

Investigando a implementação de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa sobre o conceito de Campo Magnético em disciplinas de Física Geral

Glauco Cohen Pantoja^{1,2,3,4}, Marco Antonio Moreira⁵

glaucopantoja@hotmail.com, moreira@if.ufrgs.br

¹Instituto de Ciências da Educação, Programa de Ciências Exatas, Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), Santarém, Pará, Brasil

²Grupo de Aprendizagem Significativa, Interdisciplinaridade e Autoeficácia em Ciências Exatas da UFOPA (GAIA-FISMAT)

³Formação de Professores na Amazônia Paraense (FORMAZON)

⁴Centro Pedagógico de Apoio ao Desenvolvimento Científico da UFOPA (CPADC/UFOPA)

⁵Professor Emérito da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Resumo

Neste trabalho apresentamos os resultados da aplicação de duas Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) para abordar o conceito de Campo Magnético em disciplina de Eletromagnetismo a nível de Física Geral (Ensino Superior) em dois contextos. Empregou-se as UEPS em doze encontros de 100 minutos divididos em sessões de aula expositivo-dialogada em que se abordava o conteúdo de maneira sintética, à qual foi designada carga horária de 40 por cento da aula, e de aula de resolução de problemas em que se punha os alunos a interagirem em atividades de resolução de problemas, à qual se atribuiu 60 por cento da carga horária da aula. Para a análise dos dados, recorreu-se à metodologia da Análise de Conteúdo e se considerou como variáveis inferidas possíveis os modos de conceitualização dos estudantes, estruturas de Invariantes Operatórios utilizados por eles. Usando-se a teoria dos Campos Conceituais para analisar-se os dados, necessitou-se estabelecer uma construção inicial de um Campo Conceitual para o conceito de Campo Magnético, construção esta pautada, a princípio, em parâmetros epistemológicos do conteúdo das Situações. Chegou-se a quatro grandes classes de Situações, das quais duas são discutidas neste trabalho, quais sejam, descrição de interações magnéticas e representação simbólica do Campo Magnético. A partir daí nota-se, no emprego das UEPS, o uso de conhecimentos prévios próximos aos identificados na literatura, a saber, os que possuem ideias de Interação Magnética semelhante à Elétrica e de Campo Magnético como entidade operacional, no caso de Situações para descrever interações magnéticas, e de Campo Magnético como semelhante ao Campo Elétrico, no caso de Situações para representar externamente o Campo Magnético. Ao longo das UEPS evidencia-se um contínuo processo de construção de novas formas de conceitualização mais próximas às científicas, o que parece indicar as UEPS como possíveis Estratégias Didáticas facilitadoras da Aprendizagem Significativa.

Palavras-chave: UEPS; Aprendizagem Significativa; Campo Magnético.

Resúmen

En este trabajo presentamos los resultados de la aplicación de dos Unidades de Enseñanza Potencialmente Significativas (UEPS) para enseñar el concepto de Campo Magnético en una asignatura de Electromagnetismo en nivel de Física General (nivel universitario) en dos contextos. Las UEPS fueron desarrolladas en doce clases de 100 minutos divididas en sesiones de aula expositiva-dialogada en las cuales se discutía el contenido sintéticamente, a la cual fue designada una carga horaria de 40 por ciento de la clase, y de una sesión de resolución de problemas que involucraba poner los alumnos en interacción social en las actividades de resolución de problemas,

a las cuales se atribuyó 60 por ciento de la carga horaria de la clase. Para el análisis de datos, se recurrió a la metodología del Análisis de Contenido y se consideró como variables inferidas los modos de conceptualización de los estudiantes, Invariantes Operatorios que pueden haber sido utilizados por ellos. Utilizándose la teoría de los Campos Conceptuales para analizarse los datos, se necesitó establecer la construcción inicial de un Campo Conceptual para el concepto de Campo Magnético, proceso basado, de principio, en parámetros epistemológicos del contenido de las situaciones que lo compusieron. Se alcanzó cuatro grandes clases de situaciones, de las cuales dos son abordadas en esta investigación, a saber, descripción de interacciones magnéticas y representación simbólica del Campo Magnético. De ahí se nota, en la conducción de las UEPS, la utilización de conocimientos previos próximos a los identificados en la literatura sobre enseñanza de electromagnetismo, o sea, los asociados a las ideas de interacción magnética semejante a la interacción eléctrica, y de Campo Magnético como entidad operacional en el caso de situaciones para describir interacciones magnéticas, y de Campo Magnético como similar al Campo Eléctrico, cuando se trata de situaciones para representar simbólicamente el Campo Magnético. A lo largo de las UEPS se evidencia un continuo proceso de construcción de nuevas formas de conceptualización más cercanas de las científicas, lo que parece indicar las UEPS como posibles estrategias didácticas que pueden proveer condiciones para la ocurrencia de procesos más significativos de aprendizaje.

Palabras clave: UEPS; Aprendizaje Significativo; Campo Magnético.

Investigating the implementation of Potentially Meaningful Teaching Unit on the concept of Magnetic Field in General Physics disciplines

Abstract

In this work we present the results of the application of two Potentially Meaningful Teaching Units (PMTU) to teach the concept of Magnetic Field in an undergraduate level, Basic physics, electromagnetism discipline. We implemented the PMTU in twelve classes divided in expository-dialogued classes in which we presented the content in a synthetic way, to which we designed 40 percent of the total class time, and in problem-solving activities in which we put students to interact among themselves, to which we attributed 60 percent of the total class time. To analyze data, we borrowed Bardin's Content Analysis procedures and we considered as possible inferred variables students' conceptualization modes, structures of Operatorial Invariants possibly used by them. Using the theory of Conceptual Fields to analyze data, it was necessary to establish an initial construction of a Conceptual Field for the concept of Magnetic Field, a construction based upon situations' epistemological parameters. To turn it possible to evaluate Meaningful Learning evidences, we found four broad classes of Situations, from whose two are discussed in this work, namely, Description of Magnetic Interactions and External Symbolic Representation of the Magnetic Field. Based on that we could note, when implementing the PMTU, prior knowledge elements enclosed in possible schemas, nearly similar to the ones identified in literature, that is, the ones conceiving the ideas of identity between Magnetic and Electric Interactions and of Magnetic Field as operational entities, in situations in which it was necessary to Describe Magnetic Interactions, and of Magnetic Fields as similar to the Electric Field, in situations in which it was necessary to Symbolically Represent the Magnetic Field. Throughout the PMTU we evidenced a continuous process of construction of new forms of conceptualization which were closer to the scientific ones, something indicating the PMTU as possible Didactic Strategies to facilitate Meaningful Learning.

Keywords: PMTU, Meaningful Learning, Magnetic Field

Recherche sur la mise en place d'unités d'enseignement potentiellement significatives sur le concept de champ magnétique en physique générale

Résumé

Dans cet article, nous présentons les résultats de l'application de deux unités d'enseignement potentiellement significatives (UEPS) pour aborder le concept de champ magnétique dans le domaine de l'électromagnétisme au niveau de la physique générale (enseignement supérieur) dans deux contextes. Nous avons utilisé les UEPS dans douze réunions de 100 minutes divisées en sessions qui traitait le contenu de manière synthétique. D'abord, une charge de cours de 40% a été attribuée et en suite un cours de résolution de problèmes a été appliquée, dans lequel les étudiants devaient interagir de façon à résoudre les problèmes proposés dans les 60% restant du cours. Pour l'analyse des données, nous avons utilisé la méthodologie d'analyse de contenu et nous avons

considéré comme variables possibles les formes de conceptualisation, structures de Invariants Opératoires utilisés par ils. En utilisant la théorie des Champs Conceptuels pour analyser les données, il était nécessaire d'établir une construction initiale d'un champ conceptuel pour le concept de champ magnétique, construction reposant d'abord sur des paramètres épistémologiques du contenu de situations. Quatre grandes catégories de situations ont été atteintes, dont deux sont décrites dans le présent document, à savoir, description des interactions magnétiques et la représentation symbolique extérieure du champ magnétique. De ce fait, il est noté, dans l'utilisation de l'UEPS, des connaissances antérieures contenues dans des schémas possibles proches de ceux identifiés dans la littérature, à savoir, ceux qui ont des idées d'interaction magnétique similaires à celles des champs électriques et magnétiques en tant qu'entité opérationnelle, dans le cas de situations décrivant les interactions magnétiques, et de champ magnétique comme similaire au champ électrique, dans le cas de situations représentant extérieurement le champ magnétique. À travers les UEPS, il existe un processus continu de construction des nouvelles formes de conceptualisation plus proches des scientifiques, ce qui semble indiquer que les LIF sont des stratégies didactiques possibles qui facilitent l'apprentissage significatif.

Mots clés: UEPS, Apprentissage Significative, champ magnétique

1. INTRODUÇÃO

Há muito tempo, em especial a partir da década de 70, diversos pesquisadores da área de Ensino de Ciências vêm mapeando diversas dificuldades dos alunos no domínio de conceitos científicos (Wandersee, Mintzes & Novak, 1994). Considera-se que diversas destas dificuldades têm origens cognitivas (tanto procedimentais ou declarativas, como ontológicas ou epistemológicas), atitudinais e sociais. Neste panorama, destaca-se um Ensino não ativo, isto é, essencialmente transmissivo (Furió, Guisasola, Almudí & Cerberio, 2003), focado essencialmente no professor, além de atividades didáticas focadas em uma suposta (e enganosa) linearidade do conteúdo científico a ser ensinado, ou seja, empreendimentos didáticos desconsiderando a complexidade, a problematização e as rupturas científicas.

Com o uso exclusivo da narrativa, pode haver um tolhimento, em alguns aspectos, da participação ativa do estudante na construção de conhecimentos. A menos que a aula meramente expositiva seja cuidadosamente planejada para facilitar, a todo tempo, a interação entre conhecimentos científicos e conhecimentos a serem ensinados (Ausubel, 2000), e que essa permita a possibilidade de participação dos alunos durante o processo, a aula expositiva, em geral, foca-se em um conhecimento a ser ensinado aos aprendizes, a saber, o do professor. Diminuir a narrativa e enfatizar os problemas é um dos pontos fundamentais a ser modificado na sala de aula, pois estes processos podem facilitar a explicitação e o desequilíbrio cognitivo por parte do estudante (Vergnaud, 1996).

Tomar a Ciência como um empreendimento linear é uma aposta igualmente perigosa neste contexto, uma vez que a Ciência progride a partir não só de continuidades do que Kuhn (1962) chamaria de Ciência Normal, ou Lakatos (1970) de fertilidade de um programa de Pesquisa, mas especialmente em termos das rupturas, períodos entendidos por Kuhn (1962) como crises, e por Lakatos (1970) como suplantação de um programa de pesquisa fértil por um degenerescente. Deve-se apresentar uma visão de Ciência mais honesta e mais complexa que a Empirista/Indutivista, que o encara como busca linear pela verdade, para que os alunos aprendam não somente o significado dos conteúdos científicos, mas também a natureza da sua produção.

Moreira (2011) propõe as Unidades de Ensino Potencialmente Significativas, um modelo de Sequência Didática, embasado em premissas construtivistas, que visa facilitar a Aprendizagem Significativa. A proposta deste autor se afasta radicalmente do uso excessivo da narrativa e do ensino linear, pois busca, a todo tempo e de diversas maneiras, o vínculo entre conhecimento prévio dos estudantes e o conhecimento a ser ensinado, seja através do uso de Situações-problema potencialmente significativas, pelo uso de princípios programáticos oriundos da teoria Ausubeliana da Aprendizagem Significativa ou por outros princípios articuláveis aos dois já citados.

Enfocamos o estudo do conceito de Campo Magnético, pois além de ser conceito universalmente presente em currículos escolares, é um conceito necessário para explicar-se muito da tecnologia que se desenvolveu, em especial, a partir do século XIX. O funcionamento de motores e geradores elétricos, a emissão de ondas eletromagnéticas e outros importantes fenômenos como, por exemplo, a aurora Boreal ou a defesa das tempestades solares necessitam do conceito de Campo Magnético para serem explicados. Ademais de isso, o conceito de Campo Magnético se relaciona ao de função, por exemplo, um importante elemento matemático, bem como é um conceito de difícil aquisição como atestam diversas pesquisas (Guisasola, Almudí & Furió, 2004).

Muitos trabalhos vêm produzindo, ao longo do tempo, algum conhecimento sobre o Ensino de Magnetismo conforme indicado por Pantoja (2015), segundo sua revisão de literatura. Guisasola et al. (2004) destacam, por exemplo, que livros didáticos tendem a abordar o conteúdo de Campo Magnético em uma perspectiva epistemológica caracterizada pela ausência de problematização e pelo viés empirista ingênuo. Já autores como Guisasola, Almudí e Zubimendi (1998), Guisasola et al. (2004), e Brandamante e Viennot (2007) apontam para diversas dificuldades dos estudantes tais como:

- Problemas na identificação de objetos-fonte e objetos-teste para o Campo Magnético;
- Incompreensão operacional do Campo Magnético;
- Não entendimento da ontologia do Campo Magnético e confusão deste com o Campo Gravitacional;

- Atribuição de Magnetismo a uma substância mágica presente em Imãs;
- Confusão entre Campo Elétrico e Campo Magnético.

Ainda, no que tange ao estado da arte, porém com respeito ao uso de UEPS no eletromagnetismo, os trabalhos encontrados nesta área, tais como de os Lopes (2014), Barros (2015), Rocha (2015), Teixeira (2016), Tres e Santos (2016), e Spohr, Garcia e Santarosa (2017), estão todos voltados à análise de processos de aprendizagem significativa na etapa predicativa do conhecimento (Vergnaud, 2009) e em nível de ensino médio, vale a pena debruçar-se sobre um estudo empírico sobre as UEPS em uma perspectiva diferente, qual seja, usando como variável um construto relacionando tanto ação como representação, a saber, a conceitualização, de estudantes de ensino superior, objetivo principal deste trabalho.

Tendo contextualizado tanto a importância de estudar-se a temática “Campo Magnético” quanto a relevância das UEPS como possível metodologia para facilitar a construção significativa de novas estruturas cognitivas para lidar com Situações envolvendo o conceito de Campo Magnético, cabe-nos agora propor a seguinte pergunta norteadora da Investigação:

- Que formas de conceitualização do conceito de Campo Magnético estudantes de nível superior de duas instituições de distintas regiões do Brasil desenvolvem durante uma UEPS?

Esta pesquisa está vinculada à tese de doutorado do autor (Pantoja, 2015). Na sequência discutimos o referencial teórico que define o que é entendido por conceitualização nesta pesquisa.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção estabelecemos um paralelo entre o que Ausubel (2000) define por aprendizagem significativa e o que Vergnaud (1982) denomina por conceitualização, que é o estabelecimento de referência às situações usando conceitos, neste caso o de Campo Magnético. A teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud (2009) permite ir além do que está posto por Ausubel, pois: possibilita descrever a aprendizagem significativa na etapa operatória do conhecimento; dá descrições sobre os processos de interação entre conhecimento prévio relevante e conhecimento novo a ser aprendido.

Aprendizagem Significativa, em sua definição original (Ausubel, 2000) corresponde à interação não-arbitrária e não-literal de conhecimentos prévios relevantes e conhecimentos novos a serem aprendidos de maneira que o produto fenomenológico, explícito, claro, estável e diferenciado, desta interação é o significado. Vergnaud (2009) chama atenção para o fato de que o conhecimento presente em estruturas cognitivas, na maioria das vezes, não se expressa nesse formato, por ser frequentemente implícito, operatório, e não necessariamente organizado. O autor, na apresentação da sua teoria dos campos conceituais, dá outra tônica à aprendizagem (e ao desenvolvimento, em especial), justamente por discutir o que é conhecimento antes mesmo de dizer como ele é aprendido.

Um conceito, para o autor, é tomado como um triplete significado – significante – referente. Esta última entidade, excluída das definições clássicas de conceito (Vergnaud, 2007), é o que torna um conceito útil e significativo.

Conceitos servem à resolução de problemas e estes dão sentido aos primeiros. Dominar um conceito envolve, por sua vez, a adaptação (assimilação e acomodação) às Situações às quais o conceito se refere. O conceito também possui significado, ou seja, conteúdo epistemológico, e um significante, que representa as outras duas classes. Desta forma, para Vergnaud (2009), o conhecimento estaria organizado em campos conceituais, conjuntos informais e heterogêneos de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações de pensamento, relacionados e, possivelmente, entrelaçados durante os processos de Desenvolvimento e de Aprendizagem (Vergnaud, 2009). Conceitualizar seria, então, adaptar-se a Situações usando conceitos, nada mais que um dos elementos fundamentais de um processo de Aprendizagem Significativa.

Mas o que se adapta às Situações? Os Esquemas, que são, para Vergnaud (2009), estruturas cognitivas organizando a ação de maneira invariante para uma classe de situações. São totalidades dinâmicas funcionais, pois dão à ação um caráter organizado sem engessá-la. São compostos por: metas, antecipações ao que se requer na situação; teoremas-em-ação, afirmações tomadas como verdadeiras sobre as situações, e conceitos-em-ação, categorias tomadas como pertinentes, tomados neste trabalho como o conhecimento prévio dos estudantes; regras de ação, regras do tipo “se... então” que são as geratrizes dos Esquemas; e possibilidades de inferência, que permitem a evolução em um contexto de constante mudança.

Para Vergnaud (2009) os invariantes operatórios, classificados em teoremas-em-ação, proposições consideradas como verdadeiras sobre o real, e conceitos-em-ação, categorias tomadas como pertinentes, constituem a base conceitual *implícita* ou *explícita* presente em um Esquema. Eles que nos permitem buscar e selecionar informações, além de referir-nos às Situações. Em suma, são o conteúdo dos Esquemas, embora possam existir desvinculados destes.

Os teoremas-em-ação e conceitos-em-ação são, então, os constituintes fundamentais da conceitualização, que carrega consigo tanto elementos de ação como de representação (simbólica ou não). Desta forma, analisa-la como variável pode nos dar uma mirada mais profunda do que o estudo de conceitos explícitos apresentados pelos estudantes como faria a abordagem Ausubeliana. Utilizamos, indistintamente, as expressões forma de conceitualização e modo de conceitualização para nos referirmos a agrupamentos de teoremas-em-ação para a construção da solução de um problema, isto é, como um construto para representar o processo de conceitualização.

Vale lembrar que os modos de conceitualização não são necessariamente Esquemas, para o serem, necessitam ter a característica de organizarem a conduta de maneira invariante frente a uma classe de Situações. A ação tem característica dupla para Vergnaud: sistemática e às vezes contingente. Quando nas situações há regras unívocas como, por exemplo, processos impostos ou usos de algoritmos, é sistemática. Por outro lado, é contingente, pois as regras de ação dependem dos parâmetros da Situação, em especial, quando para situações novas, para as quais o sujeito não dispõe de esquemas e deve improvisar, o que transforma a contingência em oportunismo, de modo que o indivíduo deve fazer uso da totalidade dos seus recursos cognitivos, buscando invariantes operatórios presentes em esquemas

antigos ou aprendidos durante o processo (Fanaro, Otero & Moreira, 2011). Aí surgem modos de conceitualização que não necessariamente são esquemas.

As variáveis utilizadas nesta pesquisa foram, então, o uso de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (variável independente) e a conceitualização dos estudantes (variável dependente), caracterizada pelos grupos de invariantes operatórios, teoremas-em-ação e conceitos-em-ação, utilizados pelos indivíduos para lidar com as Situações que se lhe apresentavam. A seguir, na seção da metodologia, descrevemos como foi realizado o emprego das UEPS (metodologia didática) e como se empregou a análise da conceitualização (metodologia investigativa).

3. METODOLOGIA

Tendo feito uma problematização inicial acerca do trabalho e discutido acerca do referencial teórico, descreve-se agora a construção das Unidades de Ensino Potencialmente Significativas implementadas no processo de investigação e como seus resultados foram avaliados. A primeira desenvolvida em uma turma da disciplina de Física III (Eletromagnetismo) de uma Universidade do Sul do Brasil, e a segunda a outra turma da mesma instituição mencionada e em uma da região Norte do Brasil.

3.1. Metodologia didática

Em linhas gerais uma UEPS é uma Unidade de Ensino que visa ser Potencialmente Significativa, isto é, ela apresenta a possibilidade de os alunos: relacionarem seu conhecimento prévio ao conhecimento a ser ensinado; estabelecerem relações conceituais entre os conteúdos apresentados; socializarem ideias ou mesmo construir modelos mentais para abordar situações novas. É uma Unidade de Ensino que busca prover condições para aprendizagem ativa, significativa e crítica. Para melhor explicar o formato das UEPS, enumeraremos seus dez princípios e seus oito passos.

Apresentamos a seguir os princípios norteadores das UEPS (Moreira, 2011): 1) O conhecimento prévio é a variável isolada mais importante na Aprendizagem; 2) Aprendizagem Significativa envolve uma integração positiva entre pensamentos, sentimentos e ações; 3) A Aprendizagem Significativa requer pré-disposição dos aprendizes; 4) Situações dão sentidos a conceitos; 5) Situações novas necessitam de Modelos Mentais para serem resolvidas; 6) Utilização dos princípios da diferenciação progressiva, reconciliação integradora, organização sequencial e consolidação; 7) A Aprendizagem é um processo progressivo: envolve filiações e rupturas; 8) O professor deve ser um provedor de Situações-Problema Potencialmente Significativas; 9) Um episódio de Ensino envolve uma relação triádica entre aluno, professor e materiais educativos visando o compartilhamento de significados aceitos cientificamente; 10) A Aprendizagem Significativa deve ser crítica. Embora estes princípios sejam trazidos de diversas teorias de Aprendizagem, eles estão postos como princípios programático e nos restringimos à teoria dos Campos Conceituais para a análise dos resultados.

Os oito passos da UEPS de Campo Magnético baseados na proposta de Moreira (2011), sintetizada por Pantoja (2015), são arrolados a seguir: 1) Definir o tópico específico a ser abordado; 2) Criar e propor situações-problema (para levar o aluno a explicitar seu conhecimento); 3) Propor

situações-problema em nível introdutório (levando em conta o conhecimento prévio do aluno¹) para facilitar a introdução do conhecimento que se quer ensinar; 4) Retomar aspectos mais gerais do conteúdo a ser ensinado/aprendido em um maior nível de complexidade, dar novos exemplos e seguir a reconciliação integradora; 5) Propor e discutir em grande grupo, novas situações-problema em maior nível de complexidade que as anteriores; 6) Concluir a unidade dando seguimento ao processo de diferenciação progressiva retomando as características mais relevantes do conteúdo, buscando ao mesmo tempo a reconciliação integradora; 7) Realizar a avaliação individual somativa. Nesta avaliação devem ser propostas situações-problema que impliquem compreensão e que evidenciem captação de significados; 8) Análise do êxito da UEPS

Cada aula da UEPS tinha uma hora e quarenta minutos de. Desta forma, dividiu-se cada uma das duas partes, sendo uma de no máximo 40 minutos, à qual deu-se o nome de aula expositivo-dialogada (AE), e outra de no mínimo 60 minutos, à qual chamou-se de aula de resolução de problemas (RP). As UEPS de Campo Magnético tiveram, no total, 12 aulas.

A AE tinha como objetivos: guiar a Aprendizagem de novos conceitos; estimular o diálogo, a crítica e a discussão de significados; facilitar a organização de conhecimentos. Pode-se utilizar neste período não somente quadro e giz (ou pincel, atualmente), mas também diagramas-V, simulações computacionais ou mapas conceituais: o foco está na organização do conhecimento.

A RP tinha como metas principais: guiar procedimentos de Resolução de problemas; estimular o pensamento recursivo e operacional; facilitar a explicação do conhecimento na forma operatória e conscientizar os aprendizes dos seus próprios invariantes operatórios. Foi possível utilizar neste período não somente exercícios clássicos de livro-texto, mas também problemas abertos, atividades de Modelagem Computacional e outros.

Dada esta explicação inicial acerca de como foi dividida cada aula na UEPS expusemos, no quadro 1, como estes passos foram construídos e os princípios articulados para desenvolver a UEPS.

Cabe destacar que nas duas últimas aulas antes da avaliação somativa, pudemos retomar a ideia de Campo Magnético criado por Carga em Movimento, Força Magnética exercida sobre Carga em Movimento, Fluxo do Campo Magnético e Circulação do Campo Magnético para explicar o que decidimos denominar Indução Magnética e de Magnetização, bem como a relação destes com um Campo Magnético interagindo com um material magnético. Distinguimos e apresentamos as semelhanças nos três casos, de forma a tornar possível relacionar o Campo Magnético criado por materiais com momento magnético permanente com o momentum angular das Cargas Elétricas em movimento, o que para nós apresenta-se, ao mesmo tempo, como diferenciação progressiva e reconciliação integradora

¹ Pode-se questionar: como levar em conta o conhecimento prévio do aluno? Pudemos nos basear na atividade inicial. Nesta atividade, os alunos podiam externar seu conhecimento prévio ou mesmo usá-lo na ação, o que nos permitiu realizar certas inferências acerca das Representações sustentadas por eles e dos seus conhecimentos-em-ação. Uma base importante para ajudar nesta inferência toma como princípio, também, os dados obtidos na revisão da literatura, com a qual o trabalho estabelece forte relação. Deve-se ressaltar, no entanto, que estas inferências são aproximadas e visam uma interação inicial com este conhecimento prévio.

A seguir descrevemos o contexto de pesquisa, o modo pelo qual foi realizada a coleta de dados, bem como apresentamos a análise dos dados.

S	A	Descrição
1	0	Escolha do conceito de Campo Magnético.
2	1	RP: apresentação de um conjunto de oito problemas nos quais os estudantes deveriam discursar sobre o conceito de Campo Magnético ou escolher uma alternativa dentre quatro apresentadas.
3		AE: apresentação de uma visão histórica sobre o Magnetismo e problemas envolvendo ressonância magnética, alto-falantes, motores, galvanômetros, etc, com vistas a preparar o terreno para a introdução do conteúdo.
4	2	AE: trabalho com a lei de Gauss do Magnetismo; relação do Comportamento do ímã e de sistemas simples condutores de Corrente Elétrica (espiras e solenoides) ao caráter solenoidal do Campo Magnético. RP: proposição de três problemas com ímãs envolvendo a utilização da lei de Gauss do Magnetismo para embasar-se com fins de representar o Campo Magnético destes objetos.
	3	AE: reforço do caráter solenoidal dos Campos Magnéticos; introdução da Corrente Elétrica como fonte do Campo Magnético (Lei de Ampère); comparação das equações de Circulação da Eletricidade e do Magnetismo. RP: problematização da distinção entre Circulação e Campo Magnético; relacionamento conceitual de ímãs às correntes elétricas.
	4	AE: cálculo de Campos Magnéticos devido a sistemas simples de Corrente Elétrica (toróide, solenoide e fio). RP: cálculo do Campo Magnético da Bobina toroidal; comprovação da validade das leis do Magnetismo (Gauss e Ampère) para este sistema.
	5	AE: diferenciação do conceito de Corrente Elétrica - discussão de sua natureza; de sua relação com o Campo Magnético; diferenciação entre o “movimento térmico” e o movimento ordenado de portadores de Carga Elétrica. RP: conceitualização e problematização do “efeito joule”; distinção das velocidades de propagação do Campo Elétrico e da velocidade de deriva.
5	6	AE: retomada da Força Magnética exercida pelo Campo Magnético sobre uma carga em movimento, usando uma simulação no programa Modellus; Apresentação da Lei de Lorentz e estabelecimento de relação entre Campo e Força Magnéticos. RP: inferência da trajetória seguida por uma Carga Elétrica em movimento numa região de Campo Magnético uniforme.
	7	AE: apresentamos a Força Magnética sobre um fio conduzindo corrente a partir da lei geral de Lorentz, assim pudemos relacionar dois problemas aparentemente distintos sob o mesmo olhar da lei geral de Lorentz. RP: trabalho com Forças exercidas sobre fios de Corrente Elétrica; trabalho com Campos Magnéticos gerados por Corrente Elétrica.
	8	AE: retomada do conceito de Campo Magnético; relação direta entre Corrente e Campo usando a lei de Biot-Savart.
	9	AE: comparação explícita das características gerais do Campo Elétrico e do Campo Magnético ² ; comparação das equações de Fluxo e de Circulação; comparação das equações de Força Elétrica e Magnética; comparação das fontes de Campo. RP: comparação das trajetórias seguidas por uma partícula em uma região de Campo Elétrico e em uma região de Campo Magnético apontados na mesma direção; comparação entre Equações de Campo.
6	10	AE: discussão dos conceitos de materiais diamagnéticos e paramagnéticos. RP: construção de um mapa conceitual comparando os Campos Elétrico e Magnético
	11	AE: discussão do conceito de materiais ferromagnéticos. RP: Nesta aula, apresentou-se um exercício para que pudessem calcular a temperatura na qual momentos de dipolo permanentes em uma determinada amostra de material seriam invertidos em 180 graus.
7	12	AE: Não houve. RP: avaliação envolvia questões perpassando por todo o conteúdo apresentado. Algumas mais problemáticas, outras com formato mais clássico de livro-texto.
8	-	Análise das concepções dos estudantes em termos de modos de conceitualização dos estudantes.

Quadro 1: Coordenação dos aspectos sequenciais e aulas das UEPS

² Só houve no estudo I. No estudo II, passou-se direto ao estudo dos materiais ferromagnéticos.

3.2. Metodologia Investigativa

Para a realização da coleta de dados, trabalhou-se com uma UEPS de Campo Magnético em dois contextos. O primeiro envolvia uma turma da disciplina de Física III (oferecida por uma Universidade do Sul do Brasil), composta por 17 alunos, cuja faixa etária estava entre 19 e 29 anos de idade. O segundo envolvia uma turma da disciplina de Física III, voltada para a Engenharia Física, (oferecida por uma Universidade do Norte do Brasil), composta por 11 alunos, de faixa etária semelhante à do primeiro contexto. Os dados foram coletados durante as aulas e os estudantes aderiram à investigação na pesquisa aqui relatada de forma voluntária e consciente. Para a coleta destes dados utilizamos diversos recursos, tais como: resoluções de problemas de lápis-e-papel, mapas conceituais (produzidos pelos alunos) e registros de discussões com os alunos através de notas de campo (Bogdan & Biklen, 1994). Conforme já mencionado na Metodologia Didática, o período de coleta de dados tomou doze aulas, ou seja, quatro semanas, pois em ambos os casos tínhamos seis tempos de 50 minutos por semana. Cada aula à qual refere-se no texto equivale a dois tempos de 50 minutos. A abordagem de investigação é similar ao trabalho já desenvolvido por Pantoja (2015), por isto apresentamos com menor detalhamento o processo.

Para analisar os dados obtidos durante a implementação da UEPS, apropriamo-nos de elementos de uma técnica bastante conhecida na pesquisa em Ciências Humanas e Sociais, a análise de conteúdo. Esta técnica visa inferir as condições de produção de uma determinada mensagem a partir de indicadores presentes no texto. Adiantamos, no entanto, que há uma parcela por nós ignorada a respeito da Metodologia de Bardin (2008), respectiva à insinuação positivista de sua obra, dado a autora parecer dar uma ideia de alcance de uma verdade tangível, isto é, a sugestão da possibilidade de alcançar-se uma, e somente uma (a verdadeira), versão objetiva do conteúdo e das condições de produção deste. A nosso ver, as formas de conceitualização são construtos, portanto inobserváveis diretamente, que podem ser inferidas a partir de observáveis, tais como gestos, textos, falas, dúvidas e lacunas na enunciação de conceitos, por exemplo. Tais construtos são, no entanto, diferentes das evidências observáveis que servem de indicadores de sua existência.

Embasamo-nos numa perspectiva realista científica de Mario Bunge (2010), na qual distingue os fenômenos (observáveis) dos númenos (construtos). Os registros textuais (falas, textos, dúvidas, lacunas conceituais) produzidos pelos estudantes, observáveis, depois de analisados constituem fenômenos que podem ser comparados com possíveis inferências construídas a partir dos númenos (teoremas-em-ação e conceitos-em-ação).

Bardin (2008) acredita ser possível inferir variáveis a partir da análise cuidadosa das mensagens escritas, e elas podem ter diversas naturezas. Buscou-se em Vergnaud (2009) uma forma de fundamentar esta análise teoricamente em termos da conceitualização, bem como buscou-se apoio no conteúdo de eletromagnetismo e em alguns modelos históricos associados ao Campo Magnético para poder construir categorias de análises que se objetivou aplicar para descrever os raciocínios dos estudantes. Estas variáveis inferidas são, portanto, descrições, na forma de

construtos teóricos (númenos), de possíveis processos cognitivos empregados por estes alunos.

De muita valia permanece, outrossim, os métodos e técnicas de Bardin (2008) para a realização de investigação cujo perfil se enquadra no proposto neste trabalho. A autora divide a análise de conteúdo em três etapas, quais sejam: pré-análise, na qual ocorre a escolha dos documentos a partir da leitura flutuante destes; exploração do material, na qual ocorre a atribuição de índices aos indicadores; e tomada de inferências, na qual ocorre a construção das inferências das condições de produção.

Na *pré-análise* buscou-se realizar leituras flutuantes, construir as primeiras hipóteses acerca dos possíveis raciocínios que os estudantes pudessem empregar, selecionar o corpus da pesquisa e produzir índices e indicadores para orientar a exploração do material. Preocupou-se em fazê-lo durante o período em que se implementava as UEPS para articular os dados das notas de campo com os registros das atividades propostas a eles nas seções de resolução de problemas. O objetivo era analisar os possíveis teoremas-em-ação e conceitos-em-ação (Vergnaud, 1982) utilizados pelos estudantes no confronto com situações novas.

Na *exploração do material* visou-se, em um primeiro momento, a análise de conhecimentos-em-ação evidenciados por estudantes e, posteriormente, a organização destes conjuntos. Tal análise gerou uma lista de conhecimentos-em-ação (disposta nos resultados) evidenciados pelos sujeitos em situação e uma lista de classes de situações, consultada em trabalhos prévios (Pantoja, 2015). Buscou-se comparar os indicadores observáveis (registros textuais) com as conclusões obtidas com o trabalho a partir de respostas possíveis de serem obtidas com as formas de conceitualização produzidas (agrupamentos de teoremas-em-ação e conceitos-em-ação), a partir do encadeamento de possíveis regras de ação. Após a construção destas, visou-se identificar os objetivos (metas) atribuídos pelos alunos no confronto com as situações, as inferências produzidas (a partir das respostas dadas) e os conhecimentos-em-ação utilizados, de forma a identificar, a partir destas estruturas cognitivas, as possíveis formas de conceitualização dos estudantes.

A seguir apresentamos um exemplo de como fizemos as análises. Começamos enunciando a Situação (Pantoja, 2015):

“Suponha que uma pequena espira de corrente seja colocada em um solenóide muito comprido. O seu momento de dipolo magnético forma um ângulo θ em relação à direção do Campo Magnético. a) descreva qualitativamente e quantitativamente (por meio de algumas poucas expressões – uma é suficiente) o que ocorre com esta espira de corrente.”

A resposta do estudante L, na avaliação somativa, é uma retomada de uma resposta dada na tarefa inicial e esta foi uma das evidências tomadas como critério para classificar a interação entre estrutura cognitiva e situação como associada a um esquema. Ela está posta a seguir:

“O Solenoide tem uma Carga Elétrica que gera o Campo Magnético através de uma diferença de Potencial, o Campo Magnético do Solenoide alinha o Sistema de Partículas”.

O objetivo da Situação é *descrever interações magnéticas* e isto fica claro pela evidente presença de uma corrente de prova referenciada pela pequena espira

conduzindo corrente elétrica, dotada de momento de dipolo magnético, e uma corrente de fonte, cujo campo magnético é o relevante para discutir a interação, a saber, o solenoide. Há ainda a visível demonstração de que responder a esta questão perpassa por estudar o torque resultante sobre a espira de corrente devido ao Campo Magnético do solenoide. Desta forma, pode-se partir para a análise de se o estudante entendeu o objetivo da situação, ao que concluímos que, sim, ele capta qual a meta em questão ao juntar na mesma explicação a dinâmica da corrente elétrica de prova causada pela influência do campo magnético da corrente de fonte, qual seja, o solenoide.

Os elementos de conceitualização são parcialmente explícitos e parcialmente implícitos. Vamos sublinhar, em primeiro momento, os conceitos-em-ação explicitamente presentes na situação, destacando evidências destes em negrito no excerto:

*“Suponha que uma **pequena espira de corrente** seja colocada em um **solenóide muito comprido**. O seu **momento de dipolo magnético** forma um **ângulo θ** em relação à **direção do Campo Magnético** [do solenoide]. a) **descreva qualitativamente e quantitativamente (por meio de algumas poucas expressões – uma é suficiente) o que ocorre com esta espira de corrente.**”*

Percebe-se que temos os seguintes teoremas-em-ação (em itálico e sem subscrito) explícitos:

- a) *A **espira de corrente** é muito **pequena**.*
- b) ***Espiras** podem conduzir **corrente elétrica**;*
- c) *O **solenóide** do problema é **muito comprido**;*
- d) ***Espiras** conduzindo **corrente elétrica** possuem **momento de dipolo magnético**;*
- e) *Existe um **ângulo θ** entre o **Campo Magnético** e o **Momento de Dipolo Magnético**;*
- f) ***Solenóides** conduzindo **corrente elétrica** possuem **Campos Magnéticos**;*

Para a resposta do aluno L, temos:

*“O **Solenóide** tem uma **Carga Elétrica** que gera o **Campo Magnético** através de uma **diferença de Potencial**, o **Campo Magnético** do **Solenóide** alinha o **Sistema de Partículas**”.*

Pela leitura direta da resposta fica perceptível a presença dos teoremas-em-ação explícitos (em itálico e com subscrito discriminando entre implícito *i* e explícito *e*):

- a_e) *O **solenóide** tem uma **carga elétrica**;*
- b_e) ***Carga Elétrica** cria **Campo Magnético**;*
- c_e) ***Carga Elétrica** produz **Diferença de Potencial**;*
- d_e) ***Diferença de Potencial** produz **Campo Magnético**;*
- e_e) *O **solenóide** possui um **Campo Magnético**;*
- f_e) *O **Campo Magnético** alinha **espiras de corrente elétrica**.*

Há uma certa concordância entre os invariantes operatórios explícitos evidenciados pelo estudante e os invariantes operatórios explícitos da situação. Seria possível prosseguir a análise a partir daí, e inclusive chegar na conclusão de que o estudante confunde os Campos Elétrico e Magnético e que deduz disto uma interação elétrica que alinha os momentos das espiras, porém há mais coisas a se reparar, no que tange aos teoremas-em-ação implícitos, e que inclusive reforçam esta inferência. Sigamos aos teoremas-em-ação implícitos nas situações:

- g) ***Corrente Elétrica** interage com **Campo Magnético**;*

h) ***Solenóides** muito **compridos** conduzindo **correntes elétricas** produzem **campos magnéticos uniformes**;*

i) *A **espira** é um **dipolo magnético**.*

j) *Existe um **Torque Magnético** produzido pelo **Campo Magnético** sobre um **Dipolo Magnético**;*

k) ***Dipolos Magnéticos** possuem **Momento de Dipolo Magnético**.*

l) ***Solenóide** é uma **corrente elétrica de fonte**;*

m) ***Espira** é uma **corrente elétrica de prova**;*

n) ***Solenóide** e **espira** devem interagir via **Torque Magnético**;*

Embora estes invariantes operatórios sejam implícitos, eles parecem óbvios a um leitor com conhecimento mais aprofundado em eletromagnetismo. O mais interessante é que mesmo assim, em explicações de professores, estes elementos pouco são levados em conta explicitamente. O primeiro teorema-em-ação pode ser tomado como premissa em situações como esta, o *h*) só pode ser obtido depois de árduo cálculo usando a lei de Biot-Savart ou a de Ampère para esta aproximação, o *i*) também é obtido a partir da lei de Biot-Savart para regiões muito distantes da espira, onde valha a aproximação de dipolo magnético, o *j*) é igualmente complexo, pois exige cálculos da Força e do Torque Magnéticos sobre uma espira (em geral, com formato definido – circular ou retangular), o *k*) decorre da definição de momento de dipolo magnético, o *l*) e o *m*) são aproximativos, porém bem especificados e claros no problema e o último, *n*) é a junção de todos os outros e conta como o teorema-em-ação que contaria como a solução para este problema se vislumbrada pelo aluno. Damos um passo a frente e afirmamos que a leitura de um enunciado junto a um estudo aprofundado da situação é uma condição *sine qua non* para o domínio de situações, e mais, é necessária a percepção de invariantes operatórios implícitos no enunciado, que sejam explicitados pelos alunos para que haja avanço na conceitualização. O professor tem papel de conduzir os alunos neste complexo processo de aprendizagem. Passamos a seguir a enunciar os teoremas-em-ação implícitos notados para o aluno em nossa análise:

a_i) *A **espira de corrente elétrica** possui **carga elétrica**;*

b_i) ***Forças Magnéticas** e **Campos Magnéticos** se **superpõem**;*

c_i) *O **alinhamento do Momento de Dipolo Magnético** com o **Campo Magnético** implica em uma **rotação** que deixa estes **vetores paralelos**.*

Se por um lado os teoremas-em-ação explícitos são facilmente visualizados, os implícitos, por outro, não o são tanto. O primeiro teorema-em-ação só faz sentido do ponto de vista da equivalência entre o solenóide, que para o aluno possui carga elétrica, e a espira. O segundo só fica evidente se prestarmos atenção à afirmação de que o Campo Magnético alinha um “sistema de partículas” – o estudante parece compreendê-lo como um conjunto de pequenas espiras. Já que ao alinhar um sistema de partículas, ocorre uma sobreposição dos efeitos magnéticos exercendo rotação (e aí entra o terceiro em jogo) sobre os momentos de dipolo magnéticos das espiras. O terceiro dá sentido à ideia de que o Campo Magnético vai alinhar algo que, supostamente, tem carga elétrica. E é na junção das ideias explícitas e implícitas que sai a resposta ao problema: “o Campo Magnético/Elétrico alinha o sistema de partículas”.

Seguimos com um conjunto de regras de ação, pois esta ideia da confusão entre Campo Elétrico e Magnético foi notada para o aluno L na avaliação diagnóstica e assim parecia já estar sistematizada (quadro 4). Fazendo a junção destas ideias, chegamos aos seguintes teoremas-em-ação possivelmente usados para vislumbrar a resposta à questão³:

- 1) *Carga Elétrica é fonte de Campo Magnético* (b_e, a_i);
- 2) *A Interação Magnética é descrita por uma Força Elétrica* (c_e, d_e, e_e, f_e);
- 3) *Força Magnética e Campo Magnético são grandezas distintas* (f_e);
- 4) *Campos magnéticos e Forças Magnéticas satisfazem ao princípio da superposição* (b_i);
- 5) *Energia magnética está no campo elétrico* (d_e);
- 6) *Campo Magnético é idêntico ao Campo Elétrico* (a_e, c_e, d_e);
- 7) *Campo Magnético medeia a interação elétrica* (f_e, a_i, c_i, d_i).

Como regras de ação para reconstituir as operações de pensamento possivelmente desenvolvidas pelo aluno, usamos:

“SE o solenoide possui carga elétrica (a_e) e SE carga elétrica produz Campo Magnético (b_e), ENTÃO ele produz Campo Magnético (inf). SE carga elétrica produz Diferença de Potencial (c_e), SE Diferença de Potencial produz Campo Magnético (d_e), SE o Solenoide possui um Campo Magnético (e_e) e SE Campo Magnético alinha espiras de Corrente Elétrica (f_e), ENTÃO ele alinha uma espira de Corrente Elétrica por meio de uma Força Elétrica (inf.) SE há diversas espiras no problema (inf) e SE Campos Magnéticos e Forças Magnéticas satisfazem ao princípio da Superposição (b_i), ENTÃO o Campo Magnético do Solenoide alinha o Sistema de Partículas [conjunto de espiras] (inf.) SE a Diferença de Potencial produz Campo Magnético (d_e), ENTÃO há Energia Magnética no Campo Elétrico (inf.) SE o solenoide possui carga elétrica (a_e), SE carga elétrica produz Diferença de Potencial (c_e), SE Diferença de Potencial produz Campo Magnético (d_e), ENTÃO o Campo Magnético é igual ao Campo Elétrico (inf.) SE O Campo Magnético alinha espiras de corrente elétrica (f_e), SE a espira de corrente elétrica possui Carga Elétrica (a_i), SE o alinhamento do Momento de Dipolo Magnético com o Campo Magnético implica em uma rotação que deixa estes vetores paralelos (c_i), ENTÃO o Campo Magnético medeia uma interação elétrica entre os dois (resp.)”

Estas regras de ação levam diretamente, segundo nossa análise, à inferência: *Campo Magnético é igual ao Campo Elétrico e por isso ele alinha as espiras ao Campo*. Isto equivale a um modo de conceitualização que aborda a interação magnética como semelhante à elétrica, algo apontado por Guisasola et al. (2004) como uma concepção alternativa.

Por fim, analisamos como os modos de conceitualização se desenvolveram ao longo das UEPS na etapa de inferências. Por ser a conceitualização um processo ativo de referência ao real usando conceitos, esperou-se que a mudança destas formas de conceitualizar, em relação ao conhecimento prévio, representassem padrões de aprendizagem significativa, enquanto que a permanência em modos semelhantes aos do conhecimento inicial apresentado pelos alunos indicasse aprendizagem

mecânica por ser fruto de um processo em que houvesse pouca relação entre conhecimentos-em-ação prévios e novos.

Munidos dos possíveis conhecimentos-em-ação e das formas de conceitualização, fizemos a análise de como os estudantes estabeleciam relação com as Situações. Após aplicação do processo de análise de conteúdo às situações (Pantoja, 2015), dividimos as classes de Situações em quatro⁴: Descrição de interações magnéticas; Representação Simbólica dos Campos Magnéticos; Representação Analógica dos Campos Magnéticos; e Cálculo do Campo Magnético. Na sequência apresentamos os resultados da investigação para as duas primeiras classes de Situações.

4. RESULTADOS

Na apresentação dos resultados será feita a descrição dos produtos decorrentes dos ciclos de exploração do material e de tomada de inferências. Na sequência apresentamos a descrição das Situações e as dimensões de análise utilizadas na exploração de material, bem como os teoremas-em-ação produzidos para dar conta da base implícita e explícita da conceitualização (Vergnaud, 1983).

4.1. Exploração do Material

As situações do campo conceitual do eletromagnetismo foram divididas por Pantoja (2015) em quatro classes, das quais abordaremos duas neste trabalho por terem sido mais enfatizadas ao longo das UEPS. As classes são intituladas: *Descrição de interações magnéticas* (denotada por γ); *Representação Simbólica do Campo Magnético* (denotada por β); *Representação Analógica do Campo Magnético* (denotada por α); *Cálculo do Campo Magnético* (denotada por δ). Abordam-se as duas primeiras neste trabalho e as duas outras são discutidas no trabalho de Pantoja (2015).

Situações na classe de *Descrição de interações magnéticas* (γ) têm alguns pontos em comum. Para resolver estes problemas, é necessário ao aprendiz: *identificar Cargas Elétricas interagentes em movimento; identificar a interação ocorrendo entre objetos como tendo natureza magnética; aplicar a lei de interação* (lei de Lorentz ou lei de Biot-Savart); *descrever a dinâmica dos objetos interagentes*. Neste tipo de situação, as estruturas cognitivas devem estabelecer referência à interação entre objetos eletricamente carregados em movimento (ou com momento de dipolo magnético permanente, no caso de campos magnéticos constantes). Sempre há, nestes problemas, portadores de carga elétrica em movimento interagindo via Campo Magnético.

Na terceira etapa mencionada, isto é, na aplicação da lei de interação, *ocorrem* os processos de conceitualização mais relevantes investigados, pois apresentam maior clareza na distinção ontológica e epistemológica entre as possíveis estruturas cognitivas apresentadas pelos estudantes, afinal é neste estágio que surge a conceitualização (ou não) sobre o Campo Magnético, bem como sua relação com os conceitos de momentum, energia ou força.

³ Tal codificação é apresentada nos resultados. Julgamos prudente explicitar como foi a análise e porque os dados obtidos são fidedignos na metodologia, deixando a sessão de resultados para discuti-los sem esta preocupação.

⁴ Colocamo-las em letras maiúsculas por se tratarem, ao mesmo tempo, de ações e de conceitos. Em função da quantidade muito volumosa de informação, referimo-nos ao trabalho de (Pantoja, 2015).

As situações na classe de Representação Simbólica do Campo Magnético (β) requerem referência à representação simbólica do campo, isto é, abstrata, a equações de campo, ou seja, aos operadores de fluxo e de circulação (Pantoja, 2015). Para resolver problemas deste tipo, é necessário ao estudante: identificar fontes de Campo Magnético, isto é, cargas elétricas em movimento; identificar pontos do espaço; mapear o significado das equações de campo (usando-as para tal); associar valores a pontos do espaço de acordo com o passo c; construir a representação externa simbólica. No passo c ocorrem as maiores diferenças na conceitualização, pois isto depende fortemente dos teoremas-em-ação já possuídos, ou em processo de construção, pelos alunos.

Classificamos os teoremas-em-ação relativos à classe de Situações γ , mapeados nesta investigação, em algumas dimensões. Adotou-se as seguintes, com o seguinte número de categorias pertinentes:

- (A) fontes de Campo Magnético: dois teoremas-em-ação;
- (B) relação entre Força Magnética e Interação Magnética: dois teoremas-em-ação;
- (C) relação entre Campo Magnético e Força Magnética: dois teoremas-em-ação;
- (D) trocas de Energia na Interação Magnética: dois teoremas-em-ação;
- (E) superposição de Campos Magnéticos: três teoremas-em-ação;
- (F) localização da Energia Magnética: seis teoremas-em-ação;
- (G) Natureza ontológica do Campo Magnético: cinco teoremas-em-ação;
- (H) papel do Campo Magnético na Interação Magnética: cinco teoremas-em-ação.

São expostos, a seguir, os teoremas-em-ação relativos a estas dimensões: **A1)** Carga Elétrica em Movimento é Fonte de Campo Magnético; **A2)** Carga Elétrica é fonte de Campo Magnético; **B1)** A Interação Magnética é descrita por uma Força Magnética; **B2)** A Interação Magnética é descrita por uma Força Elétrica; **C1)** Força Magnética e Campo Magnético são a mesma grandeza; **C2)** Força Magnética e Campo Magnético são grandezas distintas; **D1)** interações magnéticas são instantâneas; **D2)** interações magnéticas são não-instantâneas; **E1)** Forças magnéticas satisfazem ao princípio da superposição; **E2)** Campos magnéticos sofrem colisões com outros campos magnéticos; **E3)** Campos magnéticos e Forças Magnéticas satisfazem ao princípio da superposição; **F1)** Energia magnética está nos objetos; **F2)** Energia magnética está no campo e é trocada por contiguidade com outro campo; **F3)** Energia magnética é somente transportada pelo campo; **F4)** Energia cinética está nos objetos; **F5)** Energia magnética está no Campo Magnético; **F6)** Energia magnética está no campo elétrico; **G1)** Campo Magnético é uma ferramenta matemática; **G2)** Campo Magnético é um fluido associado à ação de forças Magnéticas em outros Campos Magnéticos; **G3)** Campo Magnético é uma grandeza Física associada à ação de Forças Magnéticas sobre Cargas Elétricas em movimento; **G4)** Campo Magnético existe no Espaço e é uma entidade real, porém não material (e não realiza trabalho); **G5)** Campo Magnético é idêntico ao Campo Elétrico; **H1)** Campo Magnético computa a força magnética exercida sobre carga elétrica em movimento; **H2)** Campo Magnético

REIEC Año 2019 Nro. 14 Mes Diciembre
Recepción: 04/08/2019

medeia a interação magnética exercendo forças de contato sobre cargas elétricas em movimento; **H3)** Campo Magnético medeia a interação entre cargas elétricas em movimento; **H4)** Campo Magnético realiza transferência de energia e momentum entre cargas elétricas em movimento; **H5)** Campo Magnético medeia a interação elétrica. Estes teoremas caracterizam, quando agrupados em certa configuração, cada um dos modos de conceitualização apresentados no quadro 2.

Os teoremas-em-ação cujos significados foram evidenciados pelos estudantes no que tange à classe β também foram categorizados em dimensões. Adotou-se as seguintes dimensões de análise:

- (A) fonte de Campo Magnético;
- (J) interpretação Física do Fluxo Magnético;
- (K) Interpretação Física da Circulação Magnética;
- (L) relação entre Fluxo Magnético e Campo Magnético;
- (M) relação entre Circulação Magnética e Campo Magnético.

A seguir são apresentados os teoremas-em-ação relacionados a estas dimensões: **A1)** Carga elétrica em movimento é fonte de Campo Magnético; **A2)** Carga elétrica de polarização dos ímãs é fonte de Campo Magnético; **A3)** Substância magnética (carga magnética) é fonte de Campo Magnético; **J1)** As linhas de Campo Magnético não são abertas (solenoidal); **J2)** Campos Magnéticos não são criados por fontes monopolares; **J3)** O Campo Magnético é produzido por fonte monopolar; **K1)** As linhas de Campo Magnético são fechadas (solenoidal); **K2)** O Campo Magnético é rotacional; **K3)** O Campo Magnético é irrotacional; **L1)** O Fluxo Magnético se relaciona à componente do Campo Magnético normal à superfície gaussiana; **L2)** Não existem monopolos magnéticos; **L3)** O Fluxo Magnético é igual à componente do Campo Magnético normal à superfície gaussiana; **L4)** Os polos magnéticos têm mesmo sinal das cargas elétricas; **M1)** A circulação magnética se relaciona à componente do Campo Magnético tangente à curva amperiana; **M2)** Corrente elétrica é fonte de Campo Magnético; **M3)** A circulação magnética é igual à componente do Campo Magnético tangencial à curva amperiana.

4.2. Tomada de inferências

Seis possíveis modos de conceitualização foram construídos para modelar os raciocínios dos estudantes em situações do tipo γ , quais sejam:

- Sem campo (γ_1): não leva em consideração o conceito de Campo Magnético na descrição de interações magnéticas;
- Estrutura operacional (γ_2): toma o conceito de Campo Magnético como uma ferramenta matemática;
- Fluido-colisão (γ_3): supõe o Campo Magnético como um fluido material;
- Transferência (γ_4): admite o Campo Magnético como um meio que suporta a transferência de

Energia entre objetos eletricamente carregados em movimento;

- Científico (γ_5): considera o Campo Magnético como grandeza Física real e responsável pelo transporte de Energia e Momentum;
- Elétrico (γ_6): toma o Campo Magnético essencialmente epistemologicamente igual ao Campo Elétrico.

O quadro 2, abaixo, representa estas diferenças entre estes modos de conceitualização.

Sete possíveis formas de conceitualização foram elaboradas para analisar-se os raciocínios dos alunos em situações do tipo β , são estas denominadas de:

	γ_1	γ_2	γ_3	γ_4	γ_5	γ_6
A		A1	A1	A1	A1	A2
B	B1	B1	B1	B1	B1	B2
C	C1	C2	C2	C2	C2	C2
D	D1	D2	D2	D2	D2	D2
E	E1	E3	E2	E3	E3	E3
F	F1	F1, F4	F1, F2	F1, F3	F4, F5	F1, F6
G		G1	G2	G3	G4	G5
H		H1	H2	H3	H4	H5

Quadro 2: estruturas cognitivas do tipo γ

- Campo sem Equação (β_1): não usa elementos de equações de campo para estabelecer uma possível representação externa simbólica do campo;
- Pictórica (β_2): representa simbolicamente o Campo Magnético estabelecendo referência à forma das linhas de Campo Magnético;
- Relacional (β_3): representa simbolicamente o Campo Magnético relacionando as fontes de Campo Magnético ao mapeamento do significado destas equações;
- Integrada Pictórica-Relacional (β_4): traz elementos tanto da estrutura pictórica como da relacional;
- Campo igual a Operadores (β_5): iguala o campo às equações de campo (Guisasola et al., 2008);
- Campo Magnético igual a Campo Elétrico (β_6): estabelece a referência ao Campo Magnético como se este fosse igual ao elétrico;
- Campo Magnético intrínseco (β_7): busca representar o Campo Magnético como oriundo de uma substância intrínseca a determinados materiais (Brandamante & Viennot, 2007).

Abaixo apresenta-se o quadro 3, no qual indicamos que teoremas-em-ação pertencem a cada estrutura cognitiva.

	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6	β_7
A	A1	A1	A1	A1	A1	A2	A3
L		L1	L2	L1, L2	L3	L4	

M		M1	M2	M1, M2	M3		
J		J1	J2	J1, J2		J3	
K		K1	K2	K1, K2		K3	K4

Quadro 3: estruturas cognitivas do tipo β

Traçamos, em linhas gerais, nos quadros 4 e 5, as formas de conceitualização empregadas pelos estudantes ao longo da UEPS de Campo Magnético. A linha indexada pela letra T associa-se às tarefas propostas nas UEPS e faz referência, em números arábicos (à exceção da avaliação diagnóstica, indexada por AD, e a avaliação somativa denotada por AS). A linha identificada por S_p diz respeito à Situação-problema em determinada tarefa. A marcação em cor salmão está relacionada às classes de Situações β (Representação Simbólica do Campo Magnético), já a em cor azul indica a classe de Situações γ (Descrição de Interações Magnéticas). As marcações em cor preta indicam a não resolução da Situação. As formas de conceitualização são indicadas pelas suas representações já dispostas nos quadros 1 e 2. O quadro 4 diz respeito aos dados do estudo I (no contexto da Universidade do Sul) e o quadro 5 refere-se aos dados do estudo II (no contexto da Universidade do Norte). Ambas tiveram o mesmo professor.

Com respeito a possíveis vieses cognitivos (Furió et al., 2003; Viennot & Rainson, 1999) usamos os seguintes sobrescritos: % para *causalidade simples*, isto é, quando somente um fator causal é atribuído a um efeito cuja explicação requer, na verdade, um conjunto de causas; * para *redução funcional*, ou seja, a redução da função de uma entidade a outra supostamente mais fundamental (mas que não o é); # para *fixação funcional*, isto é, quando um modo de conceitualização é usado em um contexto ao qual não se adequa; & para *erros conceituais*; e \$ para erros procedimentais (Pantoja, 2015).

Na avaliação diagnóstica, com respeito à primeira tarefa, enfatizamos ambos os tipos de Situações abordados neste trabalho. A Situação 2 questionava porque Linhas de Campo Magnético não são abertas, enquanto a 3 perguntava porque um ímã cria Campo Magnético sem ser ligado a uma Corrente Elétrica. Referem-se ambas à Representação Simbólica do Campo Magnético (β), em especial, ao Significado das Equações de Campo. As questões de 4 a 8 se tratavam de Situações relativas à Descrição de Interações Magnéticas (γ) e apresentavam Cargas Elétricas interagindo com um Campo Magnético devido a um Ímã. As Situações 5, 6 e 7 ilustravam a interação entre Cargas Elétricas em movimento e um Campo Magnético devido a uma fonte não apresentada no problema.

No estudo I, parece haver uma tendência de os alunos utilizarem um modo de conceitualização no qual o Campo Magnético é muito similar ao Elétrico (β_6) nas Situações β . Isto pode ter sido produto de Aprendizagem Significativa da UEPS anterior (Pantoja, 2015) de Campo Elétrico que, no entanto, foi aplicado erroneamente para a descrição de um Campo ontologicamente semelhante (ambos são reais), mas epistemologicamente distinto. A maior parte dos alunos (14 dos 17) parece usar este modo pelo menos uma vez, enquanto 13 usa duas vezes. Outro ponto de destaque é que alguns possivelmente utilizam algumas formas de conceitualização cujo conteúdo remete

a um Campo Magnético criado por uma substância intrinsecamente magnética, algo não relacionado ao que foi ensinado nas UEPS de Campo Elétrico e que, conforme evidência da literatura, já compoñha parte de conhecimento prévio dos estudantes que date de longo prazo, aparentemente da infância (Brandamante & Viennot, 2007).

Há, ainda, uma diferença nas formas de conceitualização ocorrentes, muitas vezes, entre as Situações 4 e 8 e as Situações 5-7, provavelmente pela presença do Ímã. Nas Situações em que o Ímã está presente, os alunos tendem a encarar a Interação entre Carga Elétrica e Ímã como uma Interação do tipo Elétrica (γ_6), por considerarem os polos dos Ímãs eletricamente carregados (Guisasola et al., 2004). Nove alunos utilizam este modo de conceitualização na Situação 4 e nove o utilizam na Situação oito, havendo uma intersecção de 7 alunos, ou seja, há evidência de que nas Situações 4 e 8 eles tenham, de fato, considerado que o Ímã, por estar eletricamente carregado, tenha criado um Campo Elétrico no Espaço. Com respeito às Situações 5, 6 e 7, quase todos os alunos parecem utilizar uma forma de conceitualização do tipo γ_2 , de cunho operacional, provavelmente por o terem aprendido no Ensino Médio (nível no qual é costumeiro ensinar-se a lei de Lorentz). O aluno O, exceção a este caso, parece usar um modo de conceitualização do tipo Fluido-Colisão (γ_3), de maneira a entender as Linhas de Campo como Fluidos empurrando as Cargas Elétricas em movimento. Com respeito ao segundo estudo, os resultados são parecidos, exceto pelo fato de que

poucos alunos parecem utilizar formas de conceitualização do tipo operacional (γ_2), frequentemente evidenciados pelos alunos do primeiro estudo. Uma possível razão seja uma lacuna formativa advinda do Ensino Médio, já que muitas das formas apresentadas coincidem com descrições do tipo γ_3 (Fluido-choquista) e β_7 (Campo Magnético Intrínseco), frequentemente apontados como conhecimentos prévios associados a estruturas cognitivas de infantes. Infere-se, portanto, não terem compreendido ou não terem sido apresentados à lei de Lorentz (conteúdo de Ensino Médio).

Respectivamente ao estudo I, na tarefa 2 apresentamos aos alunos duas Situações da classe β , associadas à lei de Gauss Magnético. Uma requeria a distinção entre Polos Magnéticos e Cargas Elétricas ($S_p = 2$), já a outra solicitava aos discentes para que se pronunciassem sobre o Fluxo Magnético resultante do Campo Magnético criado por um Sistema de dois Ímãs dispostos, frente a frente, ao longo de uma linha passando pelo eixo longitudinal dos dois ($S_p = 3$). Na primeira das situações analisadas (situação $S_p = 2$) todos os estudantes parecem utilizar o modo de conceitualização β_2 (Campo Magnético Pictórico), enquanto na segunda, os estudantes parecem utilizar a forma β_3 (Campo Magnético Relacional). Talvez, por uma possível resposta fazendo referência às fontes parecesse óbvia e por terem aprendido que a lei de Gauss do Magnetismo, diferente da lei de Gauss da Eletricidade, não permite Monopolos Magnéticos, os alunos tenham adotado um modo de conceitualizar mais pictórico (quadro 4).

T	AD (1)							2		3		6	7			8	10	AS		
S_p	2	3	4	5	6	7	8	1	2	1	2	1	1	2	3	1	2	1	2	3
A	β_7	N	γ_6	N	γ_2	γ_6	N	β_2	β_3	β_3	β_3	γ_2	γ_2	γ_2	γ_5	γ_2	N	γ_5	γ_5	β_3
B	β_7	β_7	γ_6	γ_2	γ_2	N	γ_6	β_2	β_3	β_3	β_4	γ_5	γ_5	γ_5	γ_5	γ_2	γ_2	γ_2	γ_5	β_3
C	β_6	β_6	γ_2	γ_2	γ_2	γ_2	γ_2	N	N	β_3	β_3	γ_5	γ_5	γ_5	γ_5	γ_2	γ_2	γ_5	γ_5	β_3
D	β_6	β_6	γ_2	γ_2	γ_2	γ_2	γ_2	β_2	β_3	β_3	β_4	γ_5	γ_5	γ_5	γ_5	γ_2	γ_2	γ_5	γ_5	β_3
E	β_6	N	γ_6	$\gamma_2^{\%}$	γ_2	$\gamma_2^{\&}$	γ_6	β_2	β_3	β_3	β_3	N	γ_5	γ_5	γ_5	γ_2	γ_2	N	γ_5	N
F	β_2	N	γ_6	γ_2	γ_2	γ_2	γ_6	β_2	β_3	β_3	β_3	γ_5	γ_2	γ_2	γ_2	N	N	γ_2	γ_5	β_3
G	β_6	β_6	γ_6	γ_2	γ_2	γ_2	γ_6	β_2	β_3	β_3	β_3	γ_2	γ_2	γ_2	γ_5	γ_2	N	γ_2	γ_2	β_3
H	β_6	β_6	γ_6	γ_2	γ_2	γ_2	γ_6	β_2	β_3	β_3	β_3	γ_2	γ_5	γ_5	γ_5	γ_2	γ_2	γ_2	γ_5	β_3
I	β_6	β_6	γ_6	γ_2	γ_2	γ_2^*	γ_6	β_2	β_3	β_3	β_3	γ_2	γ_2	γ_2	γ_2	γ_2	γ_2	γ_2	N	N
J	β_6	β_6	γ_2	γ_2	γ_2	γ_2	γ_2	N	N	N	N	N	γ_2	γ_2	γ_2	γ_5	γ_2	γ_5	γ_5	β_3
K	β_6	β_6	γ_2	γ_2	γ_2	γ_2	γ_2	β_2	β_3	β_3	β_3	γ_2	γ_5	γ_5	γ_5	γ_2	γ_2	γ_5	γ_5	β_3
L	β_6	β_6	γ_6	γ_2	γ_2	$\gamma_2^{\&}$	γ_6	β_2	β_3	β_3	β_3	γ_5	γ_5	γ_5	γ_5	γ_2	γ_2	γ_5	γ_6	β_3
M	N	N	N	N	N	N	N	β_2	β_3	β_3	β_4	γ_2	γ_2	γ_2	γ_2	γ_2	N	γ_2	γ_5	β_3
N	β_6	β_6	γ_2	γ_6	γ_6	γ_6	γ_2	β_2	β_3	N	N	γ_5	γ_2	γ_2	γ_2	γ_2	γ_2	γ_2	$\gamma_2^{\#}$	N
O	β_6	β_6	γ_2	γ_2	γ_3	γ_3	γ_6	β_2	β_3	β_3	β_3	N	γ_2	γ_2	γ_5	γ_2	γ_2	γ_5	γ_2	β_3
P	β_6	β_7	γ_2	γ_2	γ_2	γ_2	γ_6	β_2	β_3	β_3	β_3	N	γ_2	γ_2	γ_5	γ_2	γ_2	γ_5	γ_2	β_3
Q	β_6	β_6	γ_6	$\gamma_2^{\&}$	N	N	N	β_2	β_3	β_3	β_3	γ_5	γ_2	γ_2	γ_5	γ_2	N	γ_5	γ_2	β_3

Quadro 4: modos de conceitualização possivelmente usados pelos estudantes do estudo I

Com respeito à segunda ($S_p = 3$), por exigir-lhes uma referência ao Fluxo Magnético, é possível que os alunos tenham estabelecido relação direta à lei de Gauss. Para a segunda aula da UEPS, este parece ser um resultado bastante relevante. No estudo II, no entanto, o perfil volta-se completamente às formas representacionais relacionais (β_3). Os alunos parecem apegar-se à lei de Gauss do Magnetismo relacionando o Fluxo Magnético às fontes, ao invés de também fazer referência ao desenho das linhas de Campo Magnético.

Com respeito ao estudo I, na tarefa 3 apresentamos duas Situações da classe β aos alunos, desta vez mais associadas à lei de Ampère. A primeira, para ser resolvida, requeria a distinção entre Campo Magnético e Circulação Magnética, já a segunda exigia o estabelecimento de comparação entre um Ímã e um Condutor de Corrente Elétrica. Com respeito à Circulação, os alunos parecem desenvolver modos de conceitualização mais relacionais (β_3), com foco no valor de Corrente Elétrica, provavelmente em função de a lei de Ampère estabelecer relação direta (quadro 5).

T	AD							2		3		6	7			8	10	AS		
S_p	2	3	4	5	6	7	8	1	2	1	2	1	1	2	3	1	2	1	2	3
A	β_6	β_6	γ_3	γ_6	γ_6	γ_6	γ_3	β_3	β_3	β_3	β_3	γ_2	γ_5	γ_5	γ_5	M A P A C O N C.	γ_5	-	-	β_3
B	β_7	β_7	γ_2	γ_6	γ_6	γ_6	γ_2	β_3	β_3	β_3	β_3	γ_2	γ_5	γ_5	γ_5		γ_5	-	-	β_3
C	-	-	-	γ_6	γ_6	γ_6	-	β_3	β_3	β_3	β_3	γ_2	γ_5	γ_5	γ_5		γ_5	-	γ_1	β_3
D	β_7	β_7	γ_2	γ_6	γ_6	γ_6	γ_2	β_3	β_3	β_3	β_3	γ_2	γ_5	γ_5	γ_5		γ_5	γ_5	-	β_3
E	β_6	β_6	γ_3	γ_6	γ_6	γ_6	γ_3	β_3	β_3	β_3	β_3	γ_2	γ_5	γ_5	γ_5		γ_5	-	-	β_3
F	β_7	β_7	γ_2	γ_6	γ_6	γ_6	γ_2	β_3	β_3	β_3	β_3	γ_2	γ_5	γ_5	γ_5		γ_5	γ_2	-	-
G	β_7	β_7	γ_3	γ_6	γ_6	γ_6	γ_3	β_3	β_3	β_3	β_3	γ_2	γ_5	γ_5	γ_5		γ_5	γ_5	-	-
H	β_7	β_7	γ_3	γ_6	γ_6	γ_6	γ_3	β_3	β_3	β_3	β_3	γ_2	γ_5	γ_5	γ_5		γ_5	γ_5	γ_5	β_3
I	β_7	β_7	γ_3	γ_6	γ_6	γ_6	γ_3	β_3	β_3	β_3	β_3	γ_2	γ_5	γ_5	γ_5		γ_5	γ_2	γ_1	-
J	-	-	γ_3	γ_6	γ_6	γ_6	γ_3	β_3	β_3	β_3	β_3	γ_2	γ_5	γ_5	γ_5		γ_5	γ_1	-	β_6
K	β_7	β_7	-	γ_6	γ_6	γ_6	-	β_3	β_3	β_3	β_3	γ_2	γ_5	γ_5	γ_5		γ_5	γ_2	γ_2	β_6

Quadro 5: modos de conceitualização possivelmente usados pelos estudantes do estudo II

Entre Circulação Magnética e Corrente Elétrica (englobada pela Curva Amperiana). Todos os alunos parecem ter utilizado a forma relacional (β_3), à exceção de três que evidenciam uso da forma integrada (β_4), cujo conteúdo engloba premissas relacionais e pictóricas (associadas ao formato das Linhas de Campo). Ponto importante deste resultado é o de que os alunos parecem, cada vez menos, distinguir a natureza do Campo Magnético de Ímãs e de Condutores de Corrente. Resultado este que nos remete aos de Guisasaola et al. (2004). No estudo II, todos os alunos permaneceram apresentando indícios de conceitualizar segundo modos mais relacionais (β_3). Entende-se aqui que por razões similares às do estudo I.

As tarefas 4 e 5 estavam associadas a Situações distintas das que abordamos aqui. A tarefa 4 requeria cálculos de Campo Magnético (δ), outro tipo de Situação discutida por Pantoja (2015). A tarefa 5 tinha como objetivo propor problemas potencialmente significativos para o entendimento do conceito de Corrente Elétrica de uma perspectiva macroscópica e, em especial, microscópica. Os conceitos de Campo Elétrico e de Diferença de Potencial foram amplamente usados para discuti-lo. Desta forma, por satisfazerem a tópico de maior interesse em outro trabalho.

Na tarefa 6 foi proposta uma tarefa clássica de livros-texto aos estudantes da classe γ . Solicitava-se a eles que argumentassem sobre a forma da trajetória seguida por uma partícula com Carga Elétrica q , lançada no plano (x,y) de uma região na qual houvesse Campo Magnético (dirigido ao longo do eixo y) com velocidade de módulo v_0 em uma direção formando um ângulo Ω com o semi-eixo positivo de x . Nesta tarefa seis alunos, no primeiro estudo, parecem utilizar o modo de conceitualização operacional (γ_2), altamente frequente na avaliação diagnóstica, enquanto sete parecem utilizar a forma científica (γ_5). A diferença material entre estes está em como ambos se referem ao Campo Magnético: enquanto γ_2 se refere de maneira estritamente instrumental, γ_5 busca a referência de maneira a ressaltar o papel mediador do Campo Magnético na Interação, bem como o faz a respeito da sua realidade ontológica. A despeito deste detalhe da ontologia do Campo Magnético, operacionalmente os alunos parecem não ter dificuldade em entender o conceito de Campo Magnético, algo não muito comum em cursos de Física, de acordo com Guisasaola et al. (1998). No estudo II, maior parte dos alunos (oito dos onze), a seu passo, evidenciaram formas de conceitualização mais relacionais (γ_2), não

apresentados em qualquer conceitualização anterior, os alunos B, D e F parecem retomar modos operacionais γ_2 para realizar a tarefa, diferentemente dos restantes.

Na tarefa 7 exploramos Situações da classe γ , mas com a especificidade de todas englobarem a Interação entre um Campo Magnético e um Condutor de Corrente Elétrica. No primeiro estudo, cinco alunos parecem utilizar exclusivamente a forma de conceitualização operacional (γ_2), aparentemente constante nos seus conhecimentos prévios, para a Descrição de Interações Magnéticas, enquanto sete estudantes parecem utilizar unicamente o modo científico (γ_5), cujo conteúdo é o mais aceito cientificamente. Cinco alunos apresentam, por sua vez, intermitentemente γ_5 e γ_2 , algo que indica a possibilidade de concorrência entre duas concepções ontologicamente distintas, porém correlacionadas operacionalmente, ou para a possibilidade de não explicitação do papel do Campo Magnético em Situações em que não se requer que o faça. A terceira das Situações exige que se explique como a passagem de Corrente Elétrica em um fio próximo a uma bússola faz alterar a agulha desta. Requer-se fortemente o uso do conceito de Campo para explicar isto, já que este não é sequer mencionado no enunciado e os dois objetos encontram-se à distância. Nos dois outros enunciados o Campo Magnético era mencionado e, portanto, suspeitamos da possibilidade de os alunos enfocarem na operacionalidade da descrição da Interação Magnética.

No estudo II, os alunos continuam evoluindo, enfatizando agora o papel do Campo Magnético na interação através do modo científico (γ_5) ao invés de tratá-lo pela forma de conceitualização meramente operacional (γ_2).

Na tarefa 8 apresentamos aos alunos uma Situação que busca diferenciar entre os Campos Elétrico e o Magnético. Coloca-se, nesta Situação, três partículas com Cargas Elétricas distintas (uma com $q>0$, uma com $q<0$ e outra com $q=0$) em movimento retilíneo uniforme a entrar em uma região de Campo Magnético. Pede-se, pois, que se analise a deflexão sofrida na trajetória de cada uma delas. À exceção de um aluno, todos os outros 15 do primeiro estudo resolvendo a tarefa (um aluno faltou) parecem ter usado o modo de conceitualização operacional (γ_2). Sustenta-se, portanto, a hipótese de que a menção explícita ao Campo e o requerimento de descrição do desvio da trajetória permitam aos alunos focarem-se mais na operação necessária à resolução do problema. No caso de esta hipótese ser verdadeira, para alguns alunos a questão passa por um processo de tornar implícito o papel do

Campo na explicação, enquanto se trata para outros de não haverem incorporado os elementos associados à realidade do Campo. Os alunos I, J e M provavelmente satisfazem ao último caso, pois parecem usar sistematicamente a ideia de Campo Magnético como ferramenta matemática para resolução de problemas (γ_2). No estudo II a tarefa 8 consistiu no mapa conceitual, equivalente à tarefa 9 do estudo I.

A tarefa 10 consistia de uma questão sobre materiais magnéticos. Envolve-se nesta, a interação de um material Paramagnético com uma fonte de Campo Magnético. Requer-se, portanto, referência ao conceito de Momento de Dipolo Magnético e, ainda, a relação deste com o conceito de Paramagnetismo. Deve-se ressaltar, ainda, que esta foi uma tarefa de livre escolha no estudo I (os estudantes faziam se assim quisessem). Este caso se trata de um bom exemplo de evidência de Aprendizagem Significativa, pois embora todos os estudantes pareçam ter utilizado a forma de conceitualização operacional (γ_2), percebe-se uma reinterpretação do Campo Magnético, pois mesmo os gerados por Materiais Magnéticos têm sua origem associada a Movimentos de Cargas Elétricas e não mais a substâncias intrinsecamente magnéticas (Brandamante & Viennot, 2007). A concorrência entre os modos operacional (γ_2) e científico (γ_5), ocorrente na UEPS, parece suceder em virtude da diferença pela qual as questões são enunciadas e requerem certa referência a objetos distintos. É um dos pontos a ser levado em conta na classificação psicológica das Situações, objeto de pesquisa de trabalhos futuros. No estudo II, a tarefa 10 do estudo I era a tarefa 9. Os alunos parecem ter apresentado formas de conceitualização coerentes com γ_5 , que enfoca o papel de realidade do Campo Magnético. O resultado da aplicação da tarefa para os alunos do estudo II foi aparentemente mais profundo que o dos estudantes do estudo I.

Na Avaliação Somativa do estudo I propusemos aos alunos quatro Situações, duas da Classe γ , uma da Classe β e uma da Classe δ (Calcular Campos Magnéticos), não abordada neste trabalho. Com respeito às Situações do tipo γ , cinco alunos parecem usar exclusivamente modos de conceitualização científicos (γ_5), já os tendo usado em Situações anteriores, enquanto dois alunos parecem utilizar exclusivamente formas de conceitualização operacionais (γ_2). Por sua vez, um aluno aparenta concorrer entre a forma operacional (γ_2) e um modo de conceitualização envolvendo erroneamente a ideia de Indução Eletromagnética ($\gamma_2^\#$), enquanto o restante dos alunos (sete) varia de maneira intermitente entre as formas operacional e científica (γ_2 e γ_5), apresentando, portanto, provável caracterização implícita do Campo Magnético como real em suas estruturas cognitivas.

No que tange à Situação β da Avaliação Somativa, no primeiro estudo, quatorze alunos parecem apresentar a forma de conceitualização relacional (β_3). Possivelmente por requer-lhes o uso da lei de Ampère e a referência às Correntes Elétricas. É importante levar-se em conta que a conceitualização dos estudantes está fortemente vinculada a como as Situações são apresentadas, desta forma seria importante buscar o vínculo com Representações Simbólicas referindo-se, também, às Linhas de Campo Magnético para que os alunos pudessem aproximar-se de formas de conceitualização mais integradoras, do tipo β_4 . Ressalta-se, no entanto, que Guisasola et al. (2004) já destacavam muitas dificuldades com identificação de

fontes de Campo Magnético e com o uso da lei de Ampère, algo que estes alunos parecem não ter enfrentado ao longo da UEPS. Consideramos, portanto, este aspecto como um grande avanço.

No estudo II, por outro lado, os alunos pareceram estar em melhor condição que na avaliação diagnóstica, mas tiveram desempenho aquém do que fizeram nas tarefas em sala de aula. Alguns estudantes parecem ter feito a prova com displicência e não responderam a algumas questões. Da minha experiência como professor e com a turma, pareciam apressados para fazer outra coisa, talvez outra prova. O retrocesso pode ter sido atribuído à certeza que tinham de se terem saído bem na parte formativa da avaliação, restando-lhes fazer pouca coisa para terem nota suficiente para aprovação, logo realizar a avaliação de qualquer maneira, poderia dar-lhes mais tempo para dedicarem-se a outra disciplina, o que a nosso ver, é injustificável. Pelo lado positivo, na questão que se lhes requeria a representação simbólica do Campo Magnético, muitos a responderam de maneira adequada e coerente com formas de conceitualização do tipo β_3 (relacionais).

Após esta comparação entre os dois estudos, apresenta-se na conclusão a resposta ao problema de pesquisa apresentado e faz-se um sumário dos resultados.

5. CONCLUSÕES

A mérito de fechamento do trabalho, buscamos responder à seguinte pergunta de pesquisa: “*que formas de conceitualização do conceito de Campo Magnético estudantes de nível superior de duas instituições de distintas regiões do Brasil desenvolvem durante uma UEPS?*”, pois a partir da resposta a esta pergunta pudemos concluir se houve ou não evidências de Aprendizagem Significativa, o objetivo principal desta metodologia de Ensino. No que diz respeito ao conhecimento sobre esta temática, em especial com UEPS em nível superior, e dando ênfase nas equações de Maxwell, ainda não há discussão feita.

No que tange às situações da classe γ (Descrição de Interações Magnéticas), as formas de conceitualização dos alunos apresentam uma evolução em direção ao modelo cientificamente aceito de Campo Magnético. Inicialmente muitos dos alunos do estudo I pareciam apresentar teoremas-em-ação correspondentes à ideia de ímãs como cargas elétricas, o que caracterizaria o modo de conceitualização Elétrico (γ_6), em situações de interações entre Ímãs e Cargas Elétricas, porém usavam a força de Lorentz no caso de interações entre campos magnéticos dados e cargas elétricas, mas de uma maneira meramente operacional, o que evidenciava uma forma de conceitualização do tipo γ_2 (Campo Magnético operacional). A distinção era clara, no entanto, ao longo das UEPS, pois os alunos param, quase por completo, de utilizar a forma de conceitualização γ_6 e seus processos de conceitualização ora se aproximam do modo de Descrição das Interações Magnéticas em acordo com o modelo conceitual mais aceito na Teoria Eletromagnética Clássica (γ_5), ora se acercam do modo de conceitualização γ_2 , de viés mais operacionalista. Esta evidência de construção de novas formas de conceitualização relativamente estáveis é uma das razões de indicarmos possibilidade de haver ocorrido um real processo de Aprendizagem Significativa. Algo similar ocorre no estudo II, com a diferença de que os

alunos pareciam desconhecer a força de Lorentz para o Campo Magnético e em situações de interação magnética pareciam conceitualizar segundo o modo γ_3 (Campo Magnético Fluido) ou de acordo com o modo γ_6 (Campo Magnético igual ao Campo Elétrico), um nível de conceitualização aparentemente mais baixo que os dos alunos do estudo I. Mesmo displicentes com a avaliação somativa, nenhum modo desse tipo chegou a retornar em tarefas posteriores.

A respeito das Situações da Classe β (Representação Externa Simbólica do Campo Magnético), ao longo da UEPS, os alunos apresentam uma divisão entre os modos mais pictóricos (β_2) e mais relacionais (β_3). O ponto importante é que qualquer semelhança a respeito do Campo Elétrico e qualquer associação a uma fonte intrínseca de Campo Magnético parece ter sumido ao longo das UEPS. Isto parece ser evidência da Aprendizagem Significativa das Equações de Campo Magnético e de seu Significado. Esta divisão tendeu, ao final da UEPS, a ir a possíveis modos de conceitualização mais relacionais (β_3), o que pode ter ajudado a estes alunos a entender o papel das fontes na criação de Campos Magnéticos no Espaço e na reconciliação integrativa de Ímãs e Correntes Elétricas como fontes de Campo Magnético de origens semelhantes ao estudarem a lei de Ampère de um ponto de vista mais histórico-conceitual. No estudo II, nenhum aluno conseguiu desenvolver formas de conceitualização integradas (β_4), no entanto, conseguiram captar os aspectos relacionais.

De maneira geral, os alunos parecem apresentar novas formas de conceitualização ao longo das UEPS para referir-se às duas classes de Situações distintas, porém correlacionadas. Embora haja, por vezes, a retomada a formas de conceitualização semelhante às apresentadas no início da UEPS, as duas turmas pareceram desenvolver teoremas-em-ação que se estruturam de maneira aproximada à da concepção científica realista e da concepção científica de viés mais instrumentalista. Esta capacidade de construir novas formas de conceitualização é um indicador claro de Aprendizagem Significativa, haja vista que as relações estabelecidas entre os invariantes operatórios antigos e os conhecimentos apresentados em uma UEPS parecem ter sido assimilados de maneira não arbitrária e não-literal (Ausubel, 2000).

A classificação das Situações e a análise do desenvolvimento de modos de conceitualização facilitou a avaliação de possíveis processos de Aprendizagem Significativa de novos Conhecimentos-em-ação e o estudo de eventos de construção de tais modos em atividades de Resolução de Problemas. É necessário construir, no entanto, uma classificação mais específica, em termos psicológicos, da dificuldade de distintas sub-classes de situações pertinentes às classes abordadas nesta pesquisa, pois aí poder-se-á entender com maior clareza onde será necessário empregar maior ênfase ou maior cuidado na abordagem. Esta classificação que traz consigo tanto os elementos lógicos como psicológicos tem sido construída em nossos trabalhos. Estamos, atualmente, no curso da redação de novos manuscritos que visam classificar Situações-Problema em Magnetostática e pretendemos realizar experimentos didáticos para analisar que situações são mais simples e quais são mais complexas dentro do Campo Conceitual do Magnetismo, o que pode ajudar-nos

a entender como os estudantes podem aprender de forma mais eficiente este conteúdo.

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor gostaria de agradecer ao professor Manoel Roberval Pimentel, ex-coordenador do Programa de Ciência e Tecnologia (PCT) do Instituto de Engenharia e Geociências (IEG) da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA) por ter provido condições necessárias à realização da pesquisa, e à professora Eliane Angela Veit pelo incentivo, em comunicação pessoal na cidade de Belém/PA, à redação deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- Ausubel, D. P. (2000). *Acquisition and retention of knowledge: a cognitive view*. Dordrecht: Kluwer Academic Press.
- Bardin, L. (2008). *Análise de Conteúdo*. Lisboa: Edições 70.
- Bogdan, R. & Biklen, S. (1994). *Qualitative research for education: an introduction to theory and methods*. Boston: Allyn and Bacon.
- Barros, P.M. (2015). *Construção de uma unidade de ensino potencialmente significativa sobre conceitos de eletrodinâmica*. (Dissertação de mestrado). Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- Bradamante, F. & Viennot, L. (2007). Mapping Gravitational and Magnetic Fields with children 9-11: relevance, difficulties and prospects. *International Journal of Science Education*. 29(3), p. 349-372.
- Bunge, M. (2010). *Caçando a realidade: a luta pelo realismo*. São Paulo: Perspectiva.
- Fanaro, M. A., Otero, M. R. & Moreira, M. A. (2011). Teoremas-en-acto y conceptos-en-acto en dos situaciones relativas a la noción de sistema cuántico. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*. 9 (3)
- Furió, C., Guisasola, J., Almudí, J. M., & Ceberio, M. (2003). Learning the Electric Field Concept as Oriented Activity. *Science Education*. 87(5), 640- 662.
- Guisasola, J., Almudí, J. & Zubimendi, J. (1998). Dificultades de aprendizaje de los estudiantes universitarios en la teoría del Campo Magnético y elección de objetivos de enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*. 21(1), p.79-94.
- Guisasola, J., Almudí, J. & Furió, C. (2004). Difficulties in Learning the Introductory Magnetic Field Theory in the First years of University. *Science & Education*, 88(3-5) 443-464.
- Guisasola, J., Almudí, J., Salinas, J., Zuza, K. & Cerberio, M. (2008). The Gauss and Ampère laws: different laws but similar difficulties for students learning. *European Journal of Physics*, 29, 1005-1016.
- Kuhn, T. (1962). *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: Perspectiva.
- Lakatos, I. (1970). *Falsificação e Metodologia dos Programas de Investigação Científica*. Lisboa: Edições 70.
- Lopes, R.R (2014). *Conceitos de eletricidade e suas aplicações tecnológicas em uma unidade de ensino potencialmente significativa*. (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES.

Moreira, M. A. (2011). Unidades de enseñanza potencialmente significativas. *Aprendizagem Significativa em Revista*. 1(1), 43-63.

Pantoja, G. C. (2015). Unidades de ensino potencialmente significativas em teoria eletromagnética: influências na aprendizagem de alunos de graduação e uma proposta inicial de um campo conceitual para o conceito de Campo Eletromagnético. (Tese de Doutorado). Doutorado em Ensino de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

Rocha, M. O. (2015). *O conceito de Campo no eletromagnetismo: uma unidade de ensino potencialmente significativa*. (Dissertação de Mestrado). Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES.

Spohr, C.B; Garcia, I. K. & Santarosa, M. C. P. (2017). Identificando a evolução conceitual no ensino de eletromagnetismo através de uma UEPS baseada num sistema de som automotivo gerador de energia. *Investigações em Ensino de Ciências*, 22 (3), 162-175.

Teixeira, C.B. (2016). *Utilização do chuveiro elétrico no ensino de conceitos básicos de eletrodinâmica: uma proposta de ensino potencialmente significativa*. (Dissertação de mestrado). Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

Tres, C. & Santos, S. A. (2016). Estratégias diversificadas no ensino do eletromagnetismo para facilitar a aprendizagem significativa. *Cadernos PDE*, 1, 1-26.

Viennot, L. & Ranson (1999). Design and evaluation of research-based teaching sequence: the superposition of electric field. *International Journal of Science Education*. 19(1), 1-16.

Vergnaud, G. (1982). A classification of cognitive tasks and operations of thought involved in addition and subtraction problems. In Carpenter, T., Moser, J. & Romberg, T. (Eds.) *Addition and subtraction: a cognitive perspective*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum.

Vergnaud, G. Multiplicative structures (1983). In: Resh, R.; Landau, M. (Eds.). *Acquisition of mathematics concepts and processes*. New York: Academic Press, 127-174.

Vergnaud, G. (1996). Education: the best part of Piaget's heritage. *Swiss Journal of Psychology*. 17(2), 167-181.

Vergnaud, G. (2007). ¿En qué sentido la teoría de los campos conceptuales puede ayudarnos para facilitar aprendizaje significativo? *Investigações em Ensino de Ciências*, 12 (2), 285-302.

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

Wandersee, J.H., Mintzes, J.J., & Novak, J.D. (1994). Research on alternative conceptions in science. In: *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, ed. D. Gabel, New York: Simon & Schuster Macmillan, 177-210.

Glauco Cohen Pantoja

Es Licenciado em Física (2009 - UFPa), Mestre em Ensino de Física (2011 - UFRGS) y Doutor em Ensino de Física (2015 - UFRGS).

Professor Adjunto 3 da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA)

Líder do Grupo de Ensino e Aprendizagem Significativa em Exatas (GEAE).

Coordenador do Laboratório de Apoio ao professor de Ciências Exatas (LAPEX/CPADC).