sua manutenção na proposta do modelo PTSK, pois se entende que, assim como as observações de uma pesquisa são influenciadas pelas concepções do pesquisador, sobre o processo e objeto da pesquisa (MOREIRA,1993), também a prática educativa é impactada pelas concepções dos professores acerca do processo de ensino e aprendizagem e da disciplina e seus conteúdos.

4.2.4 Discussão Geral dos Resultados da Fase 2

Após as análises conduzidas, os 346 conhecimentos identificados foram classificados nos subdomínios do PTSK, que foram todos mantidos conforme o modelo inicial, pois não houve necessidade de ajustes segundo as observações desta pesquisa. O resultado desta classificação encontra-se na Tabela 8. Observa-se que os subdomínios KPT e KoT concentram mais de 83% dos conhecimentos identificados, como a análise mais aprofundada da pesquisa estava focada no subdomínio KoT,

para análise da adequação de suas categorias, acredita-se que esta distribuição adequou-se as necessidades da pesquisa.

Tabela 8: Distribuição dos conhecimentos identificados nos PaP-eRs nos subdomínios do PTSK

Domínios e Subdomínios	Quantidade
Crença sobre Física e sobre o Ensino e Aprendizagem de Física	
Crença do professor sobre o ensino e aprendizagem da Física	1
PCK -Conhecimento didático do conteúdo	
KPT - Conhecimento do Ensino de Física	135
KFLP - Conhecimento das Características da Aprendizagem de Física	33
KPLS - Conhecimento dos Parâmetros da Aprendizagem de Física	16
PK - Conhecimento de Física	
KoT - Conhecimento dos tópicos	153
KSP - Conhecimento da Estrutura da Física	7
KPP - Conhecimento da Prática da Física	1
Total	346

Fonte: Produção da própria autora

Os subdomínios KFLP, KPLS e KSP, apesar do menor volume de conhecimentos, passaram por um processo de análise satisfatório de sua adequação a Física e seus conteúdos, atendendo ao caráter exploratório desta pesquisa.

Apenas o subdomínio KPP e as Crenças dos Professores sobre Física e sobre o Ensino e Aprendizagem de Física não puderam ser analisados com maior embasamento devido à presença de um único conhecimento para cada. Por entender que a não identificação destes conhecimentos está relacionada ao processo de seleção dos episódios de ensino, ou seja o uso de publicações científicas, optou-se por não ampliar o número de PaP-eRs na tentativa de identificar-se mais conhecimentos no subdomínio KPP e referente às crenças dos professores, ficando estes temas como sugestão para futuros estudos.

4.3 CONHECIMENTO ESPECIALIZADO DE PROFESSORES DE FÍSICA: PROPOSTA DE MODELO TEÓRICO

O modelo PTSK proposto representa a conjugação do PTSK Transposto com os resultados das observações feitas com a análise dos episódios de ensino, que proporcionaram a incorporação dos aspectos especializados dos conhecimentos

necessários aos professores de Física para ensino da disciplina. Os subdomínios do modelo são apresentados em sentido horário iniciando-se pelo KFLP.

A estrutura básica do PTSK proposto não apresentou alterações com relação ao modelo inicial e está representado na Figura 13. O modelo é composto por dois domínios, cada qual com três subdomínios e em seu centro estão as crenças dos professores que permeiam todas as ações dos professores.

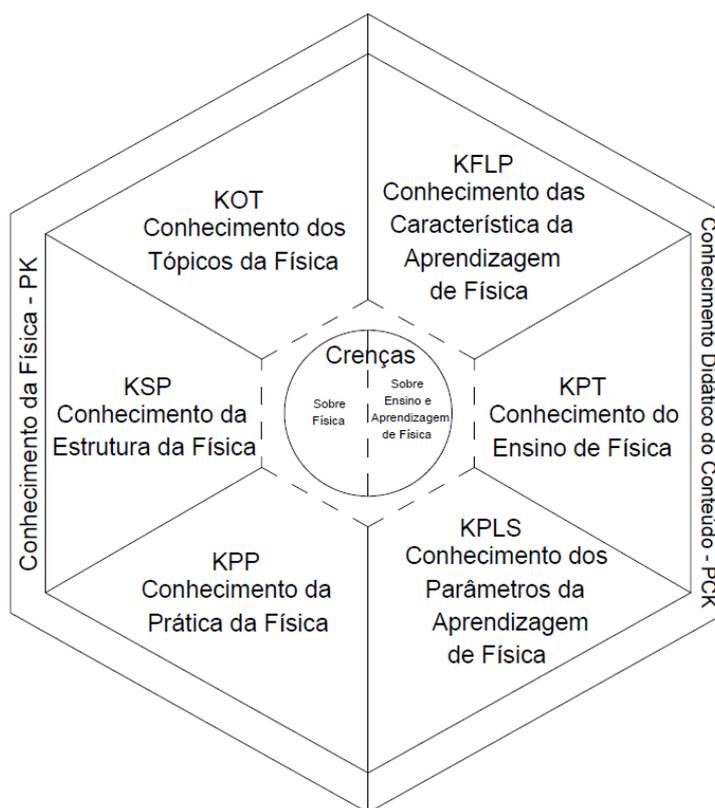


Figura 13: Modelo do Conhecimento Especializado de Professores de Física (PTSK)

Fonte: Produção da própria autora

O domínio CONHECIMENTO DIDÁTICO DO CONTEÚDO (PCK) aborda o conhecimento de professores sobre o ensino e a aprendizagem de conteúdos da Física e os parâmetros nacionais e internacionais a eles aplicáveis. Neste domínio estão inclusos apenas aspectos relativos ao ensino e aprendizagem da Física e dos conteúdos da Física. Não são considerados neste domínio aspectos didáticos gerais, tal como ensino por meio de resolução de problemas, mas apenas aqueles nos quais o conteúdo da Física é uma condicionante como, por exemplo, aspectos relacionados

escolha do tipo de atividade experimental para abordagem de determinado tópico da Física.

Compõe este domínio também os conhecimentos didáticos relacionados à Matemática necessários para o ensino da Física, uma vez que a Matemática é a linguagem que estrutura o pensamento físico e, portanto, não pode ser extirpada do processo de ensino da Física. Porém os conhecimentos deste subdomínio não incluem aqueles relacionados ao ensino da Matemática pura, mas apenas aqueles nos quais o ensino da Matemática estrutura o pensamento físico e seu ensino, como por exemplo, o conceito de grandeza vetorial estrutura o conceito de força e representa um fator chave no ensino e aprendizagem desta Grandeza Física.

O subdomínio Conhecimento das Características da Aprendizagem da Física (KFLP) está focado nos conhecimentos sobre os processos de aprendizagem que tenham como objeto a Física e seus conteúdos. Fazem parte deste subdomínio as teorias de aprendizagem, pessoais e formais, tal como o conhecimento da capacidade de abstração do aluno quando o objeto de ensino for algum conceito abstrato da Física, como energia, por exemplo. O impacto que as atividades experimentais e as diversas estratégias de ensino têm no processo de aprendizagem, também, são um componente deste subdomínio.

O conhecimento do professor sobre a visão do aluno a respeito da Física, seus interesses e expectativas, quais são os conteúdos considerados mais atraentes ou difíceis e o que costuma despertar a curiosidade dos estudantes e motiva-los, quando estudam Física, também, são aspectos que compõem o KFLP.

Além do conhecimento do que os alunos esperam, são abordados neste subdomínio as formas que os alunos costumam interagir com os conteúdos da Física, tais como o vocabulário comumente usado pelos estudantes e as estratégias mentais por eles adotadas, para compreensão de temas específicos.

Como ultimo componente do KFLP, têm-se os conhecimentos dos professores sobre as fortalezas e dificuldades dos alunos, ou seja, os erros comuns, as dificuldades de compreensão usuais, os benefícios relacionados às diversas formas de apresentação do conteúdo e das atividades experimentais de demonstração. Também

estão inclusas as dificuldades que os alunos possam apresentar com relação aos conteúdos da Matemática, que estruturam os conceitos físicos objetos de ensino.

O subdomínio Conhecimento do Ensino de Física (KPT) é composto pelo o conhecimento didático do ensino da Física que sustentam as práticas de professores. Estes conhecimentos podem ser fundamentados em resultados de pesquisa sobre o ensino da Física e seus conteúdos ou na reflexão do professor sobre sua própria experiência de ensino. São exemplos teorias de ensino, que tenham a Física como condicionante e conhecimentos acerca da preparação e execução de estratégias de ensino, atividades, diferentes abordagens e sequências didáticas, bem como sobre o impacto destas no processo de ensino.

As atividades experimentais estão inclusas no KPT quando relacionadas aos aspectos didáticos, tais como a opção por uma atividade demonstrativa ou a realização de atividade experimental em grupo em função do conteúdo a ser abordado e da disponibilidade de tempo e recursos para sua realização. Não estão inclusos aqui os conhecimentos relativos à eficiência das atividades experimentais no tocante a precisão e previsibilidade de seus resultados, em função do comportamento esperado dos Fenômenos Físicos envolvidos. Este tipo de conhecimento está contido no subdomínio Conhecimento dos Conteúdos da Física (KoT) pois não tem relação com aspectos didáticos da experimentação e sim com aspectos técnicos de seu planejamento e execução. O conhecimento do impacto que as atividades experimentais têm no ensino da Física, na motivação dos alunos e na concretização dos conceitos, são exemplos de conhecimentos didáticos.

Experimentos mentais, analogias, exemplos, relatos de experiências históricas e regras práticas também fazem parte do KPT, assim como o conhecimento do impacto da aplicação destes no processo de ensino da Física e seus conteúdos.

Como últimos componentes do KPT tem-se os recursos didáticos específicos para o ensino de Física e seus conteúdos, tais como vídeos, imagens, animações, livros e outras publicações científicas. Incluem-se aqui também os recursos virtuais com foco específico na Física, tais como simulação de fenômenos e modelos físicos.

O terceiro subdomínio do Conhecimento Didático do Conteúdo (PCK) é o Conhecimento dos Parâmetros da Aprendizagem de Física (KPLS). O foco deste

subdomínio está no que deve ser ensinado e no que se espera que aluno aprenda em cada etapa escolar, com relação à Física e seus conteúdos. As principais fontes de informações sobre os conteúdos de cada etapa escolar são os parâmetros curriculares de cada país ou instituição de ensino, assim sendo, estes podem variar. Apesar desta possível variabilidade considera-se, uma possível fonte destes conhecimentos, parâmetros internacionais de ensino de Física.

Além dos conteúdos a serem ensinados, o KPLS aborda o desenvolvimento esperado dos alunos em cada etapa escolar, ou seja, seu nível de desenvolvimento conceitual e processual e as habilidades e competências a serem desenvolvidas. São fontes de informação para o professor exames de seleção, concursos nacionais ou internacionais e outras formas de avaliação padronizadas, como o exame de conclusão de curso. Também são incluídos como fonte de informação os resultados de pesquisas que versem sobre o nível esperado de desenvolvimentos dos alunos.

Também estão inclusos neste subdomínio, além dos parâmetros regulatórios envolvidos no processo de ensino e aprendizagem da Física, conhecimentos referentes ao sequenciamento necessários entre conteúdos da Física, ou seja, os conceitos que os alunos devem conhecer, previamente, para que possam aprender o conteúdo objeto do processo de ensino. Um exemplo deste tipo de conhecimento seria a necessidade do aluno conhecer os tipos de movimento para que a 3ª Lei de Newton possa ser ensinada. Note-se que o aspecto aqui abordado não se refere a uma sequência didática, que visa facilitar a compreensão de conceitos, mas sim impositiva pela própria natureza do conteúdo.

Em todos os aspectos acima mencionados estão inclusos conhecimentos relativos aos conteúdos matemáticos envolvidos na estruturação dos conceitos físicos objetos de ensino, pois o conhecimento ou não dos alunos destes conteúdos matemáticos condicionam a compreensão de alguns conteúdos da Física.

O domínio CONHECIMENTO DA FÍSICA (PK) engloba o conhecimento da própria disciplina de Física, o foco está no conhecimento dos professores a respeito da Física e seus conteúdos. Este domínio aborda o aporte teórico da Física, sua estrutura, linguagem e experimentação, assim como, a relação da Física com outras ciências como a Química, por exemplo. Já o conhecimento matemático, necessário

para estruturar o pensamento físico, integra este domínio não como uma relação como outra ciência, mas sim como parte do conhecimento da Física. A atividade científica envolvida na Física pura e aplicada também faz parte do Conhecimento da Física.

O subdomínio Conhecimento da Prática da Física (KPP) engloba o conhecimento da pesquisa científica na Física Pura e Aplicada, com foco na geração de novos conhecimentos. Desta forma são englobados neste subdomínio conhecimentos relativos às metodologias, ao planejamento e a execução de investigações, bem como a definição de hipóteses e sua experimentação e as simplificações possíveis e as incertezas envolvidas no processo experimental. No KPP estão inclusos os conhecimentos necessários para produção científica na Física e não aqueles referentes aos resultados já consolidados.

A relação entre as diversas áreas de abrangência da Física é o foco central do subdomínio Conhecimento da Estrutura da Física (KSP). O conhecimento de conceitos unificadores, que estão presentes em diversas áreas da Física, como energia e tempo, e a similaridades de pensamento existente entre os Fenômenos Físicos de distintas áreas de abrangências, como energia potencial gravitacional e energia potencial elétrica, são conhecimentos de que compõem o KSP.

Há, porém, situações em que, mesmo sem a similaridade de pensamentos, tópicos de diferentes áreas da Física podem ser associados para facilitar a compreensão do Fenômeno Físico, foco do processo de ensino, estas conexões auxiliam o processo de aprendizagem do aluno e fazem parte deste subdomínio.

Também estão inclusos no KSP conhecimentos dos professores relacionados à simplificação de conceitos complexos, ou seja, valendo-se de um conceito mais simples, já conhecido pelos alunos, o professor evolui para o tópico mais complexo, objeto do processo de ensino. No caminho inverso o professor pode valer-se de um tópico mais complexo, porém já conhecido pelos alunos, para explicar um conceito mais simples e assim facilitar a compreensão dos estudantes.

Não fazem parte destas relações conhecimentos de relações entre conceitos de um mesmo conteúdo, como velocidade e aceleração, por exemplo, estas relações intra-conceituais são conhecimentos do subdomínio KoT que será abordado a seguir.

O subdomínio Conhecimento dos Tópicos da Física (KoT) tem como foco central o conhecimento fundamentado e aprofundado dos conteúdos da Física de maneira isolada, uma vez que a relação entre os diversos conteúdos é abrangida pelo KSP. Este subdomínio aborda conteúdos já consolidados na Física, uma vez que a geração de novos conhecimentos é englobada pelo KPP. Este subdomínio é composto por seis categorias descritas a seguir.

A categoria “Leis, Fenômenos e Conceitos” abrange conhecimentos relativos ao aporte teórico da Física, seus conceitos básicos. As características dos Fenômenos Físicos, suas causas e efeitos, as grandezas que os representam quantitativamente. A relação matemática entre os Fenômenos Físicos, ou seja, as Leis Físicas, também estão inclusas, assim como os diversos parâmetros que influenciam estas relações, como as propriedades físicas dos materiais. O conhecimento desta categoria engloba as conexões intra-conceituais de um mesmo conteúdo e as condições necessárias para que um Fenômeno Físico ocorra e os limites de validade das Leis Físicas.

Os conhecimentos matemáticos necessários para compreensão dos conteúdos da Física compõe a categoria “Linguagem matemática”. Na esfera da Física a Matemática tem um papel muito mais significativo do que um mero ferramental para resolução de problemas, ela estrutura o pensamento físico. Devido a esta profunda relação entre as duas ciências, o conhecimento matemático está incluso no conjunto de Conhecimentos Especializados de Professores de Física, que compõe o PTSK.

As diversas formas de apresentação dos conteúdos integram a categoria “Registros e Representações”. Estão inclusos, nesta categoria, o uso do vocabulário apropriado para descrição dos conceitos e Fenômenos Físicos e a adequada notação das leis e Grandezas Físicas. São exemplos, o uso da seta sobre o símbolo de uma grandeza vetorial e a distinção entre os termos peso e massa na descrição dos movimentos dos corpos. As diversas representações possíveis dos conteúdos da Física também integra esta categoria, são exemplos, as representações descritivas, matemáticas, gráficas e pictográficas.

A categoria “Modelos” refere-se ao conhecimento necessário para fazer simplificações coerentes de sistemas físicos reais de modo a viabilizar seu estudo, inclusive em atividades experimentais. A definição do modelo físico e matemático

para estudo de fenômenos, as condições necessárias para que este modelo seja válido, os limites de validade do modelo proposto e a avaliação dos resultados obtidos para verificar validade do modelo adotado, são conhecimentos desta categoria.

O caráter experimental da Física é englobado pela categoria “Experimentação”. Os conhecimentos desta categoria englobam o planejamento do experimento em função do comportamento esperado dos fenômenos envolvidos e dos fatores que o influenciam. A escolha de processos e dispositivos de medição adequados às características desejadas dos resultados. As incertezas associadas aos parâmetros físicos adotados, ao ambiente, aos processos e dispositivos de medição usados e ao modelo definido para estudo do fenômeno foco da experimentação. Também está inserido nesta categoria o conhecimento de como os resultados obtidos são impactados pelas simplificações e limitações do modelo adotado para estudo do experimento.

A última categoria do subdomínio KoT é “Aplicações” que aborda os conhecimentos de aplicações e usos do conhecimento físico, como radares de velocidade, caixas de som e trocadores de calor e a relação da Física com as demais ciências.

A proposta apresentada do modelo PTSK pode está sintetizada na Tabela 9, na qual são apresentadas as categorias do subdomínio KoT e os principais descritores dos demais subdomínios.

Tabela 9: Síntese da proposta do modelo PTSK

PCK - Conhecimento Didático do Conteúdo	
Subdomínio	Principais Descritores associados aos Subdomínios /
KFLP Conhecimento das Características da Aprendizagem de Física	Processos de aprendizagem que tenham como objeto a Física e seus conteúdos: Teorias de aprendizagem pessoais e formais condicionadas pela Física; Capacidade de abstração do aluno; Impacto das diversas estratégias de ensino e atividades experimentais e demonstrativas no processo de aprendizagem.
	Visão do aluno a respeito da Física: Interesses; Expectativas; Curiosidades; Conteúdos considerados difíceis ou atraentes.
	Formas que os alunos costumam interagir com os conteúdos da Física: Vocabulário comumente usado por alunos; Estratégias mentais adotadas pelos estudantes para compreensão de temas específicos.
	Fortalezas e dificuldades dos alunos: Erros comuns; Dificuldades de compreensão usuais; Dificuldades dos alunos com relação aos conteúdos da matemática, que estruturam os conceitos físicos.

KPT Conhecimento do Ensino de Física	Processo de ensino que tenham como objeto a Física e seus conteúdos: Teorias de ensino pessoais e formais condicionadas pela Física; Impacto das diversas estratégias de ensino e atividades, inclusive as experimentais, no processo de ensino.
	Aspectos didáticos das atividades experimentais: Opção por atividade demonstrativa ou atividade experimental em grupo em função do conteúdo e da disponibilidade de tempo ou recursos.
	Estratégias de ensino: Experimentos mentais; Analogias; Exemplos; Relatos de experiências históricas; Regras práticas.
	Recursos didáticos específicos para o ensino da Física: Vídeos; Imagens; Animações; Livros e outras publicações científicas; Recursos virtuais para simulação de fenômenos e modelos físicos.
KPLS³⁶ Conhecimento dos Parâmetros da Aprendizagem de Física	O que deve ser ensinado e o que se espera que o aluno aprenda em cada etapa escolar: Parâmetros curriculares de cada país e instituição de ensino; Parâmetros internacionais de ensino de Física.
	Desenvolvimento esperado dos alunos em cada etapa escolar: Nível de desenvolvimento conceitual e processual esperado; Habilidades e competências a serem desenvolvidas.
	Parâmetros regulatórios do processo de ensino aprendizagem da Física: Sequenciamento necessário entre conteúdos da Física devido a natureza do conteúdo.
PK - Conhecimento da Física	
Subdomínio	Principais Descritores associados aos Subdomínios / Categoria associadas ao subdomínio KoT
KPP Conhecimento da Prática da Física	Conhecimentos necessários para geração de novos conhecimentos na Física Pura e Aplicada . Envolve: Metodologias aplicadas na investigação; Planejamento das investigações; Execução de investigações; Definição de hipóteses; Experimentação destas hipóteses; Simplificações possíveis no processo investigatório; Incertezas envolvidas no processo experimental;
KSP³⁷ Conhecimento da Estrutura da Física	Relação entre as diversas áreas de abrangência da Física: Conceitos unificadores; Similaridades de pensamento existente entre os fenômenos das áreas de abrangências.
	Associação de tópicos sem similaridade de pensamentos: Uso de conexões que auxiliam a compreensão do conteúdo, mesmo sem a similaridade de pensamentos.
	Conceitos complexos abordados para auxiliar a compreensão de conceito mais simples: Valendo-se de um tópico mais complexo, porém já conhecido pelos alunos, explica-se um conceito mais simples e assim facilita a compreensão dos estudantes.
	Simplificação de conceitos complexos: Valendo-se de um conceito mais simples, já conhecido, o professor evolui para o tópico mais complexo, objeto do ensino.

³⁶ Estão inclusos conhecimentos relativos aos conteúdos matemáticos envolvidos na estruturação dos conceitos físicos objetos de ensino

³⁷ Não estão inclusas as relações entre conceitos de um mesmo conteúdo, as relações intra-conceituais são conhecimentos do subdomínio KoT.

KoT Conhecimento dos Tópicos da Física	<p><u>Leis, Fenômenos e Conceitos:</u> Aporte teórico da Física; Conceitos básicos; Características dos fenômenos físicos, suas causas e efeitos; Grandezas físicas; Leis físicas; Parâmetros que influenciam fenômenos físicos, como as propriedades físicas dos materiais; Conexões intra-conceituais de um mesmo conteúdo; Condições necessárias para que um fenômeno físico; Limites de validade das leis da física.</p>
	<p><u>Linguagem Matemática:</u> Conhecimentos matemáticos necessários para compreensão dos conteúdos da Física; Devido a profunda relação entre as duas ciências, o conhecimento matemático está incluso no PTSK proposto.</p>
	<p><u>Registros e Representações:</u> Diversas formas de apresentação (matemática, descritiva, pictográfica etc.); Vocabulário apropriado para descrição dos conceitos e fenômenos físicos; Adequada notação das leis e grandezas físicas.</p>
	<p><u>Modelos:</u> Conhecimento necessário para fazer simplificações coerentes de sistemas físicos reais de modo a viabilizar seu estudo; Definição do modelo físico e matemático para estudo de fenômeno físico; Condições necessárias para que o modelo seja válido; Limites de validade do modelo; Avaliação de resultado obtido para verificar validade do modelo adotado.</p>
	<p><u>Experimentação:</u> Engloba o caráter experimental da Física; Conhecimentos para planejamento do experimento em função do comportamento esperado dos fenômenos físicos; Escolha dos processos e dispositivos de medição; Impacto nos resultados esperados em função das simplificações feitas pelo modelo adotado.</p>
	<p><u>Aplicações:</u> Conhecimentos de aplicações e usos do conhecimento físico; Relação da Física com as demais ciências.</p>

Fonte: Produção da própria autora

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi proposto o modelo teórico PTSK que representa a resposta à pergunta da pesquisa ao descrever as características do modelo do Conhecimento Especializado de Professores de Física que tem por referência a base conceitual do modelo do Conhecimento Especializado de Professores de Matemática. Desta forma o objetivo geral da pesquisa foi atingido. Os objetivos específicos estabelecidos foram igualmente atingidos e mostraram-se fundamentais para o alinhamento do resultado final ao objetivo geral estabelecido.

O processo que culminou no modelo proposto foi favorecido pelo estabelecimento do PTSK Transposto, por transposição direta do MTSK, no qual se manteve o alinhamento com a base conceitual do modelo focado na Matemática e suscitaram-se questionamentos que foram aprofundados no decorrer da pesquisa, este processo beneficiou-se uso de exemplos teóricos que permitiram melhor compreensão e aproximação do PTSK Transposto da natureza da Física.

O uso de episódios de ensino selecionados de publicações científicas como fonte dos conhecimentos permitiu a verificação da adequação entre o PTSK Transposto e os conhecimentos especializados necessários ao professor para o ensino de Física de modo abrangente nas diversas áreas da Física. A diversificação dos conhecimentos inseridos nesta análise reduziu a influência da natureza de conteúdos específicos no modelo proposto, não condicionando o PTSK as características de uma área específica da Física.

A proposição do modelo PTSK da pesquisa representa a junção da descrição do modelo Inicial com as constatações feitas durante a verificação da adequação deste aos conhecimentos identificados, ou seja, estão presentes na proposta tanto a estrutura e os conceitos básicos do MTSK como as características específicas da Física em suas diversas áreas de abrangência.

Porém, cabe ressaltar que a metodologia proposta não favorece o aprofundamento dos conhecimentos necessários ao professor para o ensino de tópicos específicos da Física, uma vez que não viabiliza um segundo momento de

interação entre pesquisador e professor para esclarecimento dos indícios de conhecimento porventura identificados.

Outro aspecto observado quanto à metodologia adotada refere-se à baixa identificação de conhecimentos no subdomínio KPP e de crenças, o que foi atribuído à natureza dos textos científicos usados como fonte dos conhecimentos. Este é outro aspecto que pode ser aprimorado com pesquisas que envolvam a identificação de conhecimentos em outros cenários como: o planejamento de aulas; a aplicação de atividades específicas; oficinas; entrevistas; e filmagem e transcrição de aulas.

Assim, apesar de considerar-se o modelo PTSK proposto ao termino da pesquisa encontra-se com o subdomínio KoT bem caracterizado, com a descrição de suas categorias, acredita-se que, para que o modelo atinja seu potencial, há necessidade de aprofundar-se na descrição dos demais subdomínios. Este percurso pode dar-se por um aprofundamento documental nas categorias dos demais subdomínios, a exemplo do trabalho desenvolvido nesta pesquisa para o KoT, seguido pela validação das conclusões da fase documental em cenários de prática.

Acredita-se na necessidade de uma avaliação em cenário que envolva a interação com os professores, para que haja maior possibilidade de aprofundamento nos conhecimentos identificados e para o levantamento de conhecimentos não presentes em publicações científicas, em função das características deste tipo de texto e da influência do enfoque dado pelo professor/autor na descrição do episódio de ensino.

Superada a etapa de descrição dos elementos e da estrutura do modelo tem-se no caminho percorrido pelos pesquisadores do grupo SIDM uma referência para o percurso de aplicação do PTSK na busca pelo aprimoramento no ensino de Física. Assim, espera-se inicialmente que o modelo seja aplicado na caracterização do conhecimento de professores de Física identificando-se os conhecimentos mobilizados para o ensino de tópicos específicos e as relações entre os diversos subdomínios que compõem o modelo.

O banco de dados gerado e a compreensão das inter-relações existentes entre os conhecimentos didáticos (PCK) e de Física (PK) possibilitará o desenvolvimento de

atividades diagnósticas e formativas, para a construção de conhecimentos especializados pelos professores de Física.

Além do potencial impacto no ensino de Física, acredita-se que o caráter especializado do PTSK contribua para que o exercício da docência seja vinculado à necessidade de conhecimentos especializados, de modo que, para exercê-la, seja reconhecida a necessidade de uma formação igualmente especializada. Estas percepções, uma vez instituídas, podem configurar um pilar para profissionalização e valorização dos professores de Física, alterando o quadro de inadequação entre formação e exercício da docência identificado no censo escolar de 2016.

Nesta perspectiva acredita-se o modelo PTSK, cuja primeira aproximação foi aqui apresentada, representa uma ferramenta para melhoria da formação de futuros professores e da formação continuada dos atuais professores. A expectativa é que com profissionais mais capacitados, dotados de conhecimentos especializados, haja melhoria da qualidade do ensino da Física e maior valorização profissional dos docentes.

REFERÊNCIAS

- ANGOTTI, J. A. P. Conceitos unificadores e ensino de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 15, n. 1, p.191-198, 1993.
- ALMEIDA, V. B., FERNANDES, G. W. R. A habilitação para a prática pedagógica: um estudo com professores de outras áreas para o ensino de física. **Revista Científica Vozes dos Vales**, Periódico Científico Eletrônico, 2016.
- ALVES, D. T.; AMARAL, J. V.; MEDEIROS NETO, J. F. Aprendizagem de Eletromagnetismo via Programação e Computação Simbólica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 24, n. 2, p.201-213, 02 jun. 2002.
- ARCOS, Jaime Huincahue; BORROMEIO-FERRI, Rita; MENA-LORCA, Jaime Juan Fernando. Math modeling knowledge from reflection in math teachers initial training. **Enseñanza de Las Ciencias. Revista de Investigación y Experiencias Didácticas**, [s.l.], v. 36, n. 1, p.99-117, dez. 2017.
- BALL, D. L.; THAMES, M. H.; PHELPS, G. Content Knowledge for Teaching: What Makes It Special? **Journal of teacher education**, v. 59, n. 5, p. 389-407, 2008.
- BARAI, A.; CARVALHO NETO, J. T.; GARRIDO, D.; ITYANAGUI, G.; NAVI, M. Astronomia nos anos iniciais do Ensino Fundamental: uma parceria entre universidade e escola. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 33, n. 3, p.1009-1025, 15 dez. 2016.
- BARROSO, F. F.; CARVALHO, S. A.; HUGUENIN, J. A. O.; TORT, A. C. Formação de imagens na óptica geométrica por meio do método gráfico de Pierre Lucie. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 40, n. 2, p.1-9, 4 set. 2018.
- BATISTA, E.; MOZOLEVSKI, I. **Métodos de Física-Matemática**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina / Consórcio Redisul, 2010. 226 p.
- BAXTER, Juliet A.; LEDERMAN, Norman G. Assessment and Measurement of Pedagogical Content Knowledge. **Science & Technology Education Library**, [s.l.], p.147-161, 1999. Kluwer Academic Publishers.
- BRASIL. Ministério da Educação. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira - INEP (Comp.). **Censo escolar da educação básica 2016**: Notas estatísticas. Brasília, 2017. 29 p.
- BOGDAN, Roberto C.; BIKLEN, Sari Knopp. **Investigação Qualidatativa em Educação**. Proto Codex: Porto Editora, 1994. 365 p.
- BONJORNIO, José Roberto; BONJORNIO, Regina Azenha; BONJORNIO, Valter; RAMOS, Clinton Márcico. **Física fundamental**: Novo - Volume único. São Paulo: FTD, 1992. 672 p.

BORGES, C. C.; DICKMAN, A. G.; VERTCHENKO, L. Uma aula sobre conversão de energia utilizando bicicleta, motor, alternador e lâmpada. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 40, n. 2, p.1-11, 27 nov. 2018.

BRUSCATO, G. C. **O ensino de física através das atividades práticas realizadas na instalação, operação e manutenção de uma estação radioamadora**. 2011. 177 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física, Instituto de Física, Programa de Pós-graduação em Ensino de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

BRUSCATO, G. C.; MORS, P. M. Ensinando física através do radioamadorismo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 36, n. 1, p.1-8, mar. 2014.

BUSTAMANTE, Jeannette Galleguillos; RIBEIRO, C. Miguel; NAVARRO, Miguel Montes. El conocimiento especializado del profesor de matemática frente a problemas abiertos. In: CONFERENCIA INTERAMERICANA DE EDUCACIÓN MATEMÁTICA, XIV, 2015, Chiapas, México. **Comunicación**. Chiapas, México: CIAEM-IACME, 2015. p. 1 - 12.

CARRILLO, J.; CLIMENT, N.; CONTRERAS, L. C.; MUÑOZ-CATALÁN, M. C. **Determining Specialised Knowledge For Mathematics Teaching**. In: UBUZ, B.; HASER, C. et al. (Ed.). VIII Congress of the European Society for Research in Mathematics Education (CERME 8). 8. Antalya, Turkey: Middle East Technical University, Ankara, v., 2013. p. 2985-2994.

CARRILLO, J.; AVILA, D. I. E.; MORA, D. V.; MEDRANO, E. F. **Un marco teórico para el conocimiento especializado del professor de matemáticas**, Universidad de Huelva Publicaciones, 2014.

CONTRERAS-GONZÁLVEZ, L. C.; MONTES, M. A.; CLIMENT, N.; CARRILLO, J. **Introducción al modelo MTSK: origen e investigaciones realizadas**. Universidad de Huelva, 2017.

ESCUDERO, D. I.; FLORES, E.; CARRILLO, J. El Conocimiento Especializado del Profesor de Matemáticas. In: XV ESCUELA DE INVIERNO EN MATEMÁTICA EDUCATIVA, 15 ed., 2012, México. **Anais...** Mexico, 2012. p. 35-42.

ESCUDERO, D. I.; FLORES, E.; CARRILLO, J. Describing a secondary mathematics teacher's specialised knowledge of functions. In: CONGRESS OF EUROPEAN RESEARCH IN MATHEMATICS EDUCATION, 10., 2017, Venue. **Paper Presentations**. [s.l.]: CERME, 2017. p. 1 - 8.

ESPINOZA, G.; ZAKARYAN, D.; CARRILLO, J. Use of analogies in teaching the concept of function: relation between Knowledge of Topics and Knowledge of Mathematics Teaching. In: CONGRESS OF EUROPEAN RESEARCH IN MATHEMATICS EDUCATION, 10., 2017, Venue. **Paper Presentations**. [s.l.]: CERME, 2017. p. 1 - 10.

ETKINA, Eugenia. Pedagogical content knowledge and preparation of high school physics teachers. **Physical Review Special Topics: Physics Education Research**, New Brunswick, v. 6, n. 2, p.1-26, 31 ago. 2010. American Physical Society (APS).

EYLON, Bat-sheva; BAGNO, Esther. Research-design model for professional development of teachers: Designing lessons with physics education research. **Physical Review Special Topics - Physics Education Research**, [s.l.], v. 2, n. 2, p.1-14, 21 set. 2006. American Physical Society (APS).

FERNANDEZ, C. **PCK - Conhecimento Pedagógico do Conteúdo: perspectivas e possibilidades para a formação de professores**. In: VIII ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS – ENPEC, Campinas, SP. Atas... Rio de Janeiro, RJ: ABRAPEC, v. 1. p. 1-12, 2011.

FERNANDEZ, C.; GOES, L. F. Conhecimento pedagógico do conteúdo: estado da arte no ensino de ciências e matemática. In: GARRITZ, A. et al. (Org.) **Conocimiento Didáctico del Contendo: Uma perspectiva Iberoamericana**. 1ed. Saarbrücken, Alemanha: Editorial Académica Esponola, 2014 p. 65-99.

FERNANDEZ, C. Revisitando a base de conhecimentos e o conhecimento pedagógico do conteúdo (PCK) de professores de ciências. **Revista Ensaio**, volume 17, número 2, p.500-528, maio-ago 2015.

FLORES, E.; ESCUDERO, D. I.; CARRILLO, J. **A theoretical review of specialised content Knowledge**. In: UBUZ, B.; HASER, C., et al (Ed.). VIII Congress of the European Society for Research in Mathematics Education (CERME 8). 8. Antalya, Turkey: Middle East Technical University, Ankara, 2013. p.3055-3064.

FLORES, E.; MONTES, A. M.; CARRILLO, J.; CONTRERAS, L. C.; MUÑOS-CATALÁN, M. C.; LIÑÁN, M. M. El Papel del MTSK como Modelo de Conocimiento del Profesor en las Interrelaciones entre los Espacios de Trabajo Matemático. **Bolema: Boletim de Educação Matemática**, [s.l.], v. 30, n. 54, p.204-221, abr. 2016. FapUNIFESP (SciELO).

GARCIA, R. L.; AMARAL, R. A.; ZABADAL, J.; PIBERNAT, C. C.; JUCHEM, F.; SCHMITZ, A. Resfriamento de um cilindro de aço: estudo experimental da convecção e radiação do calor. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 39, n. 4, p.1-8, 22 maio 2017a.

GARCIA, R. L.; ZABADAL, J.; AMARAL, R. A.; NETO, J. A. D. G.; SCHMITZ, A. Transferência de calor e massa: Fusão de uma placa de gelo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 39, n. 3, p.1-8, 9 fev. 2017b.

GASPAR, Alberto. **Atividades experimentais no ensino de física: uma nova visão baseada na teoria de Vigotski**. São Paulo: Livraria da Física, 2014. 250 p.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6.ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOES, L. F. **Conhecimento Pedagógico do conteúdo: estado da arte no campo da educação e no ensino de química**. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, 2014.

GUILLERMO, Fonseca A. El PCK en profesores de Biología: Aportes y limitaciones; **Revista Tecné, Episteme y Didaxis: TED**. Año 2014, Número Extraordinario. ISSN Impreso: 0121-3814, ISSN web: 2323-0126 Memorias, Sexto Congreso Internacional sobre Formación de Profesores de Ciencias. 08 al 10 de octubre de 2014, Bogotá.

HALIM, Lilia; MEERAH, Subahan Mohd. Science Trainee Teachers' Pedagogical Content Knowledge and its Influence on Physics Teaching. **Research In Science & Technological Education**, [s.l.], v. 20, n. 2, p.215-225, dez. 2002. Informa UK Limited.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos da física: Volume 1: mecânica**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livro Técnicos e Científicos, 2009. 372 p.

HAMBURGER, Ernst W. **O que é física**. 4. ed. [s.l.]: Brasiliense, 1992. 55 p.

KARAL, Işık Saliha; ALEV, Nedim. Development of pre-service physics teachers' pedagogical content knowledge (PCK) throughout their initial training. **Teacher Development**, [s.l.], v. 20, n. 2, p.162-180, 14 mar. 2016. Informa UK Limited.

KIELT, E. D. **Utilização integrada do *Just-In-Time Teaching* e *Peer Instruction* como ferramentas de Ensino de Mecânica no Ensino Médio mediadas por *app***. 2017. 110 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciência e Tecnologia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2017.

KIELT, E. D.; SILVA, S. C. R.; MIQUELIN, A. F. Implementação de um aplicativo para smartphones como sistema de votação em aulas de Física com Peer Instruction. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 39, n. 4, p.1-8, 12 jun. 2017.

KRATZ, Julia; SCHAAL, Steffen. Measuring PCK – Discussing the Assessment of PCK-related Achievement in Science Teacher Training. **Procedia - Social And Behavioral Sciences**, [s.l.], v. 191, p.1552-1559, jun. 2015. Elsevier BV.

LEIRIA, Ana Cristina da Costa. **Conhecimento e práticas profissionais de duas professoras quando ensinam representação gráfica estatística**. 2013. 390 f. Tese (Doutorado) - Curso de Didática da Matemática, Ciências, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2013.

LIMA, Stela Silva; COSTA, Luzinete Duarte; SOARES, Susel Thais Coelho; SILVA FILHO, Vicente Pedroso; MORIEL JUNIOR, Jeferson Gomes; MELLO, Geison Jader. Análise de PaP-eRs como primeira aproximação metodológica para configurar o modelo de conhecimento especializado de professores de física (PTSK). In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE FORMAÇÃO E DESENVOLVIMENTO

PROFISSIONAL DOCENTE - RESIDÊNCIA DOCENTE: PARADIGMA DE INTEGRAÇÃO TEORIA-PRÁTICA, 3., 2017, Cuiabá. **Anais...** . 2017. p. 1 - 5.

LOUGHRAN, J.; MILROY, P.; BERRY, A.; GUNSTONE, R.; MULHALL, P. Documenting science teachers' pedagogical content knowledge through PaP-eRs. **Research in Science Education**, v. 31, n. 2, p. 289-307, 2001.

LOUGHRAN, John; MULHALL, Pamela; BERRY, Amanda. Exploring Pedagogical Content Knowledge in **Science Teacher Education**. **International Journal Of Science Education**, [s.l.], v. 30, n. 10, p.1301-1320, 13 ago. 2008.

LUÍS, Mónica; MONTEIRO, Rute; CARRILLO, José. Conhecimento Especializado do Professor para Ensinar Ciências. In: ENCONTRO NACIONAL DE EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, XVI., 2015, Lisboa, Portugal. **Anais...** . Lisboa: APeDuC, 2015. v. 1, p. 1 - 6.

LUTTENEGER, K. C. MORRISON, A. D. Measuring Pedagogical Content Knowledge Using Multiple Points of Data. In: **The Qualitative Report 2015** Volume 20, Number 6, How To Article 1, 804-816

MÁXIMO, Antônio; ALVARENGA, Beatriz. **Física Contextos & Aplicações: Manual do professor**. São Paulo: Scipione, 2014. 417 p.

MEGID NETO, Jorge; PACHECO, Décio. Pesquisas sobre o ensino de física no nível médio no Brasil: Concepção e tratamentos de problemas em teses e dissertações. In: NARDI, Roberto (Org.). **Pesquisas em ensino de física**. 3. ed. São Paulo: Escrituras, 2004. Cap. 1. p. 15-30

MIRANDA-VÁSQUEZ, Montserrat; RAMOS-RODRÍGUEZ, Elisabeth. El conocimiento especializado del profesor de matemáticas de segundo ciclo básico en la enseñanza de ecuaciones lineales. In: JORNADAS NACIONALES DE EDUCACIÓN MATEMÁTICA, 20., 2016, Valparaíso, Chile. **Actas**. IMA-PUCV, 2016. v. 20, p. 487 - 487.

MONTES, M.; CARRILLO, J. What does it mean as a teacher to “know infinity”? The case of convergence series. In: CONGRESS OF EUROPEAN RESEARCH IN MATHEMATICS EDUCATION, 9., 2015, Praga. **Proceedings...** . [s.l.]: CERME, 2015. p. 3220 - 3226.

MORAES, Roque. Análise de conteúdo. **Revista Educação**, Porto Alegre, v. 22, n. 37, p. 7-32, 1999.

MORE: Mecanismo online para referências, versão 2.0. Florianópolis: UFSC Rexlab, 2013. Disponível em: < <http://www.more.ufsc.br/> > . Acesso em: 17 maio 2017.

MOREIRA, Marco Antonio. Sobre o ensino do método científico. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 2, n. 10, p.108-117, ago. 1993.

MOREIRA, Marco Antonio. **Teorias de Aprendizagem**. 2. ed. São Paulo: E.P.U., 2015. 242 p.

MOREIRA, Marco Antonio. Grandes desafios para o ensino da física na educação contemporânea. **Revista do Professor de Física**, Brasília, v. 1, n. 1, p.1-13, 2017.

MOREIRA, Marco A.; ROSA, Paulo R. S. **Pesquisa em ensino: Métodos qualitativos e quantitativos**. 2. ed. Porto Alegre: Brasil, 2016. 83 p.

MORIEL JUNIOR, Jeferson Gomes. **Conhecimento especializado para ensinar divisão de frações**. 2014. 162 p. Tese de doutorado (Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática – PPGECEM/REAMEC) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2014.

MORIEL JUNIOR, J. G.; CARRILLO, J. Explorando indícios de conhecimento especializado para ensinar matemática com o modelo MTSK. In: SEMINÁRIO DE INVESTIGACIÓN EN EDUCACIÓN MATEMÁTICA, 18., 2014, Salamanca, Espanha. **Anais...** . Salamanca, Espanha, 2014. p. 1 - 10.

MORIEL JUNIOR, J. G.; MORAL, G. C. Y. Conhecimentos especializados para ensinar adição de frações e como se relacionam: um caso sobre erros comuns de estudantes, suas fontes e modos de superá-los. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ENSINO DA MATEMÁTICA - CIEM, 7., 2017, Canoas. **Anais...** Canoas, 2017. p. 1-12.

MORIEL JUNIOR, Jeferson Gomes; WIELEWSKI, Gladys Denise. Base de Conhecimento de Professores de Matemática: do Genérico ao Especializado. **Revista de Ensino, Educação e Ciências Humanas**, [s.l.], v. 18, n. 2, p.126-133, 2017.

NOVAIS, R. M. **Docência universitária: a base de conhecimentos para o ensino e o conhecimento pedagógico do conteúdo de um professor do ensino superior**. Tese de doutorado (Instituto de Física, Instituto de Química, Instituto de Biociências e Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo). 2015

OLIVEIRA, V. **Uma proposta de ensino de tópicos de eletromagnetismo via instrução pelos colegas e ensino sob medida para o ensino médio**. 2012. 236 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física, Programa de Pós-graduação em Ensino de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

OLIVEIRA, V.; VEIT, E. A.; ARAUJO, I. S. Relato de experiência com os métodos Ensino sob Medida (*Just-in-Time Teaching*) e Instrução pelos Colegas (*Peer Instruction*) para o Ensino de Tópicos de Eletromagnetismo no nível médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 32, n. 1, p.180-206, 9 abr. 2015.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OCDE) (Brasil). Secretária Brasileira. **Programme for International Student Assessment (PISA) Results from PISA 2015: Contry note**. Brasília: OCDE,

2016. 7 p. Disponível em:

<http://download.inep.gov.br/acoes_internacionais/pisa/resultados/2015/pisa_2015_brazil_prt.pdf>. Acesso em: 13 set. 2018.

OSTERMANN, F.; RICCI, T. S. F. Conceitos de física quântica na formação de professores: relato de uma experiência didática centrada no uso de experimentos virtuais. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 22, n. 1, p.9-35, abr. 2005.

PARREIRA, J. E. Aplicação e avaliação de uma metodologia de aprendizagem ativa (tipo ISLE) em aulas de Mecânica, em cursos de Engenharia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 40, n. 1, p.1-6, 20 jul. 2018.

PASTANA, C. O.; NEIDE, I. G. A integração do ensino de funções trigonométricas e movimento harmônico simples por meio do software Modellus. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 40, n. 1, p.1-7, 3 ago. 2018.

PAULO, Iramaia Jorge Cabral de; SOUZA, Célia Maria Soares Gomes de. **A teoria da aprendizagem significativa e seus desdobramentos na dinâmica de ensinar e aprender ciências**. Cuiabá: UAB/UFMT, 2011. 68 p.

PIETROCOLA, M.. A matemática como estruturante do conhecimento físico. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 19, n. 1, p.89-109, ago. 2002. Florianópolis.

PCK SUMMIT Keynote: Dr. Lee Shulman. Colorado Springs, 2012. (72 min.), son., color. Legendado. Disponível em: <<http://pcksummit.bsos.org/node/68>>. Acesso em: 14 maio 2017

PIZARRO, Noemí; ALBARRACÍN, Lluís; GORGORIO, Núria. Una actividad sobre estimación del volumen: Apreciaciones de profesores chilenos. In: JORNADAS NACIONALES DE EDUCACIÓN MATEMÁTICA, 10., 2016, Valparaíso, Chile. **Actas**. [s.l.]: IMA-PUCV, 2016. v. 20, p. 386 - 390.

PRAIA, J.; CACHAPUZ, A.; GIL-PÉREZ, D. A hipótese e a experiência científica em educação em ciência: Contributos para uma reorientação epistemológica. **Ciência & Educação**, v. 8, n. 2, p.253-262, 2002.

REZENDE, Flavia; OSTERMANN, Fernanda; FERRAZ, Gleice. Ensino-aprendizagem de física no nível médio: o estado da arte da produção acadêmica no século XXI. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 1, n. 31, p.1-8, mar. 2009.

RIBEIRO, Miguel. Tareas para alumnos y tareas para la formación: discutiendo el conocimiento especializado del profesor y del formador de profesores de matemáticas. In: JORNADAS NACIONALES DE EDUCACIÓN MATEMÁTICA, 10., 2016, Valparaíso, Chile. **Actas**. [s.l.]: IMA-PUCV, 2016. v. 20, p. 31 - 39.

RIBEIRO, J. L. P. Perguntas em sala no ensino médio: observando o pôr do sol em um elevador panorâmico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 39, n. 4, p.1-5, 29 maio 2017.

RIQUELME-RAMOS, Valeria; RAMOS-RODRÍGUEZ, Elisabeth. Conocimiento especializado del profesor de matemáticas sobre la ecuación lineal aditiva entorno de un estudio de clases. In: JORNADAS NACIONALES DE EDUCACIÓN MATEMÁTICA, 20., 2016, Valparaíso, Chile. **Actas**. [s.l.]: IMA-PUCV, 2016. v. 20, p. 476 - 477.

RODRIGUES, M. A. T.; MACKEDANZ, L. F. Produção de espelhos parabólicos e construção do conceito de função polinomial de 2º grau. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 40, n. 1, p.1-12, 20 jul. 2018.

ROLDÃO, M. do C. Função docente: natureza e construção do conhecimento profissional. **Revista Brasileira de Educação**, volume 12, número 34, jan./abr., 2007.

ROSA, C. T. W. ; TRENTIN, M. A.; ROSA, A. B.; GIACOMELLI, A. C. Experimento de condução térmica com e sem uso de sensores e Arduino. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 33, n. 1, p.292-305, 25 abr. 2016.

ROWAN, B. SCHILLING, S. G. BALL, D. L. MILLER, R. **Measuring Teachers' Pedagogical Content Knowledge in Surveys: An Exploratory Study**. 2001.

SALEM, Sonia. **Perfil, evolução e perspectivas da Pesquisa em Ensino de Física no Brasil**. 2012. 385f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

SALVADOR, Daniel Fábio; ROLANDO, Luiz Gustavo Ribeiro; ROLANDO, Roberta Flávia Ribeiro. Aplicação do modelo de conhecimento tecnológico, pedagógico do conteúdo (TPCK) em um programa on-line de formação continuada de professores de Ciências e Biologia. **Rev. Electrón. Investig. Educ. Cienc.**, Tandil, v. 5, n. 2, p. 31-43, dic. 2010.

SHULMAN, L. S. Those who understand: Knowledge growth in teaching. **Education Researcher**. Feb. 1986: 4-14.

SHULMAN, L. S. Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. **Harvard Educational Review**. Feb. 1987: 1-22.

SIDM. **Categorías de los subdomínios del MTSK (documento interno)**. Huelva, 2016. 1 p. Não publicado.

SOSA, Josús Enrique Pinto. **Conocimiento didático del contenido sobre la representación de datos estadísticos: Estudios de casos con profesores de estadística en carreras de psicología y educación**. 2010. 456 f. Tese (Doutorado) - Curso de Didática da Matemática, Departamento de Didáctica de La Matemática y de Las Ciencias Experimentales, Universidad de Salamanca, Salamanca, 2010.

VASCO, Diana; CLIMENT, Nuria; ESCUDERO-ÁVILA, Dinazar. The characterisation of the specialised knowledge of a university lecturer in linear algebra. In: CONGRESS OF EUROPEAN RESEARCH IN MATHEMATICS EDUCATION, 9., 2015, Praga. **Proceedings...** . [s.l.]: CERME, 2015. p. 3283 - 3288.

VASCO, Diana; MORIEL JUNIOR, Jeferson; CONTRERAS, Luis Carlos. Subdomínios del mathematics teacher's specialised knowledge (MTSK): KoT y KSM: definición, categorías y ejemplos. In: JORNADAS DE INVESTIGACION EM DIDÁTICA DE LAS MATEMÁTICAS, 3., 2017, Huelva, Espanha. **Anais...** . Huelva, Espanha, 2017. p. 29 - 37.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física I**. 12^a. ed. São Paulo: Pearson, 2008. 418 p.

ZABALA, A. **A prática educativa**: Como ensinar. Porto Alegre: Artmed, 1998. 224 p.

ZAKARYAN, Diana; RIBEIRO, C. Miguel; VALENZUELA, Priscilla. Conocimiento matemático especializado de los números racionales un caso de una profesora chilena. In: CONFERENCIA INTERAMERICANA DE EDUCACIÓN MATEMÁTICA, XIV, 2015, Chiapas, México. **Comunicación**. Chiapas, México: CIAEM-IACME, 2015. p. 1 - 13.