

# Análise do domínio do campo conceitual da radiação de micro-ondas a partir dos invariantes operatórios



ISSN 1870-9095

Lisiane Barcellos Calheiro<sup>1,2</sup>, José Claudio Del Pino<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, UFMS, Campo Grande, MS, Brasil.

<sup>2</sup>Programa de Pós-graduação em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil.

E-mail: liscalheiro@gmail.com

(Recibido el 14 de junio de 2020, aceptado el 20 de septiembre de 2020)

## Resumo

Discute-se, neste trabalho, uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa para abordar aspectos importantes do tema Radiação de Micro-ondas além da prática usual, a qual se apoia no uso de expressões matemáticas para a resolução de grande número de exercícios e problemas, com mínima contextualização e vinculação com o cotidiano dos alunos. As situações-problema foram planejadas e direcionadas para se integrarem não apenas aos conceitos e às características dos conhecimentos que estavam sendo explorados em sala de aula, com base no planejamento usual do professor, mas também às representações que os alunos já possuíam sobre o tema explorado ou que pudessem estar ligadas a outros conceitos conhecidos. Tendo como base a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, buscou-se indícios de um possível avanço dos alunos no domínio, em particular, do campo conceitual de Radiações de Micro-ondas pela observação dos conceitos-em-ação e dos teoremas-em-ação utilizados. A análise dos dados indica que, de um total de 41 alunos que participaram do estudo, 23 apresentaram evolução sensível nos seus conhecimentos.

**Palavra chave:** Radiação; Invariantes Operatórios; Unidade de Ensino Potencialmente Significativa.

## Abstract

In this work, a Potentially Meaningful Teaching Unit is discussed to address important aspects of the Microwave Radiation theme in addition to the usual practice, which does not support the use of mathematical expressions to solve a large number of exercises and problems, with minimal contextualization. and connection with the students' daily lives. The problem situations were planned and directed to integrate not only the concepts and characteristics of the knowledge that were being explored in the classroom, based on the teacher's usual planning, but also on the representations that the students already had on the explored theme or that could be linked to other known concepts. Based on Vergnaud's Theory of Conceptual Fields, evidence was sought for a possible advance of students in the domain, in particular, of the conceptual field of Microwave Radiation by observing the concepts-in-action and the theorems-in-action used. The analysis of the data indicates that, of a total of 41 students who participated in the study, 23 showed a significant evolution in their knowledge

**Keywords:** Radiation; operational invariants; Potentially Meaningful Teaching Unit.

## I. INTRODUÇÃO

Manter a atenção dos alunos nos conteúdos de Física que a escola precisa trabalhar, relacionando-os com uma realidade cada vez mais impregnada de novas tecnologias bem mais interessantes do que as aulas dessa disciplina, é um desafio constante para o professor do ensino médio. Por outro lado, compreender como se dá a partilha dos conhecimentos científicos entre os alunos, considerando situações que podem fazer parte de seu dia a dia, apurar como determinados conceitos são formados e pensados, operacionalizar esses conhecimentos dentro de uma

didática que dê sentido às vivências escolares dos alunos, são alguns dos desafios do ensino de Ciências.

O ensino de Física tem sido alvo de constantes indagações ao longo dos últimos tempos, seja para se questionar determinada metodologia, seja para verificar se dado conteúdo é ou não pertinente para os estudantes da Educação Básica. Diversos trabalhos têm enfatizado, nas últimas décadas, a importância da inserção de Física Moderna e Contemporânea (FMC) na Educação Básica [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11]. No entanto, a grande maioria dos professores do ensino médio continua trabalhando apenas os conteúdos de Física tradicionais e na sequência de sempre: Cinemática, Dinâmica, Estática, Termologia,

Calorimetria, Termodinâmica, Ondulatória, Eletricidade, Magnetismo e Óptica Geométrica. Além disso, mesmo com a grande quantidade de pesquisas e projetos desenvolvidos sobre ensino-aprendizagem, de modo geral, o trabalho desses professores apoia-se no uso de expressões matemáticas para a resolução de grande número de exercícios e problemas, com mínima contextualização e vinculação com o cotidiano dos alunos. O ensino de Física não desenvolve aspectos conceituais, é desatualizado em termos de conteúdos e tecnologias, centrado no docente, comportamentalista, focado no treinamento para as provas e que aborda a Física como uma Ciência acabada [12, 13].

Discute-se aqui uma proposta desenvolvida para trabalhar o tema Radiações, importante no contexto da FMC e muito presente no cotidiano dos alunos e da sociedade de modo geral, com uma abordagem que o relaciona a esse cotidiano, integrando-o sempre que possível aos conteúdos clássicos já trabalhados nas três séries do ensino médio e tendo como base a Teoria dos Campos Conceituais. Nesta proposta, procura-se romper com o paradigma do formalismo matemático por meio de estratégias que privilegiam a formação de conceitos.

Este trabalho faz parte de uma pesquisa de doutorado sobre as representações sociais da Radiação, desenvolvida à luz dos referenciais teóricos das representações sociais de Moscovici, da aprendizagem significativa de Ausubel e dos campos conceituais de Vergnaud.

Com base nestes referenciais, e por meio de diferentes situações-problema, buscou-se analisar o processo de evolução do domínio do campo conceitual referente à Radiação a partir das representações compartilhadas por alunos do Ensino Médio. As situações foram implementadas através da elaboração, aplicação e avaliação de três Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS). A pesquisa foi realizada a partir de dois estudos de caso. No Estudo de Caso 1, implementado nas três séries do Ensino Médio de uma escola pública, predominou a perspectiva investigativa exploratória, com vistas a identificar as representações sociais da Radiação. Como resultado deste estudo e com base nos referenciais das representações sociais, observou-se que a estrutura dessas representações é dada por uma possível centralidade fortemente marcada por três dimensões: a cognitiva, a ideológica/imaginária e a pragmática/material. Estas dimensões serviram de base para a construção das UEPS abordadas no Estudo de Caso 2.

Neste segundo estudo, implementado em duas turmas da terceira série do Ensino Médio da mesma escola, desenvolveu-se uma investigação explicativa, mais prática, com objetivo de visualizar e interpretar as representações emergidas do primeiro estudo.

A primeira UEPS abordou as radiações de micro-ondas e ondas de rádio integradas aos conceitos do eletromagnetismo. Estas radiações encontram-se na dimensão pragmática/material e estão presentes na maioria dos estudantes provavelmente porque estão ligadas à tecnologia que se apresenta no seu cotidiano. Desta forma, buscou-se elaborar situações que permitissem aos

estudantes utilizar suas representações e, posteriormente, modificá-las e/ou melhorá-las. A segunda UEPS, centrada na dimensão cognitiva, teve, na radiação visível (luz), um dos elementos sociocognitivos centrais. A partir desta radiação, conceitos de óptica foram integrados a conceitos associados às radiações eletromagnéticas no infravermelho, ultravioleta e luz visível, explorando variadas situações com diferentes níveis de complexidade.

Por fim, com a terceira UEPS, ancorada na dimensão ideológica/imaginária, foram exploradas as radiações alfa, beta, gama e os raios x. Nesta UEPS foram exploradas, também, as representações relacionadas aos elementos de representação bomba atômica, contaminação e guerra.

Para explorar os aspectos importantes do tema Radiações, foram elaboradas diferentes situações para diferentes tipos de radiações, de modo a poder articular, uns com os outros, os conceitos envolvidos. De modo geral, as situações foram planejadas e direcionadas para se integrar não apenas aos conceitos e às características do conhecimento que estava sendo explorado em sala de aula com base no planejamento usual, mas também às representações que os alunos já possuíam sobre o tema explorado ou que pudessem estar ligadas a outros conceitos conhecidos.

Este trabalho tem como objetivo analisar os invariantes operatórios e o possível avanço no domínio do campo conceitual da Radiações de Micro-ondas e ondas de rádio que foram trabalhadas na primeira UEPS.

## II. ASPECTOS TEÓRICOS

### A. Teoria dos Campos Conceituais

Na Teoria dos Campos Conceituais Vergnaud ampliou o foco das operações lógicas e das estruturas gerais do pensamento no estudo do funcionamento cognitivo do sujeito em situação, de Piaget, utilizando como referência o próprio conteúdo do conhecimento e a análise conceitual do domínio desse conhecimento. Para ele, o problema central da cognição é a conceitualização [14] e é a partir dessa premissa que desenvolveu sua teoria psicológica cognitivista, investigando o sujeito do conhecimento em resposta a uma situação de ensino.

Campo conceitual é um conjunto informal e heterogêneo de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações de pensamento, conectados uns aos outros e, provavelmente, entrelaçados durante o processo de aquisição [15]. Essa definição informa a relação direta entre as situações e os conceitos que se quer explorar e, como destaca a mesma referência, um conceito não se forma dentro de um só tipo de situação, uma situação não se analisa com um só conceito e, também, a construção e apropriação de todas as propriedades de um conceito ou todos os aspectos de uma situação é um processo de muito fôlego, que pode se estender por anos, com analogias e mal-entendidos entre situações, concepções, procedimentos e significantes.

A definição de conceito pressupõe a compreensão do processo de conceitualização e envolve três conjuntos: (i) um conjunto de situações que dão sentido ao conceito; (ii) um conjunto de invariantes operatórios, sobre os quais repousa a operacionalidade dos conceitos; (iii) um conjunto de representações simbólicas que indicam e representam, como significantes do conceito, os invariantes operatórios [14].

O sujeito se apropria dos campos conceituais ao longo do tempo, através da experiência, da maturidade e da aprendizagem [16]. O mesmo autor salienta, ainda, que o estudo do desenvolvimento e do uso de um conceito ao longo da aprendizagem deve considerar esses três conjuntos simultaneamente. Em poucas palavras, um conceito só pode ser definido a partir de situações que estão relacionadas às representações simbólicas através do conjunto de invariantes operatórios.

Situação é uma tarefa teórica ou empírica realizada pelo sujeito nos contextos culturais vivenciados por ele. As situações dão o sentido ao conceito, são os referentes do conceito. As situações devem abordar uma diversidade de classes e problemas para que possam articular todas as propriedades do conceito [15]. Neste sentido, associadas às ideias de variedade e história, são fundamentais para a formação do campo conceitual. Esse autor entende que, num campo conceitual, existe certa variedade de situações e que os conhecimentos dos sujeitos são moldados pelas situações que encontram e progressivamente dominam, particularmente pelas primeiras situações suscetíveis de dar sentido aos conceitos e procedimentos que devem aprender.

O campo conceitual forma-se, muitas das vezes, das concepções oriundas das primeiras situações que os sujeitos foram capazes de dominar ou daquilo que experimentaram na tentativa de modificá-las [15].

Invariantes operatórios ou conhecimentos em ação, divididos em conceitos-em-ação e teoremas-em-ação, formam a base conceitual a partir da qual o sujeito pode obter a informação pertinente para analisar uma situação. Podem não ser conscientes ou explícitos e são inferidos pela avaliação de como o sujeito aborda ou propõe esquemas para resolver as situações com as quais se confronta. Conceito-em-ação é um objeto ou uma categoria do pensamento considerada relevante ou pertinente. Não é necessariamente um conceito científico, embora possa vir a ser. Teorema-em-ação é uma proposição que o sujeito considera ou supõe verdadeira sobre o real. Como proposição, pode ser verdadeira ou falsa. De qualquer modo, se por um lado os invariantes operatórios são parte do conhecimento que permite resolver as diferentes situações, por outro lado podem se tornar obstáculos à evolução progressiva do domínio de um campo conceitual. Existe, geralmente, uma lacuna considerável entre os invariantes que o sujeito constrói e os invariantes que constituem o conhecimento científico [16].

Esquema é uma organização invariante do comportamento para uma determinada classe de situações [14]. É o elo entre as representações do sujeito e sua conduta. O sujeito atribui sentido às situações com as quais

se confronta através de esquemas, e uma mesma situação pode exigir diferentes esquemas. Nos esquemas evocados pelo sujeito para resolver as situações com as quais ele se confronta é que se deve buscar os invariantes operatórios. De qualquer modo, deve-se falar não em interação sujeito-objeto, mas em interação esquema-situação e o incremento cognitivo consiste sobretudo e principalmente no desenvolvimento de um repertório de esquemas. Os ingredientes dos esquemas são metas, antecipações, regras de ação do tipo se... então, teoremas-em-ação, conceitos-em-ação e possibilidades de inferência (raciocínios) [16].

Para Vergnaud, representação simbólica é um conjunto de símbolos, acompanhados de uma sintaxe ou de operações sobre elementos do sistema, que fazem sentido para o sujeito. As representações simbólicas podem ser estudadas pela funcionalidade, pelos pensamentos que estão numa representação, ou estruturalmente, pelas operações do pensamento que estão sendo usadas nos sistemas de significantes, tais como gráficos, tabelas e expressões algébricas, entre outros [14]. Para Vergnaud, conceitos e símbolos são duas faces da mesma moeda e deve-se sempre dar atenção ao uso que o sujeito faz dos símbolos à luz do uso que faz dos conceitos [16]. Como as representações simbólicas indicam os invariantes operatórios, podem representar as situações e os procedimentos com que o sujeito lida com elas.

No que se refere à sala de aula, as situações são importantes para que os alunos explicitem seus conhecimentos e possam caminhar no sentido de formar o campo conceitual em questão. Vergnaud defende que o domínio de situações prévias é importante para a compreensão das situações novas e para entender a complexidade dos diferentes conceitos. Nesse sentido, é fundamental que o professor, no seu planejamento didático, proponha diferentes situações que possam enriquecer os esquemas dos alunos. Um conceito só se torna significativo quando o professor varia as situações, apresentando várias estratégias de ensino para que o aluno crie seus esquemas e desenvolva suas próprias ações e organizações [18].

## **B. Unidade de Ensino Potencialmente Significativa**

Unidade de ensino potencialmente significativa (UEPS) é uma sequência didática fundamentada em teorias de aprendizagem, particularmente a teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel [17]. Esta sequência didática tem como objetivo desenvolver atividades facilitadoras da aprendizagem, proporcionando uma participação mais ativa dos alunos envolvidos no processo e, por consequência, um ensino e uma aprendizagem com significados, ancoradas nos conhecimentos prévios. Moreira [18] sugere, para elaboração das UEPS, atenção a alguns conceitos e a alguns princípios de construção que julga fundamentais e que são inspirados também em outras teorias relacionadas à aprendizagem significativa, como as propostas por Joseph D. Novak, Gerard Vergnaud, Lev Vygotsky, D. Bob Gowin, Philip Johnson-Laird e a teoria da aprendizagem significativa crítica de Marco Antônio

Moreira [19]. Os conceitos mais importantes são:

- Ideias Prévias – São as variáveis que mais influenciam a aprendizagem significativa.
- Pensar, Sentir e Agir – Devem estar integrados positivamente no aprendiz para que ele possa construir significativamente seus conhecimentos.
- Interesse – É a pré-disposição para aprender.
- Organizadores Prévios – São conhecimentos que os estudantes já possuem e que são usados por ele para ancorar os novos conhecimentos.
- Situações-Problema – Situações construídas para despertar nos estudantes a intenção de aprender significativamente. Estas situações devem ser propostas em níveis crescentes de complexidade.
- Modelos Mentais – São representações internas de informações que correspondem, por analogia, àquilo que está sendo representado.
- Consolidação do conhecimento – Devem ser consideradas na organização do ensino a diferenciação progressiva, a reconciliação integradora e a consolidação dos conhecimentos;
- Avaliação Progressiva através da busca de indícios/evidências – O professor deve promover situações-problema, mediando as novas informações com os conhecimentos prévios;
- Interação Social – Para captar significados é fundamental que o sujeito da aprendizagem interaja socialmente e use uma linguagem adequada;
- Relação triádica de Gowin – O ensino envolve, segundo Gowin, uma relação triádica entre alunos, docentes e materiais educativos. A meta é a promoção da captação e compartilhamento de significados contextualizados da matéria de ensino. Muitas vezes a relação pode ser quadrática, quando se insere o computador;
- Aluno como sujeito ativo – Nas UEPS, a aprendizagem deve ser significativa e crítica, sendo estimulada pelo questionamento ao invés da memorização, característica da aprendizagem mecânica. Devem ser usadas diversas estratégias, abandonando a narrativa em favor da participação ativa do aluno na construção dos seus conhecimentos.

Na elaboração da UEPS, propõe-se que a unidade de ensino seja estruturada em oito aspectos sequenciais (passos) para o seu planejamento e que estes sejam compostos por materiais e estratégias didáticas diversificadas, cabendo ao professor buscar a melhor forma de implementá-los. Para o estudo relatado neste trabalho estes passos foram elaborados com base em diferentes situações que buscaram dar sentido aos conceitos, integrando-os ao cotidiano dos alunos; abordamos os aspectos sequenciais com diferentes atividades didáticas e procuramos incluir, entre as situações propostas, conteúdos que promovessem uma integração entre os conceitos da Física Clássica e da FMC. Apresentamos uma síntese das principais ideias desenvolvidas em cada passo:

1. Definição de Conceitos – Abordar os tópicos de modo que expliquem como as informações serão declaradas para posteriormente servirem de base para a construção dos

conhecimentos.

2. Investigação do Conhecimento Prévio – Elaborar situações que visem explicitar a estrutura cognitiva relevante dos sujeitos.

3. Situações-Problema Introdutórias – Elaborar situações a partir de estratégias diversificadas, como simulações computacionais, vídeos, exemplos do cotidiano, experimentos, etc., para dar sentido aos novos conhecimentos.

4. Diferenciação Progressiva – Apresentar o conhecimento ensinado ou aprendido começando pelos aspectos mais gerais e seguindo para os mais inclusivos.

5. Complexidade – Estruturar os conhecimentos através da apresentação de novas situações-problema em nível mais alto de complexidade, diferenciação e abstração.

6. Reconciliação Integrativa – Retomar as características essenciais dos conteúdos através da apresentação de novos significados.

7. Avaliação – Registrar, ao longo da intervenção, todos os possíveis indícios de evoluções conceituais denotando aprendizagens significativas.

8. Efetividade – Verificar o êxito na implementação da UEPS avaliando o desempenho dos alunos com base na progressiva evolução do campo conceitual, enfatizando não os comportamentos finais, mas as evidências contínuas de aprendizagem significativa.

Na próxima seção, detalha-se como esses aspectos sequenciais foram desenvolvidos entre as situações propostas.

### III. CONTEXTO E MÉTODO DA PESQUISA

Consideramos esta uma pesquisa qualitativa, pois a preocupação do estudo foi com aspectos da realidade que não podem ser quantificados, centrando-se na compreensão, explicação e interpretação da dinâmica das relações sociais, com envolvimento dos investigadores em uma experiência sustentada e intensiva com os participantes [20].

O estudo foi desenvolvido em duas etapas, com alunos do Ensino Médio de uma escola da rede pública estadual da cidade de Santa Maria (RS). Na primeira etapa (autor 1 e 2), por meio de questões-chave, buscou-se averiguar os conhecimentos prévios dos alunos sobre os principais conceitos associados a cada tipo de radiação, procurando identificar possíveis representações sociais sobre o tema Radiação. Na segunda etapa foram implementadas 36 (trinta e seis) situações-problema distribuídas em três UEPS abordando o campo conceitual da Radiação, contextualizadas com o cotidiano dos alunos e construídas a partir das representações sociais que emergiram da primeira etapa. Cada tipo de radiação foi apresentada em diferentes situações, com níveis crescentes de complexidade, já que interessava estudar o avanço no domínio do campo conceitual. Nesse sentido, nenhuma sequência previamente sugerida na literatura para a abordagem desses conteúdos foi seguida, mas, sempre que possível, os temas pertinentes foram trabalhados a partir dos conteúdos clássicos de Física

como são tradicionalmente desenvolvidos na escola de nível médio. Depois de concluída a primeira etapa, em que os alunos responderam as questões individualmente, promoveu-se um debate para introduzir o novo assunto. Na sequência, eles passaram a trabalhar as situações-problema iniciais da primeira UEPS. Com as situações-problema propostas procurou-se identificar os conhecimentos implícitos que poderiam ser considerados conceitos-em-ação ou teoremas-em-ação, utilizados pelos alunos ao abordar, em particular, o campo conceitual da Radiação de Micro-ondas.

Esta segunda etapa, em particular, que interessa neste momento, foi realizada com duas turmas de terceiro ano, somando ao todo 41 alunos.

Na primeira UEPS, esquematizada no Quadro 1, com o título de O Ouvir, o Ver e o Aquecer das Radiações

Integrados aos Conceitos do Eletromagnetismo, desenvolvida em 19 encontros, os conteúdos de radiação de micro-ondas e ondas de rádio foram integrados a conteúdos tradicionalmente tratados no Eletromagnetismo. Além deste universo de conceitos científicos trabalhados explicitamente, outros conceitos de FMC foram sendo explorados no decorrer das situações, conforme os conteúdos eram apresentados aos estudantes.

Nesta UEPS pretendeu-se detectar possíveis invariantes operatórios, analisar como as representações são utilizadas nos esquemas de resposta às situações propostas, avaliar indícios de aprendizagem significativa e o possível avanço no domínio do campo conceitual da Radiações de Micro-ondas e ondas de rádio.

**QUADRO I.** Aspectos sequenciais sintetizados da primeira UEPS.

<b>UEPS 1 - O ouvir, o ver e o aquecer das radiações integrados aos conceitos do eletromagnetismo</b>				
<b>Contexto</b>	Implementada em duas turmas do terceiro ano do ensino médio com duração de 19 encontros			
<b>Objetivos</b>	Facilitar a compreensão dos fenômenos e conceitos básicos das radiações eletromagnéticas. Identificar o campo conceitual das radiações micro-ondas e ondas de rádio. Analisar como as representações são utilizadas nos esquemas. Avaliar indícios de aprendizagem significativa ao final da UEPS.			
<b>Aspectos Sequenciais</b>	<b>1. Definição dos Conceitos</b>	<b>2. Investigação do Conhecimento Prévio</b>	<b>3. Situações-problema Introdutórias</b>	<b>4. Diferenciação Progressiva</b>
<b>Procedimento Adotado</b>	Micro-ondas, ondas de rádio, raios-x, raio gama, espectro eletromagnético, Ondas eletromagnéticas; Campo elétrico; campo magnético, indução eletromagnética, blindagem eletrostática.	Propor situação para o levar o aluno explicitar seu conhecimento	Antes das situações individualmente os alunos responderam uma questão, após foi entregue em dupla duas situações-problemas envolvendo as micro-ondas. Uma terceira situação-problema atividade demonstrativa envolvendo as ondas de rádio.	Apresentamos os conceitos trabalhados nas situações-problema iniciais, com as ideias mais gerais e abordando aspectos específicos de cada atividade.
<b>Exemplos de Situações</b>		Mapa Mental com a palavra indutora "Radiação" Texto explicando o mapa.	Questão: O uso dos celulares e do forno de micro-ondas pode ocasionar algum mal à saúde? Explique Três situações-problema iniciais.	Aulas com slides de revisão de ondas junto com simulações explorando ondas e os campos elétricos e magnéticos.
<b>Aspectos Sequenciais</b>	<b>5. Complexidade</b>	<b>6. Reconciliação Integrativa</b>	<b>7. Avaliação</b>	<b>8. Efetividade</b>
<b>Procedimento Adotado</b>	Novas situações-problema com um nível maior de complexidade	Retomamos características essenciais dos conteúdos, através da apresentação de novos significados	Avaliação somativa individual da aprendizagem.	Análise do desempenho dos alunos através da evolução do campo conceitual das radiações trabalhadas, com ênfase nos invariantes operatórios.
<b>Exemplos de Situações</b>	Exploramos a blindagem eletrostática e a detecção e emissão de radiação eletromagnética com três situações-problemas com atividades experimentais.	Concluímos a unidade retomando os conteúdos e exploramos simulações, nestes 4 encontros os alunos responderam a questões que envolveram raios-x e raio gama, introduzindo os conceitos junto aos roteiros das simulações.	Foram propostas três questões teóricas sobre as radiações de micro-ondas e ondas de rádio juntamente com questões dos conteúdos de Física Clássica.	Análise qualitativa dos esquemas e dos invariantes operatórios dos estudantes ao resolver as situações-problemas.

Além deste universo de conceitos científicos trabalhados explicitamente, outros conceitos de FMC foram sendo explorados no decorrer das situações conforme os conteúdos eram apresentados aos estudantes.

#### IV. RESULTADOS

Neste trabalho apresentamos a análise dos resultados de duas situações propostas na UEPS 1. A situação-problema inicial 1, apresentada aos alunos no terceiro passo - Situações-problema Introdutórias e a situação-problema 2 proposta no 7º passo - Avaliação somativa individual.

Como já mencionado, buscamos indícios de um possível avanço dos alunos no domínio do campo conceitual da radiação de micro-ondas sob o ponto de vista da Teoria dos Campos Conceituais, pela observação do uso de novos invariantes operatórios, em particular, de teoremas-em-ação, mais próximos do paradigma científico.

Importante frisar que o objetivo não é categorizar os invariantes encontrados, mas identificar possíveis invariantes utilizados nas situações propostas para julgar se houve ou não evolução no domínio conceitual abordado. Para tanto, apresentamos alguns esquemas utilizados pelos alunos ao responder duas diferentes situações-problema presentes na primeira UEPS desenvolvida na intervenção didática. De qualquer modo, cabe ressaltar também que o domínio de um campo conceitual evolui lenta e progressivamente, já que leva-se muito tempo para que os conceitos-em-ação se tornem conceitos verdadeiros e para que os teoremas-em-ação se tornem verdadeiros teoremas científicos.

O quadro II, abaixo, descreve a situação-problema inicial. Esta situação, de caráter teórico, teve como objetivo verificar possíveis invariantes operatórios relacionados à radiação de micro-ondas, isto é, ao entendimento que os alunos tinham, naquele momento, sobre o funcionamento do forno de micro-ondas, de como se dá o aquecimento dos alimentos, dos conceitos físicos envolvidos e do conhecimento de outros dispositivos e outras tecnologias que pudessem estar relacionadas a essa radiação.

A situação-problema inicial 1 foi proposta, na sequência da UEPS, dentro do grupo de Situações-problema Introdutórias, supondo que o forno de micro-ondas e a radiação a ele associada fazem parte do cotidiano da maioria dos alunos e, também, porque esse eletrodoméstico foi um dos elementos sociocognitivos associados às representações sociais da Radiação na primeira etapa do estudo.

As respostas dos alunos foram agrupadas em três categorias de análise (quadro III), conforme os possíveis invariantes operatórios explícitos e implícitos nos esquemas elaborados. Por brevidade apresentamos, para ilustrar a análise dos dados, apenas uma pequena fração das evidências coletadas, suficientes para justificar as conclusões.

#### QUADRO II. Situação-Problema Inicial 1.

Observe a figura e responda:

a) *Quais conceitos físicos podem ser explorados no funcionamento do eletrodoméstico?* b) *Como este eletrodoméstico aquece os alimentos?* c) *Você conhece algum outro aparelho que utilize o mesmo conceito físico no seu funcionamento?*



Para exemplificar as respostas analisadas nas situações, cada aluno foi identificado pela turma a que pertencia e pela sua individualidade dentro dessa turma. Assim, por exemplo, a identificação T31A7 representa o aluno 7 da turma 31. Dos 41 alunos, três não responderam a situação inicial e dois afirmaram não conhecer nem o funcionamento do forno de micro-ondas nem os conceitos pertinentes. Os demais responderam a situação com diferentes esquemas.

#### QUADRO III. Categorias, Conceitos e Teoremas-em-Ação emergidos dos esquemas dos estudantes.

Categorias	Conceitos-em-Ação	Teoremas-em-Ação
<b>Categoria A:</b> Invariantes Operatórios Genéricos	Energia Elétrica Eletricidade Calor Temperatura	T1: Quando ligado, transfere energia. T2: Quanto maior a temperatura, maior a energia. T3: A energia elétrica aquece quando aumenta a temperatura. T4: Quando ligada na luz, aquece. T5: A energia elétrica, quando ligada, aquece o alimento. T6: A placa elétrica, ao adquirir uma temperatura, aquece. T7: É necessária eletricidade para aquecer os alimentos.
<b>Categoria B:</b> Invariantes Operatórios Relevantes	Calor Velocidade Temperatura Energia Eletricidade Ondas Frequência Radiação Eletromagnética	T8: Quanto maior a velocidade da radiação, maior é o calor. T9: A frequência das ondas aquece os alimentos.
<b>Categoria C:</b> Invariantes Operatórios Adequados	Calor Ondas Radiação Eletricidade Atrito	T10: Ondas (de radiação) pequenas transmitem calor. T11: As micro-ondas geram (funcionam com) radiação. T12: Ondas de calor aquecem os alimentos.

#### A. Invariantes Operatórios Genéricos

Para a Categoria A foram transcritos fragmentos das respostas dos alunos que justificam os conceitos-em-ação e os teoremas-em-ação listados no quadro III:

*Quando ligado transfere energia para ele (...). Um deles é o motor, ele transfere a energia elétrica para o forno fazendo ele esquentar, quanto mais aumenta a temperatura mais energia irá transmitir. [T31A1]*

*O micro-ondas para esquentar a comida tem um metal que aquece uma bandeja giratória, que gira a comida para aquecer com a energia elétrica, que passa a esquentar o metal e aquece a comida. [T31A4]*

*Pode ser a eletricidade e a bateria que carrega o micro-ondas (...) como a torradeira que é ligada na luz para*

*Análise do domínio do campo conceitual da radiação de micro-ondas a partir dos invariantes operatórios*  
esquentar conforme a temperatura vai subindo (...). [T31A9]

*Aquecimento das moléculas interiormente primeiro e após as moléculas exteriores. Ele funciona com a eletricidade que aquece os alimentos a partir da radiação(...). [T31A12]*

*O micro-ondas funciona com uma placa elétrica aquecida e adquire uma certa temperatura quando os alimentos serão aquecidos (...). [T31A13]*

*A parte elétrica liga o forno e aquece as micro-ondas que são transferidas para os alimentos. [T32A27]*

*(...) acredito que a eletricidade gera calor. [T32A28]*

*O forno aquece a comida como ocorre com outros eletrodomésticos. [T31A17]*

*O uso da energia elétrica e o aquecimento é feito quanto maior for a temperatura (...). [T32A30]*

*Não sei explicar os conceitos, mas acho que são responsáveis pelo calor. [T32A38]*

Os esquemas utilizados pelos alunos que se enquadram na Categoria A são esquemas muito genéricos para poder resolver a situação-problema proposta com algum grau de especificidade. Isto é, são esquemas que podem servir igualmente para muitos outros fenômenos ou acontecimentos físicos, mesmo que bem diferentes daqueles trabalhados na UEPS. Além disso, os conceitos-em-ação calor e temperatura e os teoremas-em-ação T1 e T2, implícitos nestes esquemas, têm relação direta com o cotidiano dos estudantes e com conteúdos trabalhados na segunda série do ensino médio. Ainda, os teoremas-em-ação T3 e T6 são afirmações triviais uma vez que, em linguagem não científica, tudo aquilo que adquire temperatura, certamente aquece.

Por outro lado, com exceção de T3 e T6 em que os alunos colocam como causa e efeito o aquecimento e o aumento da temperatura (que são, na verdade, maneiras diferentes de dizer a mesma coisa), os demais teoremas-em-ação não deixam de ser verdadeiros, embora a explicação solicitada na atividade esteja longe de ser alcançada, mesmo juntando-se todos eles num único texto. Em outras palavras, tomando um desses teoremas-em-ação individualmente, como T5 por exemplo, verifica-se que há nele um conteúdo de verdade (o fato de que o alimento é aquecido, no final das contas, porque o aparelho está ligado à eletricidade); mas para se entender completamente todas as transformações que ocorrem no dispositivo e nos alimentos faltam, evidentemente, muitos elos lógicos (outros conceitos-em-ação e teoremas-em-ação).

Esse mesmo teorema-em-ação T5 expressa a ideia do aluno de que a temperatura dos alimentos aumenta porque eles ganham energia elétrica. Fica evidente, ao analisarmos os outros teoremas-em-ação, de que os alunos não articulam adequadamente os conceitos de que se valem para gerar algo próximo de uma explicação científica.

Por outro lado, esses mesmos teoremas-em-ação poderiam ser encontrados também na explicação de inúmeros dispositivos, deixando claro que os alunos não distinguem, pelo seu funcionamento, o forno de micro-ondas de outros dispositivos elétricos ou eletrônicos. Não

há evidências que indicam que algum aluno compreende que há uma radiação sendo absorvida pelos alimentos.

Em seus esquemas, os alunos utilizaram alguns conceitos da Física, em particular, da Eletrostática e da Eletrodinâmica, trabalhados durante o mesmo trimestre desta intervenção, sem contudo diferenciá-los. Por exemplo, parece que, para eles, eletricidade e energia elétrica são sinônimos (o que não deveria surpreender já que isso é comum no uso cotidiano inclusive de pessoas com maior domínio científico).

Na sequência, transcrevemos fragmentos das respostas dos alunos que justificam os conceitos-em-ação e os teoremas-em-ação listados no quadro III, na categoria B.

*(...) o modo de aquecimento é realizado pela velocidade da radiação que transmite o calor. [T31A2]*

*(...) A frequência das ondas aquece os alimentos de dentro para fora, essa frequência acredito eu que gera radiação. [T31A6]*

*Acho que os alimentos aquecem porque a temperatura dentro do micro-ondas aumenta com a velocidade da frequência e com a radiação eletromagnética. [T31A11]*

*No forno de micro-ondas a energia das ondas eletromagnéticas é transmitida para as moléculas pela velocidade da sua frequência (...). [T32A14]*

*Os micro-ondas utilizam micro-ondas para esquentar os alimentos. [T31A5]*

*Radiação como no aparelho de raios x, estufas de esterilização de unhas. [T31A3]*

## **B. Invariantes Operatórios Relevantes**

Os esquemas utilizados pelos alunos que enquadrados na categoria B demonstram o uso incipiente de conceitos mais específicos, como os conceitos de onda e de radiação, embora sem qualquer articulação relevante para resolver a situação-problema proposta, também como ocorreu com os esquemas utilizados pelos alunos que se enquadraram na Categoria A.

Na análise da Categoria A, afirmou-se que, com exceção de dois teoremas-em-ação, os demais não deixavam de ser verdadeiros. Mas isso era devido ao seu caráter genérico. Agora, na Categoria B, já não se pode dizer o mesmo justamente pelo uso de conceitos restritos, como velocidade e frequência. No teorema-em-ação T8, a velocidade da radiação é diretamente associada ao calor. Sabe-se, do Eletromagnetismo, que todas as radiações eletromagnéticas, independentemente de suas frequências e conteúdos energéticos, se propagam com a mesma velocidade. Ao menos a velocidade da radiação não aparece como causa do calor, como acontece com a frequência, que aparece como causa do aquecimento no teorema-em-ação T9.

Embora na categoria A para se entender (ou explicar) completamente todas as transformações que ocorrem no dispositivo e nos alimentos faltassem muitos elos lógicos, agora, na categoria B, isso não é verdade. Por exemplo, pode ser suficiente que o professor trabalhe o fato de que as radiações eletromagnéticas se diferenciam pela frequência e não pela velocidade (e também a relação entre frequência e

energia), para que os alunos fiquem muito próximos de formular a explicação solicitada na situação-problema proposta. Nesse sentido, os conceitos e os teoremas descritos em T8 e T9 estão mais próximos de se tornarem teoremas e conceitos científicos do que aqueles associados à categoria A. Por isso, pode-se dizer que os conceitos e teoremas-em-ação, neste caso, são (pelo menos) relevantes para a solução das situações propostas, isto é, as respostas dos estudantes já indicam que eles sabem que a explicação solicitada está relacionada ao conceito de onda e às suas propriedades.

### C. Invariantes Operatórios Adequados

Por fim, foram transcritos fragmentos das respostas dos alunos, que justificam os conceitos-em-ação e os teoremas-em-ação listados no quadro III, na categoria C.

*Ele aquece por meio de ondas de radiação (...) são ondas pequenas que transmitem calor.* [T31A18]

*As micro-ondas geram radiação, tem correntes que geram calor, produz um atrito gerando calor e assim aquecendo os alimentos.* [T31A20]

*As micro-ondas funcionam com ondas de calor que aquecem os alimentos.* [T32A26]

*O conceito mais usado são ondas pequenas que aquecem as moléculas da comida.* [T32A36]

Os esquemas utilizados pelos alunos que se enquadram na categoria C também mostram o uso ainda incipiente de conceitos mais específicos, como os conceitos de onda e de radiação, mas agora articulados ao conceito de calor e aproximando-se mais da solução da situação-problema proposta. Nesta categoria C, os possíveis teoremas-em-ação relacionam claramente o aquecimento dos alimentos com a radiação. Além disso, em alguns casos, a radiação relacionada ao aquecimento é caracterizada como "pequena", possivelmente querendo significar "de pequeno comprimento de onda". Deve-se lembrar, neste particular, que embora a aula seja de Física, dificilmente o professor e os alunos desenvolvem sua comunicação sempre em termos do jargão científico e que, por isso, explicam suas ideias mais em termos da linguagem cotidiana. De qualquer modo, pode-se dizer dessa categoria o mesmo que se disse da categoria anterior: parece que faltam poucos elos lógicos para se entender completamente todas as transformações que ocorrem no dispositivo e nos alimentos. Agora, o problema pode ser de nomenclatura: ondas pequenas no lugar de ondas de pequeno comprimento de onda, ondas de calor no lugar de micro-ondas, micro-ondas geram radiação no lugar de radiação de micro-ondas, etc. Assim, os conceitos e os teoremas-em-ação estão muito próximos de se tornarem teoremas e conceitos científicos, e pode-se dizer que eles são relevantes e mais adequados para a solução das situações propostas. As respostas dos alunos indicam que eles sabem que a explicação solicitada está relacionada não apenas ao conceito de onda, mas a um tipo especial de onda e às suas propriedades.

De modo geral, os resultados apresentados nas três categorias de análise evidenciam a diversidade de conceitos de Física, sejam eles pertinentes ou não, utilizados pelos

alunos para explicar a situação-problema inicial proposta, conceitos esses que aparecem com graus variados de articulação nas tentativas de solução. Além disso, os possíveis teoremas-em-ação destacados nas três categorias, estritamente falando, não chegam a representar verdades cientificamente aceitas, de modo que os conceitos de que os alunos se utilizaram não parecem ser significativos para eles, no contexto da situação proposta. Em outras palavras, nenhum aluno apresentou uma resposta que mostrasse compreensão cientificamente aceitável dentro do campo conceitual considerado.

Sob o ponto de vista escolar, isso motiva o trabalho mais extenso que foi desenvolvido com a inserção de diferentes estratégias didáticas potencialmente significativas para explorar o campo conceitual de Radiações e, mais especificamente pela proximidade com o cotidiano dos alunos, o campo das micro-ondas. No desenvolvimento das UEPS, os conceitos e teoremas científicos foram explorados integrando-os aos conteúdos clássicos já tradicionais do ensino médio, como campo magnético, indução eletromagnética e blindagem eletrostática. Além disso, foram discutidos conceitos de Física Ondulatória porque ficou claro a lacuna nos conhecimentos dos alunos, uns porque não aprenderam significativamente com as aulas que tiveram no segundo ano do Ensino Médio e outros, porque sequer tiveram aulas sobre esse tópico.

Para a sequência da primeira UEPS foram propostas situações com vistas a possibilitar aos alunos um maior domínio do campo conceitual de Radiações, abordando-se as micro-ondas, as ondas de rádio e uma situação inicial sobre raios-x e raios gama. Para apurar a eficiência e as potencialidades destas situações, analisamos as respostas da situação-problema 2 (quadro IV), que fez parte da avaliação levada a cabo no final da UEPS e que possui o mesmo objetivo da situação inicial, ou seja, explorar a radiação de micro-ondas. Desta forma, foram comparados os teoremas-em-ação utilizados pelos alunos para verificar se houve uma evolução no seu conhecimento.

#### QUADRO IV. Situação-problema 2<sup>1</sup>.

*<sup>1</sup>Os radares militares modernos são tão sensíveis que conseguem rastrear uma mosca a dois quilômetros de distância. Para fazer frente a esta tecnologia, os projetistas de aeronaves desenvolveram aviões "invisíveis" que utilizam materiais especiais, formas angulosas e sistemas de interferência eletrônica para não serem detectados. As mesmas ondas usadas na telefonia, na televisão e no radar também servem para cozinhar os alimentos.*  
*a) Explique com suas palavras que tipo de radiação e como ocorre o funcionamento deste tipo de tecnologia?*  
*b) E em que outras situações podemos utilizar este tipo de radiação?*

<sup>1</sup> Texto retirado do Núcleo de Pesquisas em Inovações Curriculares da Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo (FEUSP) <http://sites.usp.br/nupic/wpcontent/uploads/sites/293/2016/05/8Texto-3-Espectro-Eletromagnetico-Parte-I>



A situação-problema 2 foi proposta, na sequência da UEPS, no 7º passo - Avaliação somativa individual. Nesta atividade foram propostas três situações sobre micro-ondas e ondas de rádio possibilitando aos alunos expressarem livremente sua compreensão sobre as radiações abordadas na primeira UEPS.

A avaliação somativa teve como objetivo avaliar o progresso e a evolução do campo conceitual das radiações trabalhadas na UEPS, a partir dos esquemas utilizados pelos estudantes para responderem as situações propostas.

Relativamente a esta situação-problema verifica-se que os esquemas utilizados pelos alunos para sua solução (quadro V) podem ser agrupados em duas categorias.

**QUADRO V.** Conceitos e Teoremas-em-Ação emergidos dos esquemas dos estudantes.

Categorias	Conceitos-em-Ação	Teoremas-em-Ação
<b>Categoria D:</b> Evolução Significativa dos Invariantes Operatórios	Ondas Eletromagnéticas Frequência Velocidade Radiação Energia Reflexão Ondas	T1: As micro-ondas se refletem como a luz nos espelhos. T2: As micro-ondas se propagam em linha reta. T3: Os elétrons ao se agitarem produzem micro-ondas.
<b>Categoria E:</b> Sem Evolução dos Invariantes Operatórios	Radiação Ondas Calor Vácuo Ondas de Radiação Ondas Mecânicas Ondas Magnéticas Velocidade Micro-ondas	T4: As radiações podem achar qualquer objeto. T5: As micro-ondas se propagam no vácuo. T6: O excesso de ondas (?) causa doenças. T7: Micro-ondas e ondas de rádio são prejudiciais. T8: Ondas mecânicas geram calor.

#### D. Evolução Significativa dos Invariantes Operatórios

Na categoria D, dos 41 alunos que participaram desta etapa do estudo, três não compareceram à avaliação e 23 estão inseridos nesta Categoria D, que engloba os alunos que, após a implementação da primeira UEPS, apresentaram evolução significativa nos possíveis invariantes operatórios, aproximando-os de conceitos e teoremas cientificamente aceitos. A seguir, transcreve-se alguns fragmentos das respostas desses alunos, que justificam os conceitos-em-ação e os teoremas-em-ação listados no quadro V:

*São as micro-ondas que são ondas eletromagnéticas que possuem baixa frequências que vibram com uma certa velocidade. Certos objetos refletem as micro-ondas como um espelho reflète a luz enviando pulsos eletromagnéticos.* [T31A4].

*São as micro-ondas, elas são radiações eletromagnéticas com comprimento de ondas diferentes. Elas se propagam em linha reta e exigem uma visão direta entre as antenas transmissora e receptora. Elas enviam pulsos de micro-ondas e detectam e refletem seus pulsos.*

*Um exemplo do uso de las também são os detectores de metais, cujo metal reflète suas ondas.* [T31A6]

*As micro-ondas são ondas eletromagnéticas com comprimentos ondas diferentes e frequência também*  
*Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol. 14, No. 3, Sept. 2020*

*Como as micro-ondas se propagam em linha reta exigem uma visão direta entre as antenas de transmissão e recepção. No caso do radar, uma fonte emite uma radiação que atinge um objeto e volta para o ponto onde a onda foi emitida, determinando a distância, velocidade, etc.* [T31A9]

*São micro-ondas que emitem frequências eletromagnéticas e se propagam em linha reta e são captadas por algum tipo de material refletor que capta ondas e envia para um receptor.* [T31A13]

*Chamamos de radiação ou onda micro-ondas. O funcionamento ocorre com a reflexão da onda que reflète micro-ondas, enviando pulsos. Detectando os pulsos refletidos os radares mais avançados podem determinar a direção, a distância e a velocidade com o tempo de ida e volta do pulso.* [T31A20]

*São ondas de rádio usadas para telefonia, televisão, radar, e também servem para cozinhar alimentos. Exemplo no micro-ondas de casa, onde um circuito especial faz os elétrons se agitar muito rápido formando e espalhando no compartimento principal do forno e são absorvidas por algum objeto colocado nele para ser esquentado.* [T31A7]

*(...) são ondas eletromagnéticas com comprimento de onda grande e frequências pequenas como as micro-ondas se propagam no vácuo podem ser transmitidas pelos satélites. Para os fornos precisamos de circuitos especiais que faz os elétrons se agitarem e produzir micro-ondas.* [T32A36]

*As micro-ondas são uma forma de energia ligada a eletricidade que faz os elétrons vibrarem e emitirem radiação.* [T32A41]

*É uma radiação eletromagnética com baixa frequência e são chamadas de micro-ondas se propagam em linha reta com um caminho entre antena de transmissão e recepção. Os satélites também transmitem sinais para a terra através das micro-ondas que se propagam no vácuo.* [T31A14]

*São ondas eletromagnéticas que se propagam em linha reta, as micro-ondas. São usadas esse tipo de radiação em controles remotos, para esquentar alimentos e diversas outras utilidades.* [T31A19]

*As micro-ondas são geradas a partir de diferentes energias e elas se propagam sempre em linha reta. As micro-ondas são enviadas para terra e podemos usar também para saber a direção, a distância e a velocidade de qualquer objeto.* [T32A34]

Comparando-se os conceitos-em-ação e teoremas-em-ação do quadro V com aqueles do quadro III verifica-se que o conjunto de conceitos utilizados agora para elaborar as respostas à situação-problema é mais adequado para a formulação daqueles teoremas-em-ação que podem ser úteis na estruturação da resposta cientificamente adequada. É claro que alguns esquemas elaborados para responder as questões apresentam conceitos conflitantes. A título de exemplo, considere-se a resposta a seguir:

*São micro-ondas que emitem frequências eletromagnéticas e se propagam em linha reta e são captadas por algum tipo de material refletor que capta ondas e envia para um receptor.* [T31A13]

Esta resposta parece não estar muito próxima da verdade científica, mas com pequenas mudanças poder-se-ia ter a seguinte redação, muito mais adequada: *As micro-ondas, que fazem parte do espectro das ondas eletromagnéticas, se propagam em linha reta. Ao atingirem o material refletor de uma antena, são direcionadas (por reflexão) a um receptor.*

Este aluno parece confundir, ainda, a radiação de micro-ondas com o dispositivo (o forno) de micro-ondas. Isso pode ser compreendido pela intensidade do uso cotidiano da palavra micro-ondas, ainda não suplantado pelo trabalho dos conceitos em sala de aula. Ainda, ao escrever a expressão "frequências eletromagnéticas", este aluno parece compreender que existe uma variedade de ondas eletromagnéticas, uma das quais é a radiação de micro-ondas. Finalmente, ele parece compreender que a antena receptora é composta de uma concha que reflete as micro-ondas, concentrando-as numa região em que se encontra o receptor. De qualquer modo, esses conflitos e desajustes na resposta do aluno não são de surpreender numa situação de avaliação em que outros conceitos trabalhados durante o trimestre estão sendo cobrados. Os conceitos são elaborados e compreendidos num processo lento, sendo necessário que os alunos sejam confrontados com várias e diferentes situações até que consigam elaborar e expressar conceitos efetivamente científicos [21].

Os teoremas-em-ação T1 e T2 do quadro V, assim como vários dos fragmentos de respostas mostrados acima indicam que os alunos agora sabem que, assim como a luz, a radiação de micro-ondas tem propagação retilínea e muda de direção no fenômeno de reflexão por espelhos.

O terceiro teorema-em-ação, em particular, inferido das respostas de três alunos, representa aquele que é, talvez, o elo lógico mais importante de todas as discussões: o mecanismo de produção (ou geração) das ondas eletromagnéticas e, em particular, das micro-ondas. A partir do momento em que um aluno compreende que partículas carregadas (como os elétrons), em movimento oscilatório, podem emitir radiação, não será difícil entender, também, que uma partícula com certa distribuição de carga (como uma molécula, por exemplo) pode absorver radiação e passar a oscilar com maior amplitude e, portanto, com maior energia. Este aluno, então, terá entendido o funcionamento do forno de micro-ondas (entre outros dispositivos).

De modo geral, as respostas dos alunos representam uma evolução nos conceitos, que se mostram articulados por teoremas-em-ação mais adequados ou bem próximos dos teoremas científicos, indicando claramente um avanço nos conhecimentos dos alunos para lidar com situações que envolvam a radiação de micro-ondas. A maior parte dos alunos utilizou o conceito de ondas eletromagnéticas para identificar as micro-ondas e os conceitos de frequência, comprimento de onda e agitação de elétrons para articular teoremas-em-ação mais de acordo com o conhecimento científico. Mesmo que um ou outro aluno tenha feito uso equivocado de certos conceitos, parece que, agora, esses conceitos não deixam de ser significativos para eles.

## E. Sem Evolução dos Invariantes Operatórios

Na categoria E, dos 41 alunos que participaram desta etapa do estudo, três não compareceram à avaliação e 23 foram considerados incluídos na Categoria D, que engloba os alunos que apresentaram evolução significativa nos possíveis invariantes operatórios. Os restantes 15 alunos, dois não responderam a situação-problema proposta e os demais, incluídos na Categoria E (quadro V), não apresentaram evolução nos possíveis invariantes operatórios com o trabalho desenvolvido até a época da avaliação que se está considerando. Os conceitos-em-ação utilizados por eles agora são essencialmente os mesmos utilizados nas respostas à situação-problema inicial 1, como agrupados na Categoria B (quadro III). São conceitos relevantes, mas ainda não totalmente adequados para compor respostas que pudessem ser aceitas cientificamente.

A seguir, transcreve-se alguns fragmentos das respostas desses alunos, que justificam os conceitos-em-ação e os teoremas-em-ação listados no quadro V.

*(...) são radiações que podem ser achadas em quaisquer objetos e funcionam por ondas. [T31A1]*

*(...) se propaga através da radiação e do calor. [T31A15]*

*Micro-ondas são radiações que se propagam no vácuo por meio de ondas de radiação. [T31A18]*

*São ondas magnéticas transmitidas pelas antenas e aquecem causando, se usadas em excesso, doenças. [T31A20]*

*(...) ocorre no vácuo, (...) aumenta a velocidade aumenta a radiação. [T32A28]*

*São ondas mecânicas que geram calor e se propagam em diferentes meios. [T32A38]*

*São micro-ondas e ondas de rádio e são radiações prejudiciais. [T32A40]*

O conjunto dos possíveis conceitos-em-ação contém conceitos não pertinentes à questão, como velocidade e ondas mecânicas, e conceitos parcialmente formados, como ondas magnéticas (em lugar de ondas eletromagnéticas) e ondas de radiação.

Por outro lado, o conjunto dos possíveis teoremas-em-ação não permite formular a resposta requerida, mesmo se todos fossem incorporados em um único texto. O teorema-em-ação T5 é o único estritamente verdadeiro, mas em nada contribui para a solução da questão proposta porque o radar (e o forno de micro-ondas, da questão inicial) funcionam essencialmente em presença da atmosfera. O teorema-em-ação T4, apesar da formulação simplista, até poderia ser considerado verdadeiro se ignorássemos o fato de que o objeto a ser detectado pode estar numa região blindada. De qualquer modo, parece que o trabalho desenvolvido em sala de aula pouco alterou o conhecimento desses alunos, já que eles expressam uma possível ideia (um tanto ingênua) que se pode extrair das notícias veiculadas nos meios de comunicação sobre radares e sonares, em que pese as notícias contrárias, veiculadas nos mesmos meios de comunicação, sobre o uso de blindagem eletromagnética para evitar o contato, via telefone celular, dos detentos com seus comparsas de fora do presídio.

Os teoremas-em-ação T6, T7 e T8 estão muito longe de serem verdades científicas ou representam verdades genéricas que poderiam se referir a muitas outras situações. Relativamente aos teoremas-em-ação T6 e T7, por exemplo, assim como o excesso de ondas, também o excesso de comida, de bebida, de exercício e de barulho podem causar doenças e assim como as micro-ondas e as ondas de rádio, também as ondas do mar, as ondas sonoras e a poluição ambiental podem ser prejudiciais à saúde.

Finalmente, quanto ao teorema-em-ação T8, pode-se, com certo esforço e conhecimento, pensar em mecanismos através dos quais ondas mecânicas sejam absorvidas por objetos, aumentando sua temperatura ou, nas palavras do aluno identificado pela sigla T32A38, gerando calor. No entanto, um tal conhecimento está muito longe do que se pode esperar de um aluno da escola de nível médio. Por isso, é provável que este aluno tenha escrito sua frase sem qualquer entendimento do que estava escrevendo.

Dessa forma, pode-se dizer dos esquemas utilizados pelos alunos que se enquadram nesta Categoria E o mesmo que já foi dito dos esquemas utilizados pelos alunos que se enquadram na Categoria B (quadro III): mostram o uso incipiente de conceitos mais específicos, como os conceitos de onda e de radiação, embora, também como os esquemas utilizados pelos alunos que se enquadram na Categoria A, sem qualquer articulação relevante para resolver a situação-problema proposta. Em outras palavras, os resultados expressos no quadro V indicam que, para esses alunos, as situações trabalhadas foram insuficientes para uma mudança detectável nos seus conhecimentos.

Diante dos resultados encontrados nas análises qualitativas, pode-se concluir que as dificuldades verificadas quando da formulação pelos alunos de respostas supostamente corretas e com um maior rigor científico vêm ancoradas aos referenciais desta pesquisa, a Teoria dos Campos Conceituais. Portanto, é fundamental salientar que o domínio de um campo conceitual por parte do aprendiz, ocorre ao longo de um longo período de tempo, pela experiência, maturidade e aprendizagem [15].

## V. CONCLUSÕES

As atividades desenvolvidas na UEPS consistiam em situações-problema diferentes, com graus de dificuldade crescentes, e foram elaboradas com a intenção de provocar esquemas que explicitassem, de alguma forma, os invariantes operatórios sobre o tema Radiação. Neste trabalho, analisou-se apenas duas situações, circunscrevendo o tema às radiações de micro-ondas.

As dificuldades verificadas quando da formulação pelos alunos de respostas cada vez mais próximas daquilo que se aceita como conhecimento científico relativamente ao tema Radiação e, em particular, de radiações de micro-ondas, já eram, de certa forma, esperadas pela brevidade dos trabalhos em sala de aula. Como já foi salientado na seção em que se apresenta a Teoria dos Campos Conceituais, a construção e apropriação de todas as propriedades de um conceito ou todos os aspectos de uma situação é um

processo de muito fôlego, que pode se estender por anos, com analogias e mal-entendidos entre situações, concepções, procedimentos e significantes.

No entanto, a análise dos dados com base na identificação de conceitos-em-ação e teoremas-em-ação indica que, de um total de 41 alunos que participaram da etapa do estudo em questão, 23 apresentaram evolução sensível nos seus conhecimentos. Desta forma, a proposta desenvolvida para trabalhar o tema das radiações de micro-ondas através de situações-problema, relacionando-o ao cotidiano dos alunos e a seus conhecimentos prévios e integrando-o aos conteúdos clássicos usualmente trabalhados na escola de ensino médio, foi suficiente para que mais da metade dos alunos, no período de alguns meses, conseguisse formular respostas aceitáveis, do ponto de vista do paradigma científico, às situações propostas. É claro que mais alunos poderiam ter alcançado esse objetivo se mais situações-problema fossem propostas, com mais tempo de trabalho.

Por fim, ficou evidente que a participação dos alunos cresceu significativamente no decorrer da implementação da UEPS, tanto nas tarefas individuais quanto nas tarefas em grupo, demonstrando que a utilização de diferentes situações contribuiu para que os alunos explicitassem seus conhecimentos, evoluindo sua capacidade em elaborar respostas científicas às diversas situações com as quais são cotidianamente confrontados e que o professor, formulando estratégias pedagógicas a partir dos conhecimentos prévios dos alunos, pode obter melhores resultados em seu trabalho.

## REFERÊNCIAS

- [1] Terrazzan, E. A., *Perspectivas para a inserção de física moderna na escola média*. Curso de Pós-Graduação em Educação - USP, Tese, São Paulo, (1994).
- [2] Pereira, O. da S., *Raios cósmicos: introduzindo física moderna no 2º grau*. Instituto de Física e Faculdade de Educação - USP. Dissertação. Ensino de Ciências, São Paulo, 1997.
- [3] Ostermann, F. & Cavalcanti, C. J. H., *Física moderna e contemporânea no ensino médio: elaboração de material didático, em forma de pôster, sobre partículas elementares e interações fundamentais*, Caderno Catarinense de Ensino de Física **16**, 267-286 (1999).
- [4] Oliveira, F. F., Vianna D. M., Gerbassi. R. S., *Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores*, Revista Brasileira de Ensino de Física **29**, 447-454 (2007).
- [5] Pinheiro, L. A., *Partículas elementares e interações fundamentais no ensino médio*. 313p. Dissertação Mestrado Profissional em Ensino de Física - Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, (2011).
- [6] Guimarães. A. V., *Uma análise sobre a física moderna no ensino médio*. Monografia apresentada ao curso de Graduação em Licenciatura em Física do Centro de Ciências e Tecnologias da Universidade Estadual do Ceará - Fortaleza, (2011).
- [7] Pinheiro, L. A., *Partículas elementares e interações fundamentais no ensino médio*. 2011. 313p. Dissertação

(Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, (2011).

[8] Guimarães, A. V., *Uma análise sobre a física moderna no ensino médio*. Monografia apresentada ao curso de Graduação em Licenciatura em Física do Centro de Ciências e Tecnologias da Universidade Estadual do Ceará – Fortaleza, (2011).

[9] Griebeler, A., *Inserção de tópicos de física quântica no ensino médio através de uma unidade de ensino potencialmente significativa*. Dissertação - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, (2012);

Cresweel, J. W., Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto. Porto Alegre: Artmed, (2007).

[10] Junior, P. D., *Inovações curriculares em ensino de física moderna: investigando uma parceria entre professores e centro de ciências*. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo. Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências, São Paulo, (2014).

[11] Silva Rodrigues, E., de Oliveira Bezerra, D. and de Moraes Souza, C. J., *Análise das propostas de inserção de Física Moderna e Contemporânea e sua viabilidade de aplicação no ensino médio do sertão central de Pernambuco*, Ciência & Desenvolvimento-Revista Eletrônica da FAINOR **11**, 1 (2018).

[12] Ostermann, F. & Moreira, M. A., *Atualização do currículo de física na escola de nível médio: um estudo dessa problemática na perspectiva de uma experiência em*

*sala de aula e da formação inicial de professores*, Caderno Catarinense de Ensino de Física **18**, 135 – 151 (2001).

[13] Moreira, M. A., Palestra: Grandes desafios para o ensino da física na educação contemporânea, *Guayaquil, Equador: 11ª Conferência Interamericana sobre Enseñanza de la Física*, (2014).

[14] Vergnaud, G., *The theory of Conceptual Fields*, Human Development **52**, 83-94 (2009).

[15] Vergnaud, G., *A Comprehensive theory of representation for mathematics education*, Journal of Mathematical Behavior **17**, 167-181 (1998).

[16] Moreira, M. A., *A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área*, Investigações em Ensino de Ciências **7**, 7-29 (2002).

[17] Ausubel, D. P., *Adquisición y retención del conocimiento: Una perspectiva cognitiva*, (Paidós, Barcelona, 2002).

[18] Moreira, M. A., *Unidades de Ensino Potencialmente Significativas in Aprendizagem Significativa*, Meaningful Learning Review **1**, 43-63 (2011).

[19] Moreira, M. A., *Aprendizagem significativa crítica*, (Instituto de Física da UFRGS, Porto Alegre, 2005).

[20] Cresweel, J. W., *Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto*, (Artmed, Porto Alegre, 2007).

[21] Grings, E. T. O., Caballero, C., Moreira, M. A., Possíveis indicadores de invariantes operatórios apresentados por estudantes em conceitos da termodinâmica, Revista Brasileira de Ensino de Física **28**, 463-471 (2006).