

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO INTERDISCIPLINAR DE NOVAS TECNOLOGIAS NA EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO

VALTER ANTONIO FERREIRA

LABORATÓRIOS VIRTUAIS IMERSIVOS 3D
Processos cognitivos em experimentos de eletromagnetismo

Porto Alegre

2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO INTERDISCIPLINAR DE NOVAS TECNOLOGIAS NA EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO

VALTER ANTONIO FERREIRA

LABORATÓRIOS VIRTUAIS IMERSIVOS 3D

Processos cognitivos em experimentos de eletromagnetismo

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito para a obtenção do grau de Doutor em Informática na Educação.

Profa. Dra. Liane M. Rockenbach Tarouco
Orientadora

Prof. Dr. Fernando Becker
Coorientador

Porto Alegre

2019

CIP - Catalogação na Publicação

Ferreira, Valter Antonio
LABORATÓRIOS VIRTUAIS IMERSIVOS 3D. Processos
cognitivos em experimentos de eletromagnetismo. /
Valter Antonio Ferreira. -- 2019.
179 f.
Orientadora: Liane Margarida Rockenbach Tarouco.

Coorientador: Fernando Becker.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Centro de Estudos Interdisciplinares em
Novas Tecnologias na Educação, Programa de
Pós-Graduação em Informática na Educação, Porto
Alegre, BR-RS, 2019.

1. Laboratório Virtuais Imersivos 3D. 2.
Epistemologia Genética. 3. Ensino de Física. I.
Tarouco, Liane Margarida Rockenbach, orient. II.
Becker, Fernando, coorient. III. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO INTERDISCIPLINAR DE NOVAS TECNOLOGIAS NA EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO

**ATA SOBRE A DEFESA DE TESE DE DOUTORADO
VALTER ANTONIO FERREIRA**

Às quatorze horas do dia sete de janeiro de dois mil e vinte, na sala 329 do PPGIE/CINTED, nesta Universidade, reuniu-se a Comissão de Avaliação, composta pelos Professores Doutores: Marcio Gabriel dos Santos, Erico Marcelo Hoff do Amaral e Júnior Sacon Frezza para a análise da defesa de Tese de Doutorado intitulada “**Laboratórios Virtuais Imersivos 3D Processos Cognitivos em Experimentos de Eletromagnetismo**”, do doutorando do Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação Valter Antonio Ferreira, sob a orientação da Prof.ª Dr.ª Liane M. Rockenbach Tarouco e coorientação do Prof. Dr. Fernando Becker.

A Banca, reunida, após a apresentação e arguição, emite o parecer abaixo assinalado.

- Considera a Tese aprovada
() sem alterações;
() sem alterações, com voto de louvor;
 e recomenda que sejam efetuadas as reformulações e atendidas as sugestões contidas nos pareceres individuais dos membros da Banca;

[] Considera a Tese reprovada.

Considerações adicionais (a critério da Banca):

Prof.ª Dr.ª Liane M. Rockenbach Tarouco
Orientadora

Prof. Dr. Marcio Gabriel dos Santos
PPGIE/UFRGS

Prof. Dr. Júnior Sacon Frezza
Colégio Rosário

Prof. Dr. Fernando Becker
Coorientador

Prof. Dr. Erico Marcelo Hoff do Amaral
UNIPAMPA

AGRADECIMENTOS

À Deus, por manter-me firme frente aos percalços do caminho.

À Pamela, minha companheira de todas as horas, pelo apoio incondicional.

A meus filhos Anthony, Allan e Emmanuel, razão da minha vida e luta.

À minha orientadora Dra. Liane Tarouco, pela confiança e prestimosa orientação.

Ao meu coorientador Dr. Fernando Becker, por desvelar o mundo piagetiano e suas infinitas possibilidades.

Às colegas Lisete Dias e Vera Ferreira, pelo carinho e inestimável auxílio.

A todos os alunos que participaram deste trabalho, pela disposição e interesse em realizar as entrevistas.

RESUMO

Este trabalho investigou os processos mentais relacionados à construção de conhecimento, enquanto “estrutura cognitiva”, por estudantes universitários. O contexto do estudo englobou a aplicação do Método Clínico de Piaget, ao longo de simulações virtuais imersivas 3D, elaboradas na plataforma *OpenSim* e abrangendo as áreas de Magnetismo, Eletricidade e Eletromagnetismo. Os conceitos empregados para desenvolver os experimentos vieram tanto da Epistemologia Genética (lógica em rede, grupo INRC, coordenações de ações etc) quanto da Física (atração e repulsão magnéticas, geração de campo magnético ao redor de condutor percorrido por corrente elétrica e teoria de circuitos elétricos), envolvendo situações de equilíbrio mecânico ou elétrico. Foram desenvolvidos um total de cinco (05) experimentos virtuais, três (03) principais e dois (02) auxiliares. Os participantes foram oito (08) para o experimentos com ímãs, dez (10) para o da Lei de Kirchhoff e oito (08) para Oersted-Ampère. As entrevistas clínicas foram aplicadas durante a manipulação dos experimentos virtuais, ocorrendo individualmente para permitir o acompanhamento do pensamento de cada sujeito. A coleta de dados deu-se pela gravação e transcrição em protocolos, das respostas às interpelações do pesquisador. Além disso, a tela do computador foi capturada em formato de vídeo usando o programa *CamScanner*. A análise dos dados deu-se pela comparação dos protocolos das entrevistas clínicas entre si e entre as gravações das ações dos sujeitos sobre os dispositivos. Com isso, buscaram-se elementos relacionados a categorias como “abstrações reflexionantes” (pseudo-empíricas e refletidas), “tomadas de consciência”, “coordenações causais e inferenciais”. Os resultados indicaram a validade da plataforma *OpenSim* para a criação ensaios virtuais imersivos 3D com ênfase construtivista, em especial, os capazes de representar o sistema de dupla reversibilidade do grupo INRC. A diminuição das coordenações inferenciais com o correspondente aumento das coordenações causais ocorreu na medida do crescimento da complexidade dos experimentos. O experimento com ímãs foi o que mais demonstrou o “movimento” do conhecimento da periferia para as regiões centrais do sujeito e do objeto.

Palavras-chave: Laboratório Virtuais Imersivos 3D. Epistemologia Genética. Ensino de Física.

ABSTRACT

This work investigated, in university students, the mental processes related to the structural construction of knowledge. The context of the study included the application of Piaget's Clinical Method throughout immersive 3D virtual simulations, developed on the OpenSim platform and covering the areas of Magnetism, Electricity and Electromagnetism. The concepts used to develop the experiments came from both Genetic Epistemology (cognitive operations, reciprocity, etc.) and Physics (magnetic attraction and repulsion, generation of magnetic field around conductor run by electric current and theory of electrical circuits) and involved situations of mechanical or electrical balance. According to the Clinical Method, the simulations and interviews took place individually to allow the subjects' thinking to be monitored. Data collection was done by recording the audio of the responses to the researcher's questions and later transcribed for protocols, in which the subjects' identity was preserved. In addition, the computer screen was captured in video format using the CamScanner program, providing storage for experimental manipulations. Data analysis was performed by comparing the protocols of clinical interviews with each other and between the recordings of the subjects' actions on the devices. Thus, elements related to categories such as 'creation and proof of hypotheses', 'empirical and reflective abstractions' (pseudo-empirical and reflected), 'awareness raising', 'causal and inferential coordination' were sought. The results indicated the capacity of the OpenSim platform for the creation of devices whose dynamics may represent the double reversibility system of the INRC group, denoting the possibility of creating 3D immersive virtual tests with a constructivist emphasis. Furthermore, although the subjects presented difficulties in building and relating some basic concepts of electromagnetism, they were able to conceive operations related to concrete and formal thoughts. It is also worth highlighting the influence of the degree of frustration and the conceptual background of the subjects on the cognitive effort generated to face the resistance imposed by experiments on attempts at assimilation.

Keywords: Immersive Virtual 3D Lab. Genetic Epistemology. Physics Teaching.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01	Processo de adaptação	18
Figura 02	Processo de Equilibração	20
Figura 03	Circuito elétrico	22
Figura 04	Circuito para acender uma lâmpada	25
Figura 05	Prensa hidráulica	28
Figura 06	Tipos de abstrações	29
Figura 07	Reflexionamentos e reflexões da abstração reflexionante.....	30
Figura 08	Processo de construção de conhecimento	31
Figura 09	Experimento sobre a Lei de Ohm	32
Figura 10	Página principal do OpenSimulator	36
Figura 11	Página principal do <i>Singularity Viewer</i>	37
Figura 12	Usuário manipulando um <i>primitive</i> através do <i>Singularity Viewer</i>	37
Figura 13	Modelo do estado de Flow	39
Figura 14	Experimentos interativos de Eletricidade	45
Figura 15	Exemplo de simulação envolvendo moléculas de água	46
Figura 16	Simulação de colisão entre dois veículos	48
Figura 17	Elaboração e aplicação do Mundo Virtual.....	50
Figura 18	Instalação <i>standalone</i> empregada na pesquisa	51
Figura 19	Mundo Virtual criado no <i>OpenSim</i>	51
Figura 20	Laboratório empregado na pesquisa.....	52
Figura 21	Seleção e aplicação de textura metálica ao ímã.....	52
Figura 22	Sequência de “estados” dentro do <i>script</i>	53
Figura 23	Sincronia entre observáveis através da comunicação entre <i>scripts</i>	55
Figura 24	<i>Scripts</i> com canais para “escutar” o painel de controle e alterar o objeto1	56
Figura 25	Vários <i>scripts</i> vinculados ao ponteiro do amperímetro central.....	56
Figura 26	Sequência de simulações	57
Figura 27	Campos magnéticos em ímãs e condutores elétricos.....	60
Figura 28	Experimento com ímãs.....	61
Figura 29	Situação de equilíbrio do ímã superior.....	62
Figura 30	Esquema elétrico do experimento.....	67
Figura 31	Nós A e B	68
Figura 32	Experimento virtual imersivo 3D sobre a 1ª Lei de Kirchhoff	69
Figura 33	Alterando a resistência de R1 para modificar a corrente elétrica i_1	69
Figura 34	Alterando i_1 , i_2 e i_3 através de R1, R2, Bat1 e Bat2.....	70
Figura 35	Corrente elétrica no ramo central para baterias em contra-fase.....	70
Figura 36	Circuito auxiliar de Kirchhoff.....	74
Figura 37	A descoberta de Oersted.....	82
Figura 38	Ponteiro de bússola influenciado por corrente elétrica.....	82
Figura 39	Campo magnético concêntrico ao condutor.....	83
Figura 40	Experimento de Ampère.....	83
Figura 41	Atração e repulsão entre condutores.....	84
Figura 42	Experimento conjunto Oersted-Ampère.....	85
Figura 43	Simulação do circuito esquerdo do experimento de Oersted-Ampère.....	86
Figura 44	Campo magnético orientando o ponteiro da bússola esquerda.....	87
Figura 45	Equilíbrio com fio2 em repouso.....	87
Figura 46	Sistema de forças na repulsão do fio2.....	88
Figura 47	Possível desequilíbrio na atração do fio 2.....	89

Figura 48	Experimento auxiliar Oersted-Ampère.....	92
Figura 49	Sequência de protocolos analisados.....	99
Figura 50	Fluxograma da análise dos protocolos.....	99
Figura 51	Simulação do experimento com ímãs.....	102
Figura 52	Estruturas de pensamento relacionadas ao experimento com ímãs.....	103
Figura 53	Tópicos relacionados às coordenações inferenciais.....	104
Figura 54	Tópicos relacionados às abstrações reflexionantes.....	106
Figura 55	Tópicos relacionados às tomadas de consciência.....	107
Figura 56	Tópicos relacionados às coordenações causais.....	108
Figura 57	Esforço cognitivo relacionado ao experimento com ímãs.....	109
Figura 58	Simulação do experimento de Kirchhoff.....	111
Figura 59	Estruturas de pensamento relacionadas ao experimento de Kirchhoff.....	112
Figura 60	Tópicos relacionados às coordenações inferenciais.....	112
Figura 61	Tópicos relacionados às coordenações causais.....	115
Figura 62	Tópicos relacionados às tomadas de consciência.....	116
Figura 63	Tópicos relacionados às abstrações reflexionantes.....	118
Figura 64	Esforço cognitivo relacionado ao experimento de Kirchhoff.....	120
Figura 65	Grupo INRC no experimento de Kirchhoff.....	122
Figura 66	Dados de observação do nó B.....	123
Figura 67	Dados de observação do experimento auxiliar.....	124
Figura 68	Simulação do experimento de Oersted-Ampère.....	125
Figura 69	Estruturas de pensamento do experimento de Oersted-Ampère.....	126
Figura 70	Tópicos relacionados às coordenações causais.....	126
Figura 71	Tópicos relacionados às tomadas de consciência.....	128
Figura 72	Tópicos relacionados às coordenações inferenciais.....	129
Figura 73	Tópicos relacionados às abstrações reflexionantes.....	131
Figura 74	Esforço cognitivo relacionado ao experimento de Oersted-Ampère.....	131
Figura 75	Forças que equilibram o condutor suspenso repellido.....	133
Figura 76	Observáveis de campo magnético e corrente elétrica.....	134
Figura 77	Campo magnético alterando o sentido do ponteiro da bússola.....	134
Figura 78	Experimento auxiliar com observáveis importantes.....	135
Figura 79	Atração e repulsão entre os condutores paralelos.....	136
Figura 80	Comparação do esforço cognitivo nos experimentos principais.....	141

LISTA DE TABELAS

Tabela 01	Relações entre classes e sua recíproca.....	23
Tabela 02	Tabela-verdade para 16 associações possíveis.....	26
Tabela 03	Tabela-verdade para 16 associações possíveis	77
Tabela 04	Tabela-verdade para 16 associações possíveis	94

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Bat1	Bateria 1
Bat2	Bateria 2
C#	C Sharp
CC	Corrente contínua
ch1	Interruptor 1
ch2	Interruptor 2
DC	Corrente elétrica no sentido direto
ENEM	Exame Nacional do Ensino Médio
EsM	Ensino sob Medida
F _B	Força magnética
i ₁	Corrente elétrica no ramo esquerdo
i ₂	Corrente elétrica no ramo direito
i ₃	Corrente elétrica no ramo central
IDEB	Índice de Desenvolvimento da Educação Básica
INRC	Identidade, Negação, Recíproca e Correlação
JiT	Just-in-Time
LABVIRT	Laboratório Didático Virtual
LDB	Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional
lp1	Lâmpada esquerda
lp2	Lâmpada direita
lp3	Lâmpada central
LSL	Linden Scripting Language
NPC	Non-Player Character
PISA	Programa de Avaliação Internacional de Estudantes
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
PCN+	Orientações Educacionais Complementares para o Ensino Médio
Prim	Objeto virtual tridimensional básico
p ₁	Força peso 1
p ₂	Força peso 2
R1	Resistor 1
R2	Resistor 2
SL	Second Life
TRE	Teoria da Relatividade Restrita
OpenSim	Open Simulator
OSSL	OpenSim Scripting Language
SCILAB	Linguagem de programação para computação científica

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 Motivação.....	13
1.2 Problema de Pesquisa.....	16
1.3 Objetivo Principal.....	16
1.4 Objetivos Específicos.....	16
1.5 Estrutura dos capítulos.....	17
2. REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 Epistemologia Genética.....	18
2.1.1 Operações Cognitivas.....	20
2.1.2 Abstrações Reflexionantes.....	29
2.2 Ambientes Virtuais Imersivos 3D.....	34
2.3 Trabalhos Correlatos.....	40
2.3.1 Estudos envolvendo Epistemologia Genética e Ensino de Física.....	40
2.3.2 Estudos abordando Mundos Virtuais Imersivos 3D e Ensino de Física.....	44
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	50
3.1 Coleta de Dados.....	57
3.1.2 O Método Clínico de Piaget.....	58
3.2 Experimentos virtuais desenvolvidos.....	59
3.2.1 Experimento com Ímãs.....	59
3.2.2 Protocolo preliminar.....	64
3.2.3 Experimento sobre a 1ª Lei de Kirchhoff.....	66
3.2.4 Protocolo preliminar.....	58
3.2.5 Experimento Auxiliar de Kirchhoff.....	74
3.2.6 Protocolo preliminar experimento auxiliar.....	80
3.2.7 Experimento Oersted-Ampère.....	82
3.2.8 Protocolo preliminar.....	90
3.2.9 Experimento Auxiliar de Oersted-Ampère.....	92
3.3 Protocolo preliminar experimento auxiliar.....	97
4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS	99
4.1 Análise do Experimento com Ímãs.....	102
4.2 Análise do Experimento sobre a 1ª Lei de Kirchhoff.....	111
4.3 Análise do Experimento de Oersted-Ampère.....	125
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	138
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	144

1. INTRODUÇÃO

O processo histórico de transformação da sociedade também abrange a construção de significados científicos. Sob este prisma, o artigo 36 da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB), acentua a necessidade das metodologias de ensino promoverem, cada vez mais, a autonomia intelectual dos estudantes. O que vai ao encontro dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), no que tange ao estímulo à construção de competências capazes de contextualizar e esclarecer a ciência, em detrimento da simples memorização mecânica de conceitos (BRASIL, 1996).

Com relação às Ciências da Natureza, os PCN+ reiteram a importância da aprendizagem de princípios, leis e modelos, para a compreensão de eventos naturais ou tecnológicos, do dia-a-dia ou diante de questões universais. Em especial, o item IV das Orientações Educacionais Complementares propõe o desenvolvimento da capacidade de elaborar estratégias de resolução de situações-problema, além de, experimentalmente, identificar o grau de influência das variáveis envolvidas no estudo de um determinado fenômeno (BRASIL, 2006). Isto ressalta a importância dos laboratórios didáticos escolares, enquanto espaço físico equipado com experimentos relativos ao ramo científico para o qual é destinado, onde os ensaios realizados buscam referendar hipóteses e cuja aplicação didática deve permitir coordenar a teoria com a prática experimental (SOARES; CRUZ, S.; CRUZ, F., 2018).

No entanto, os resultados do Programa de Avaliação Internacional de Estudantes (PISA) têm revelado carências no sistema educacional brasileiro, que ocupa a posição de número 57 entre as 65 nações participantes e apresenta elevadas taxas de repetência, abandono e baixo desempenho, segundo o Índice de Desenvolvimento da Educação Básica (IDEB) (UOL-EDUCAÇÃO, 2019). A relação “notas-metas” do IDEB denota um panorama de dificuldades de compreensão e avanço dos conteúdos do Ensino Médio, fruto do enfraquecimento da base de formação do Ensino Fundamental. Especificamente na área das Ciências da Natureza e suas Tecnologias (Física, Química e Biologia) os dados do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) confirmam uma média abaixo das demais áreas em três anos seguidos, evidenciando a existência de problemas nos processos de ensino e de aprendizagem no campo de conhecimento científico, fato que acaba diminuindo a qualidade e aumentando a evasão do Ensino Superior (BRASIL, 2019).

Por sua vez, as atividades experimentais na área das Ciências da Natureza, em especial na Física, podem auxiliar, em termos de ensino e aprendizagem, a diminuir a distância entre os patamares almejados pela legislação e os resultados obtidos, na prática, pelos estudantes. Pois, segundo Villani e Nascimento (2016), os laboratórios didáticos possuem o potencial de influenciar positivamente na capacidade argumentativa, desenvolvendo habilidades que as aulas teóricas não possibilitam. Tal afirmação pode ser ainda mais potencializada pela visão piagetiana sobre a importância do conhecimento ser “construído” e não apenas “ensinado”, ultrapassando as práticas pedagógicas tradicionais de reprodução de conteúdo e validação do conhecimento científico, tal qual verdade imutável, através do desenvolvimento de aparatos projetados para, na interação com o sujeito, proporcionar desafios cognitivos que levem à evolução das estruturas de pensamento e a construção conceitual (GUEDES, 2017).

Na perspectiva de qualificar o ensino e a aprendizagem de Física através das tecnologias da informação e comunicação e contribuir com uma alternativa viável para complementar as atividades de um laboratório real, este trabalho apresenta alguns experimentos virtuais imersivos 3D de Eletromagnetismo, cujo desenvolvimento e aplicação levou em conta a Epistemologia Genética de Piaget. A intenção foi permitir a transformação da realidade através de uma prática construtivista, para chegar-se à tomada de consciência de como são construídos determinados conceitos físicos, focando no esforço cognitivo efetuado pelos sujeitos ao longo das simulações computacionais.

Esta tese é direcionada a Licenciados em Física, pesquisadores de Informática na Educação e demais interessados em ampliar seus conhecimentos a respeito da aplicação da Epistemologia Genética em Mundos Virtuais Imersivos 3D, do ponto de vista de experimentos envolvendo o Eletromagnetismo Clássico.

1.1 Motivação

O Eletromagnetismo faz parte da vida cotidiana mais do que se imagina. Através dele é possível compreender, entre outros fenômenos naturais, a coesão entre os átomos e as formações do relâmpago, do arco-íris e da aurora boreal. Além disso, tais princípios científicos serviram de base para a invenção de lâmpadas, aparelhos de rádio, receptores de televisão, micro-ondas, computadores, celulares etc (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016).

A importância desse ramo científico é reconhecida pelos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (BRASIL, 2006), os quais incentivam o desenvolvimento de práticas pedagógicas voltadas para a construção de tais conceitos, por considerá-los fundamentais a uma adequada leitura de Mundo. No entanto, essa área ainda é categorizada por alunos e professores como de difícil compreensão, envolvendo uma abordagem teórico-matemática que, por vezes, desconsidera o auxílio da prática experimental.

Tal cenário tem levado pesquisadores a criarem estratégias de aprimoramento do ensino do Eletromagnetismo, como a proposta por Guedes (2017), que desenvolveu uma série de experimentos de baixo custo objetivando dirimir o alto grau de abstração requerido para o aprendizado do conceito de linhas de campo magnético, campo magnético criado por corrente elétrica e força sobre um condutor imerso em campo magnético. Mentz (2017), por sua vez, observando a falta de conhecimento matemático, a baixa motivação e o desconhecimento da importância dos conceitos de ondas eletromagnéticas, sugeriu uma sequência didática de aprendizagem por pesquisa com o uso de celulares.

Santos (2016) partiu do compartilhamento comum de leis responsáveis pela interação entre Eletricidade e Magnetismo, as quais são de difícil visualização (campo magnético no espaço tridimensional) e ligadas a um denso conhecimento matemático, para desenvolver um laboratório virtual acessado via internet (LABVIRT), destinado ao estudo de tópicos de Eletromagnetismo com base na Teoria dos Campos Conceituais¹ de Vergnaud. Oliveira, Veit e Araújo (2015) combinaram os métodos de “Ensino sob medida”² e “Instrução por colegas”³ para o estudo dos campos magnéticos produzidos por ímãs, pela Terra e por cargas elétricas em movimento. A estratégia empregou material hipermédia, atividades de leitura, planejamento de aula centrada nas dificuldades encontradas, pré e pós-testes. Os resultados demonstraram um avanço na aprendizagem dos conceitos trabalhados, em relação às aulas tradicionais.

A conjuntura das dificuldades de aprendizagem conceitual, somada ao fato de o Eletromagnetismo não ter sido abordado nos estudos de Piaget e Inhelder (1976) (somente Ótica, Hidrostática e Mecânica) levaram à escolha de investigar o processo de construção de

¹A Teoria dos Campos Conceituais descreve como os alunos constroem o conhecimento matemático, no qual a aprendizagem acontece por meio de experiências envolvendo muitas situações, tanto dentro como fora da escola (MAGINA, 2000).

²O Just-in-Time (JiT) ou Ensino sob Medida (EsM) é um método desenvolvido por Gregor Novak e consiste em ajustar a sala de aula às necessidades dos alunos (KIELT, 2017).

³O Peer Instruction (PI) ou Instrução por colegas é uma metodologia criada por Eric Mazur, a qual potencializa as inter-relações entre os alunos e dos alunos com professor, rompendo com as tradicionais aulas expositivas em que apenas o professor explica os conceitos (KIELT, 2017).

conhecimento envolvendo esse campo da Física. A estratégia de criação dos experimentos (um magnético, um elétrico e outro eletromagnético) levou em conta situações de equilíbrio físico com base nas relações do grupo INRC⁴.

Ademais, segundo Vieira, Costa e Gadelha (2018) em conjunto com Pereira *et al.*, (2018) a criação de experimentos nos Mundos Virtuais, apresentam as seguintes vantagens:

- 1- Baixo custo em relação aos experimentos físicos;
- 2- Possibilidade de grande quantidade de acessos simultâneos;
- 3- Risco praticamente inexistente de prejuízo a saúde de usuário (não há um contato real com reagentes ou qualquer tipo de equipamento);
- 4- Repetição indefinida das experimentações (não existe a necessidade de reposição de materiais ou desgaste de equipamentos);
- 5- Rompimento da barreira de tempo e espaço (acesso virtual de qualquer lugar a qualquer momento).

Os experimentos de Oersted e Ampère foram escolhidos por representarem os seguintes fenômenos eletromagnéticos fundamentais (YOUNG; FREEDMAN, 2016):

- a) Os campos magnéticos criados ao redor de condutores energizados;
- b) As forças magnéticas agindo sobre condutores energizados imersos em campo magnético.

A facilidade de criação e adaptação às especificidades dos sujeitos, além de potencializar sensorialmente a experiência virtual, promoveram o desejo de trabalhar com uma plataforma virtual imersiva 3D e contribuir para a expansão da área de Ensino de Física. A opção pela Epistemologia Genética de Jean Piaget justifica-se por essa teoria fornecer elementos para investigar a sequência de pensamento do sujeito e como ele se reequilibra cognitivamente, frente à resistência oferecida pelo objeto de conhecimento (no caso, os experimentos virtuais propostos). Tais pressupostos são estratégicos para esta tese, pois se busca a “invenção” de situações experimentais promotoras das “invenções” dos próprios sujeitos (BECKER, 2003).

⁴ O grupo de quatro transformações INRC (Identidade, Negação, Recíproca e Correlação) é a fusão, em um sistema único, das duas formas de reversibilidade (inversão ou negação e reciprocidade), formando uma estrutura completa e fechada, característica de sistemas em equilíbrio físico (PIAGET; INHELDER, 1976).

1.2 Problema de Pesquisa

Ao considerar-se o potencial dos mundos virtuais imersivos 3D para a qualificação da aprendizagem experimental de Eletromagnetismo, com base na Epistemologia Genética de Piaget e nos estudos de Piaget e Inhelder sobre a operatoriedade do pensamento, formulou-se a seguinte questão de pesquisa.

Quais os processos cognitivos realizados por estudantes do Ensino Superior, ao longo de simulações em experimentos virtuais imersivos 3D de Eletromagnetismo?

1.3 Objetivo Principal

A partir da questão de pesquisa é apresentado o objetivo principal:

Investigar os processos cognitivos de estudantes do Ensino Superior, no decorrer de simulações com experimentos eletromagnéticos virtuais imersivos 3D.

1.4 Objetivos Específicos

Com base no objetivo principal, foram delineados alguns objetivos específicos:

- 1- Compreender o processo de construção de conhecimento em ambiente virtual imersivo 3D;
- 2- Desenvolver experimentos de eletromagnetismo que desafiem as operações proposicionais com o Grupo INRC de Piaget;
- 3- Empregar a Epistemologia Genética como parâmetro teórico e o Método Clínico piagetiano como recurso de coleta de dados na elaboração e ensaio de experimentos virtuais imersivos 3D de Física;
- 4- Agregar os aparatos criados na formação de um laboratório virtual imersivo 3D de Física, com ênfase construtivista, para posterior emprego em sala de aula.
- 5- Constituir um material sistematizado sobre Epistemologia Genética aplicada aos mundos virtuais, para futuramente oferecer formação sobre o tema à licenciandos e licenciados em Física;

1.5 Estrutura dos Capítulos

A tese está organizada da seguinte maneira:

- O capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica da Epistemologia Genética de Piaget, abordando elementos importantes do processo de equilíbrio cognitivo, como: assimilação, acomodação, equilíbrio majorante, abstrações: empírica e reflexionante (pseudo-empírica e refletida) e tomada de consciência.
- O Capítulo 3 dá uma visão geral dos Ambientes Virtuais Imersivos 3D, suas características, os tipos de plataformas utilizadas para construir os ambientes, os aspectos de imersão e sensação de presença e trabalhos envolvendo laboratórios virtuais imersivos já existentes.
- O Capítulo 4 descreve os procedimentos metodológicos com os quais se pretende buscar a resposta para a questão de pesquisa e atingir os objetivos propostos. Em conjunto com os experimentos virtuais são apresentados os princípios físicos relacionados com as estruturas formais do grupo INRC e discutidas as estratégias de coleta e análise dos dados.
- O Capítulo 5 descreve a análise dos protocolos obtidos pelas entrevistas clínicas, além de considerações a respeito do esforço cognitivo dos sujeitos, da adequação dos experimentos aos objetivos propostos e sobre trabalhos futuros

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Epistemologia Genética

A obra do psicólogo suíço Jean Piaget (1896-1980) é uma importante referência para estudos sobre os processos de construção do conhecimento humano, pois aborda o sujeito epistêmico como o indivíduo criador do seu saber por força de sua ação sobre o meio físico ou social. Para Piaget (1977b), a elaboração conceitual não parte do zero, não principia no sujeito (apriorismo) ou no objeto (empirismo) ou configura mero registro de fatos ou eventos exteriores, mas é fruto de uma estruturação em processo constante de diferenciação.

Na Epistemologia Genética, o conhecimento é construído pela interação entre o sujeito e o meio, com base em estruturas cognitivas pré-existentes (fundamentalmente biológicas nos primórdios da cognição individual). Enquanto o desenvolvimento cognitivo configura-se como um processo biológico, psicológico, espontâneo e inato do ser humano, a aprendizagem é provocada por uma situação didática ou externa, limitada a um problema localizado e atrelada à condição cognitiva do sujeito (PIAGET, 1978).

Segundo Piaget (1995), a necessidade de adaptar-se ao mundo ao redor faz o sujeito agir sobre os objetos (assimilação) e integrar o que veio diferenciando por acomodação às suas estruturas prévias ou esquemas⁵ (Figura 01).

Figura 01 - Processo de adaptação



Fonte: o autor

O processo de adaptação inicia sempre pela assimilação e busca agregar o conhecimento do objeto aos esquemas de ação através de condutas sensório-motoras, as quais, posteriormente, assumem a forma de representação e evoluem até chegar às operações lógico-matemáticas superiores. O desenvolvimento dessas estruturas de pensamento ocorre de um nível elementar

⁵ Esquema é uma estrutura mental representativa dos aspectos do mundo, que além de organizar o conhecimento atual, serve de base para compreensões futuras (BATTRO, 1978).

para outro de maior complexidade e não é uniforme para todos os sujeitos, pois está atrelado aos seguintes fatores (PIAGET, 1977):

a) Hereditariedade e maturação do sistema nervoso central: condição necessária, mas insuficiente para explicar a evolução do conhecimento, responsável pela ordem de sucessão dos estádios⁶ de desenvolvimento e pelas primeiras aprendizagens;

b) Experiências físicas e lógico-matemáticas: exprimem a interação sujeito↔objeto, a primeira relaciona-se à ação do sujeito sobre os objetos ou dimensões do mundo físico e a segunda à coordenação dessas ações, sejam elas reais ou representadas;

c) Transmissão social: Fator educativo cuja eficácia está atrelada ao processo ativo de assimilação pelo sujeito;

d) Equilibração⁷ das estruturas cognitivas: Ápice de cada processo interativo de desenvolvimento cognitivo e das aprendizagens possibilitadas por ele, está condicionado ao equilíbrio entre os três fatores anteriores.

Quando o sujeito se defronta com um objeto inusitado – físico ou conceitual – o qual não consegue assimilar, surge a necessidade de modificar as estruturas cognitivas previamente construídas ou criar novas. Tal alteração de esquemas ou estruturas de assimilação de novos objetos ou eventos dá-se pela acomodação e envolve os seguintes postulados da Teoria da Equilibração (PIAGET, 1978):

a) qualquer esquema de assimilação tende a incorporar para si elementos exteriores compatíveis com a sua natureza;

b) todo esquema de assimilação é obrigado a se acomodar aos elementos que assimila, sendo modificado sem abandonar sua continuidade ou suas capacidades assimilativas anteriores;

⁶ Embora a palavra ‘estágio’ seja muito usada em Epistemologia Genética o termo empregado por Piaget é ‘*le stade*’, cuja tradução é ‘**o estádio**’ (PIAGET, 1978).

⁷ Mecanismo auto-regulador entre a assimilação e a acomodação, necessário para uma interação eficiente entre sujeito e objeto de conhecimento (PIAGET, 1978).

O ciclo assimilação↔acomodação (Figura 02) desencadeia o processo de equilibração majorante⁸, evidenciado pelos desequilíbrios oriundos da tentativa de solucionar situações-problema, cujas reequilibrações alcançam patamares cada vez mais elevados de conhecimento.

Para Piaget (1967), tais desequilíbrios desempenham o papel de “motor” da investigação e, ao ultrapassá-los, a ação é modificada a partir de seus resultados, configurando assim uma regulação (processo de reação a uma perturbação).

Figura 02 - Processo de Equilibração



Fonte: o autor

A essência da construção de conhecimento é a ação reversível interiorizada (operação), através da qual o objeto se revela ao sujeito, o qual se transforma pela compreensão de suas próprias ações. No âmbito da Física, um exemplo de tal mecanismo pode ser encontrado no estudo da atração magnética, no qual a ação do sujeito sobre um ímã e amostras de diversos metais cria dois conjuntos, o dos metais magnetizáveis (ferro e níquel) e não-magnetizáveis (ouro, prata e cobre), configurando assim uma operação de classificação. Como nenhuma operação cognitiva está isolada, outras irão agregar-se formando estruturas operatórias cada vez mais complexas produzindo a base do conhecimento do sujeito (PIAGET, 1978).

2.1.1 Operações Cognitivas

Segundo Piaget (1977b), a passagem para um nível de pensamento superior não ocorre de maneira brusca, mas através de múltiplas transições entre os estádios de desenvolvimento da cognição. Como as estruturas intelectuais são sempre orgânicas, a maturação biológica assume uma condição importante e necessária, mas não suficiente, havendo a necessidade de uma interferência externa, realizada pela assimilação, para o avanço cognitivo. O amadurecimento

⁸ Mecanismo de desenvolvimento cognitivo que produz uma complexidade crescente do conhecimento (PIAGET, 1978).

do sistema neurológico pode ser, dentro de certos limites, acelerado ou retardado, conforme as condições de educação e cultura do indivíduo.

Enquanto a criança está limitada a operações concretas, o adolescente vale-se da lógica das proposições, operando com classes e relações e, na grande maioria das vezes, sem ter consciência disso. A partir da assimilação das ideologias sociais e da integração moral e intelectual na sociedade dos adultos, o jovem passa a considerar as possibilidades de elaborar teorias, o que sinaliza o aparecimento de operações formais. A reflexão da inteligência sobre si mesma, além de uma inversão nas relações entre o possível e o real, refuta a hipótese de o pensamento formal ser unicamente imposto pela educação escolar, a qual pode colaborar significativamente para esse processo, mas pode também ser um empecilho (PIAGET, 1995).

No estágio pré-operatório ocorre o desenvolvimento da linguagem e o início da socialização a partir do aparecimento da função simbólica, capacitando o sujeito a representar fatos ou histórias através da imagem mental, da imitação, do brinquedo simbólico, do desenho, da linguagem. Também é comum viver entre a fantasia e a realidade, usando imagens mentais para transformar um objeto em algo prazeroso (cabo de vassoura em cavalo). As operações reversíveis são sobrepujadas pelas ações pessoais do sujeito, o qual expõe uma situação para outrem como se estivesse explicando para si próprio (PIAGET, 1995).

No estágio operatório-concreto, as operações ocorrem no âmbito do limite das ações sobre os objetos concretos. A capacidade de abstração ainda não atingiu operações sem o acompanhamento de ações concretas, logrando a construção de uma lógica formal envolvendo classes, relações e números. A lógica operatória desse nível encontra-se restrita às ações concretas que se manifestam nas noções de conservação de grandezas físicas. A fase é de transição entre a ação e a estruturação lógica geral, como os agrupamentos e as operações infralógicas (conservação de quantidade, substância, peso e volume). O sujeito não se limita a uma representação imediata da realidade, mas organiza de forma operatória o mundo ao seu redor, mantendo a capacidade de abstração na dependência dos objetos concretos. O prolongamento de ações ou operações aplicadas a um conteúdo específico acarreta uma extensão do real em direção ao virtual (PIAGET; INHELDER, 1976).

A lógica operatória deste estágio alcança o equilíbrio através do mecanismo da reversibilidade, a qual abrange a inversão/negação (operação nula ou idêntica) e a reciprocidade (o produto das operações recíprocas forma outra operação equivalente, mas não nula). A inversão/negação ocorre na classificação e a reciprocidade na seriação, mas ambas não atingem

ainda um patamar combinatório capaz de sintetizar essas operações em um sistema único; limita-se a agregar mais classes e relações, o que provoca a permanência no estado de grupo, caracterizado por reversibilidade parcial ou incompleta (PIAGET, 1995).

As estruturas concretas de classes estão divididas, na sua forma aditiva, em classificações simples e múltiplas (tabelas multiplicativas ou matrizes). Na área do Eletromagnetismo, por exemplo, é possível obter as seguintes classes:

A' = linhas de indução; A = vetor magnético; B = campo magnético; B' = demais grandezas magnéticas; C = Magnetismo; C' = demais grandezas elétricas; D = Eletromagnetismo;

A adição torna possível unir duas classes adjacentes em uma única, porém não há uma operação combinatória capaz de apresentar todos os subconjuntos existentes no interior do sistema.

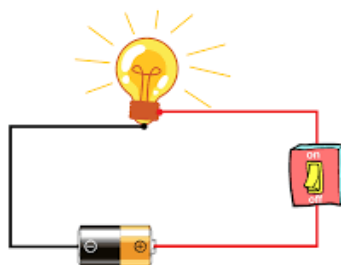
$$A' + A = B; \quad B' + B = C; \quad C' + C = D$$

A condição de reversibilidade operatória (retirada da classe) dá-se somente pela inversão, tendo como resultado a propriedade $(0 + 0) = 0$, então:

$$B = (A' + A) + (-A' - A) = 0$$

Os agrupamentos multiplicativos (que alcançam a maior complexidade para o pensamento concreto) formam tabelas com várias entradas e, no âmbito da eletricidade, pode ser empregado na compreensão do funcionamento de um circuito elétrico composto por um interruptor, uma lâmpada e uma bateria (Figura 03).

Figura 03 - Circuito elétrico



Fonte: Vocnaeletrica (2020)

Classe interruptor (A_1 = interruptor fechado + A_2 = interruptor aberto), classe lâmpada (B_1 = acessa + B_2 = apagada).

Os pares de classes ficarão da seguinte forma:

$$(A_1 + A_2) \times (B_1 + B_2) = A_1 B_1 + A_1 B_2 + A_2 B_1 + A_2 B_2$$

- $A_1 B_1$ = interruptor fechado e lâmpada acesa (alternativa verdadeira)
- $A_1 B_2$ = interruptor fechado e lâmpada apagada (possibilidade de defeito na lâmpada)
- $A_2 B_1$ = interruptor aberto e lâmpada acesa (possibilidade de defeito no interruptor)
- $A_2 B_2$ = interruptor aberto e lâmpada apagada (alternativa verdadeira)

A operação de inversão para excluir uma classe $(A_1 + A_2)$ do todo ficará:

$$[(B_1 + B_2) \times (A_1 + A_2)] : (A_1 + A_2) = (B_1 + B_2)$$

No caso das relações entre classes, se forem simétricas podem coordenar equivalências, se assimétricas sistematizam seriações ou encadeamentos e no caso de sistemas multiplicativos estruturam as correspondências. A reversibilidade é caracterizada pela reciprocidade, a qual não anula os termos em si, mas a diferença entre eles (PIAGET, 1995).

Tabela 01 - Relações entre classes e sua recíproca

Tipo de Relação	Recíproca
Simétrica: $A = B$	$B = A$
Assimétrica: $A < B$	$B > A$

No pensamento concreto, os agrupamentos não apresentam todas as possibilidades capazes de levar a uma conclusão efetiva. O sujeito continua a classificar e seriar os dados até isolar certo número de fatores, mas sem demonstrar seus efeitos, pois não executa a variação de um único fator mantendo os demais constantes (PIAGET; INHELDER, 1976).

Dessa forma, as múltiplas interferências entre domínios (superfícies, pesos, velocidades, tempo etc.) advindas de situações reais leva à necessidade de empregar novos instrumentos operatórios, capazes de promover a mudança do raciocínio concreto para o formal através das seguintes ações:

- 1- Coordenar os resultados das operações concretas para eliminar contradições trazidas pela interferência dos conteúdos entre si;
- 2- Coordenar entre si as diversas operações relacionadas aos agrupamentos concretos;

Quando o sujeito se encontra diante de um problema suscetível à perturbação de vários fatores heterogêneos é possível que emergjam resultados contraditórios ou incoerentes. Este cenário torna necessária a “dissociação de fatores”, realizada através da observação pura (contemplação e identificação de fator não determinante para o resultado) ou da experimentação em si (verificação de resultado após intervenção ou supressão de certo fator). Ambos os casos se realizam apenas por inversão ou negação, mas quando esta não puder ser empregada para isolar um fator, a função é assumida pela reciprocidade (diferença entre os fatores) através do processo de neutralização ou exclusão (PIAGET; INHELDER, 1976).

A dissociação de fatores traz a possibilidade de verificar a influência de cada fator na construção de um resultado, de modo que a variação de apenas um elemento seja a combinação comprobatória desejada. Por outro lado, a hipótese da não intervenção simultânea de fatores e a exclusão ou neutralização por uma ação em sentido inverso pode ser traduzida por implicações, equivalências, disjunções, conjunções, exclusões, incompatibilidades, alcançando necessariamente uma combinatória para constituir a estrutura do pensamento formal. Em resumo, a construção de um sistema único, com base na coordenação dos agrupamentos concretos, indica que o pensamento se voltou para as combinações possíveis, retirando a atenção dos objetos em si e configurando a passagem para o estágio formal (PIAGET, 1978).

O estágio operatório-formal diferencia-se do anterior tanto pelos instrumentos de coordenação de ações quanto pela abrangência do campo de atuação, subordinando o real ao possível e considerando apenas os fatos verificados com base nas hipóteses oriundas de uma situação-problema. As premissas construídas culminam na admissão de uma hipótese representada não mais por objetos, mas por enunciados verbais fundados na lógica das proposições. Os aspectos físico e lógico do domínio do possível constituem um mecanismo de busca pelo equilíbrio que evita contradições com fatos novos e afasta a ideia do pensamento meramente arbitrário. Isto estabelece uma estrutura capaz de operar nos dois sentidos, a partir de um conjunto de operações possíveis e de transformações virtuais que obedecem às leis da reversibilidade (PIAGET; INHELDER, 1976).

Enquanto as operações concretas permanecem ligadas a objetos ou a propriedades destes, o pensamento formal caracteriza-se pela independência entre forma e conteúdo, estabelecendo, a partir de hipóteses, uma estrutura generalizável. O sujeito desvincula o pensamento do mundo concreto e potencializa os modelos criados para interpretar coerentemente a realidade. O

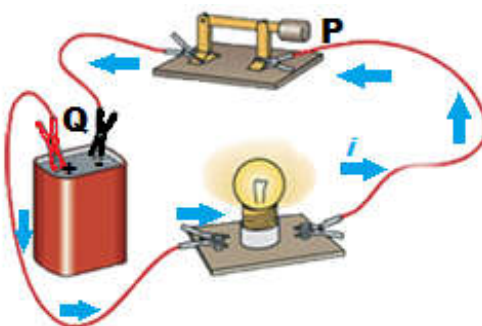
confronto originado pela ação sobre o objeto e ocorrido entre a novidade e os conhecimentos já estabelecidos, estimula o desenvolvimento ativo do sujeito (PIAGET, 1978).

Se as operações concretas atuam sobre os conteúdos empíricos, as formais operam sobre as reações do pensamento, transformando os invariantes em abstrações aplicáveis a qualquer aspecto da realidade. O sujeito pode conceber um evento em função de fatores e agir sobre as coordenações das ações ou sobre as operações abstraídas dessas coordenações, realizando a transição do raciocínio concreto para o proposicional e englobando o real no âmbito do possível (PIAGET; INHELDER, 1976). As operações proposicionais, sucessoras dos agrupamentos concretos, são do tipo:

- Implicação ($P \supset Q$, um fato P implica em outro fato Q), exemplo: $B \supset F$ (o campo magnético B ocasiona a força magnética F).
- Disjunção ($P \vee Q$, o fato ocorre com a presença de P ou Q ou ambos), exemplo: $R_1 \vee R_2$ (em um circuito formado por dois resistores em série com uma bateria de corrente contínua, a corrente elétrica continuará circulando com apenas um dos resistores ou com ambos).
- Incompatibilidade (P / Q , o fato ocorre com a presença de P ou Q, mas não ambos), exemplo: considerando P e Q dois meios diferentes de propagação de onda eletromagnética, a velocidade será diferente para cada meio, mas não a mesma para ambos).

O caráter genérico das operações proposicionais pode ser aplicado no campo da Eletricidade para um circuito de acendimento de uma lâmpada (Figura: 04). A situação apresenta um fato (acendimento da lâmpada) e dois fatores: P (interruptor fechado) e Q (sentido anti-horário de circulação de corrente elétrica).

Figura 04 - Circuito para acender uma lâmpada



Fonte: adaptado de Circuitos Elétricos (2019)

Ao considerar os fatores P e Q em conjunto com $\sim P$ (interruptor aberto) e $\sim Q$ (inversão da posição dos fios de ligação à bateria invertendo o sentido da corrente elétrica), são elaboradas quatro associações básicas: $(P \cdot Q)$, $(P \cdot \sim Q)$, $(\sim P \cdot Q)$, $(\sim P \cdot \sim Q)$, que combinadas “n por n”, em uma tabela-verdade, apresentam 16 associações hipotéticas restritas a um limite superior (todas as combinações são verdadeiras) e um limite inferior (negação de toda e qualquer combinação), estruturando a lógica de “rede” na qual somente algumas associações possíveis deverão ser entendidas como verdadeiras.

Tabela 02 - Tabela-verdade para 16 associações possíveis

	$\sim P \cdot \sim Q$	$\sim P \cdot Q$	$P \cdot \sim Q$	$P \cdot Q$	Associações possíveis
(16)	1	1	1	1	$(\sim P \cdot \sim Q) \vee (\sim P \cdot Q) \vee (P \cdot \sim Q) \vee (P \cdot Q)$
(15)	1	1	1	0	$(\sim P \cdot \sim Q) \vee (\sim P \cdot Q) \vee (P \cdot \sim Q)$
(14)	1	1	0	1	$(\sim P \cdot \sim Q) \vee (\sim P \cdot Q) \vee (P \cdot Q)$
(13)	1	1	0	0	$(\sim P \cdot \sim Q) \vee (\sim P \cdot Q)$
(12)	1	0	1	1	$(\sim P \cdot \sim Q) \vee (P \cdot \sim Q) \vee (P \cdot Q)$
(11)	1	0	1	0	$(\sim P \cdot \sim Q) \vee (P \cdot \sim Q)$
(10)	1	0	0	1	$(\sim P \cdot \sim Q) \vee (P \cdot Q)$
(09)	1	0	0	0	$(\sim P \cdot \sim Q)$
(08)	0	1	1	1	$(\sim P \cdot Q) \vee (P \cdot \sim Q) \vee (P \cdot Q)$
(07)	0	1	1	0	$(\sim P \cdot Q) \vee (P \cdot \sim Q)$
(06)	0	1	0	1	$(\sim P \cdot Q) \vee (P \cdot Q)$
(05)	0	1	0	0	$(\sim P \cdot Q)$
(04)	0	0	1	1	$(P \cdot \sim Q) \vee (P \cdot Q)$
(03)	0	0	1	0	$(P \cdot \sim Q)$
(02)	0	0	0	1	$(P \cdot Q)$
(01)	0	0	0	0	$\sim[(\sim P \cdot \sim Q) \vee (\sim P \cdot Q) \vee (P \cdot \sim Q) \vee (P \cdot Q)]$

Segundo Piaget (1976), o sujeito do estágio formal pode construir cognitivamente as 16 combinações hipotéticas mesmo não sendo capaz de explicitá-las. Na sequência, são exemplificadas algumas análises na busca de proposições verdadeiras entre as possíveis:

- (02) $(P \cdot Q)$ = o fato (acendimento da lâmpada) ocorre pela junção dos fatores (interruptor fechado e sentido anti-horário da corrente); a hipótese apresentada é

verdadeira, pois basta o interruptor estar fechado para a corrente circular e a lâmpada acender.

- (03) $(P \cdot \sim Q)$ = o fato ocorre pela presença do fator P; a hipótese apresentada é verdadeira, pois o interruptor está fechado e a corrente inverteu o sentido de circulação, garantindo o acendimento da lâmpada.
- (05) $(\sim P \cdot Q)$ = o fato ocorre pela presença do fator Q (sentido anti-horário de corrente); a hipótese é falsa, pois com interruptor aberto não há circulação de corrente e a lâmpada não acende.
- (09) $(\sim P \cdot \sim Q)$ = o fato ocorre com a ausência de ambos os fatores; a hipótese é falsa, pelo mesmo motivo da análise anterior.
- (04) $(P \cdot \sim Q) \vee (P \cdot Q)$ = o fato ocorre com a presença do fator P ou pela junção dos dois fatores; a hipótese é verdadeira e demonstra que o sentido de circulação da corrente não influencia no acendimento da lâmpada quando o interruptor está fechado.

A outra estrutura lógica do período formal apresenta uma integração entre os agrupamentos de classe e série, formando uma dupla modalidade de reversibilidade (inversão e reciprocidade). Dessa forma, as operações proposicionais servem como instrumento para articular as quatro transformações em um único sistema denominado de Grupo INRC. Segundo Piaget (1976), mesmo o desconhecimento das técnicas desta lógica não impede o sujeito de inter-relacionar, hipoteticamente, tais transformações para uma infinidade de situações.

Assim, a junção de dois fatores (P, Q) pode ser representada como:

- **Identidade:** $I = (P \vee Q)$;
- **Negação:** $N = (\sim P \cdot \sim Q)$, obtida invertendo a função e os valores dos fatores da identidade;
- **Reciprocidade:** $R = (\sim P \vee \sim Q)$, obtida invertendo somente os valores dos fatores da identidade;
- **Correlação:** $C = (P \cdot Q)$, obtida invertendo somente a função e os valores dos fatores da recíproca;

A compreensão do equilíbrio físico da prensa hidráulica, através do raciocínio envolvendo o grupo INRC, foi abordada por Piaget e Inhelder (1976) empregando um aparelho (Figura 05) com dois vasos comunicantes, um aberto e o outro fechado com um pistão sobre o qual se colocam massas para aumentar a força peso e a pressão no líquido. Então, o líquido reagia ao

peso do pistão com uma força de mesmo módulo e direção, mas em sentido contrário. Neste experimento, buscou-se compreender como o sujeito passa do pensamento concreto para o formal ao observar não somente a simples correspondência entre o aumento do peso do pistão e o deslocamento do líquido, mas necessitando explicar o equilíbrio ocasionado pelas forças de ação e reação.

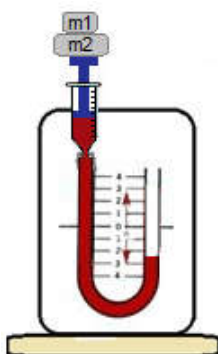
Análise da situação de equilíbrio revelou um mecanismo correspondente às quatro transformações INRC:

- 1- A primeira refere-se à ação do peso do pistão, causando uma pressão sobre o líquido.
- 2- A segunda consiste na diminuição da ação anterior pela eliminação gradual das massas sobre o pistão.
- 3- A terceira diz respeito à resistência do líquido (relacionada com a densidade), produzindo uma força de reação ao peso do pistão.
- 4- A quarta está relacionada à supressão da resistência do líquido, substituindo-o por outro com menor densidade.

Estas transformações estão relacionadas com as seguintes operações:

- 1- A ação de uma pressão sobre o líquido influenciada pelo peso do pistão e transcrita em lógica proposicional da seguinte forma: $(p \vee q)$, os quais seriam dois valores diferentes de pressão.
- 2- A diminuição de pressão, configura uma operação inversa do tipo $(\sim p \cdot \sim q)$.
- 3- Compensação da operação 1 (resistência do líquido), operação recíproca: $(\sim p \vee \sim q)$.
- 4- A supressão da terceira operação pela substituição por um líquido menos denso, configurando a inversa desta ou operação correlativa: $(p \cdot q)$.

Figura 05 - Prensa hidráulica



Fonte: adaptado de Portal do Professor (2018)

O estudo revelou a identificação, pelo sujeito, da reciprocidade entre as transformações 1 e 3, fato que coaduna com a característica do estágio operatório formal. A razão disso reside na compreensão do sujeito sobre a existência de uma compensação, implicando na identificação da ação de uma resistência (reação do líquido em relação ao pistão) que leva à supressão da pressão causada.

2.1.2 Abstrações Reflexionantes

O desenvolvimento da inteligência não se dá somente pela ação do indivíduo sobre mundo, mas também através das ponderações sobre as ações efetuadas. Ao relacionar-se com o objeto de conhecimento o sujeito executa abstrações (Figura 06), ou seja, retira dele informações que emergem dos elementos observáveis ou advêm das coordenações das ações sobre o mesmo (PIAGET, 1995).

Figura 06 - Tipos de abstrações



Fonte: o autor

A percepção dos aspectos observáveis provém da abstração empírica, a qual permite extrair características físicas ou qualidades materiais das ações do sujeito sobre o objeto, mas não se resume a uma simples 'leitura', pois emprega estruturas assimilatórias para construir significados. Nos estádios iniciais de desenvolvimento cognitivo, essa abstração limita-se ao discernimento das características mais aparentes e globais dos objetos. Porém, mostra um grau crescente de melhora na apreensão de propriedades observáveis, ao longo da evolução de conceitos, da métrica espacial e das estruturas lógico-aritméticas do indivíduo, evoluindo na estrita dependência da abstração reflexionante (PIAGET, 1995).

Entre os exemplos de qualidades obtidas por abstração empírica estão a sonoridade de um instrumento musical, o aroma das flores, o sabor dos alimentos, a movimentação dos veículos etc. No campo desta investigação, cita-se a luz emitida pelo acendimento das lâmpadas; os valores de corrente, tensão e resistência elétricas mostrados nos respectivos medidores e a atração ou repulsão magnéticas entre dois ímãs. As informações provenientes de ações observáveis ocorrem quando o sujeito está pilotando, digitando, pedalando, lendo e, no âmbito

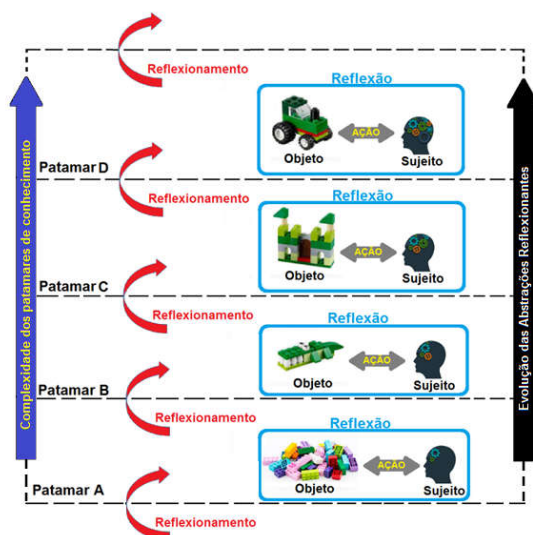
desta investigação, acionando um botão ou alavanca de controle (ressalve-se a possibilidade de o acionamento também envolver a abstração pseudo-empírica) (BECKER, 2003).

Segundo Piaget (1995), a abstração reflexionante opõe-se à empírica devido às coordenações de ações do sujeito sobre o objeto obterem qualidades ligadas a características endógenas (não-observáveis). Por exemplo, quando uma criança ‘se dá conta’ da obtenção do mesmo resultado somando $4+4+4$ ou multiplicando 4×3 , ela está coordenando duas ações de somar em uma única de multiplicar e dessa forma, está configurado uma ‘nova operação’ com maior abrangência e eficiência do que a precedente, adquirindo o caráter de ‘novidade’. A abstração reflexionante envolve dois fatores complementares e indissociáveis (Figura 07), o reflexionamento (transposição para um plano superior das características retiradas do patamar precedente) e a reflexão (reconstrução e reorganização sobre o novo patamar, daquilo que foi trazido do patamar inferior).

O deslocamento do reflexionamento (assimilações) e da reflexão (acomodações) para um grau superior de complexidade apresenta quatro níveis de atuação:

- a) Elementar: diz respeito à condução das ações sucessivas até sua representação atual;
- b) Segundo nível: reconstituição da sequência das ações;
- c) Terceiro nível: ocorrência de comparações entre as ações;
- d) Quarto nível: reflexão sobre as reflexões anteriores, o sujeito reconhece as razões das conexões entre os elementos reorganizados.

Figura 07 – Reflexionamentos e reflexões da abstração reflexionante



Fonte: adaptado de LEGO (2020)

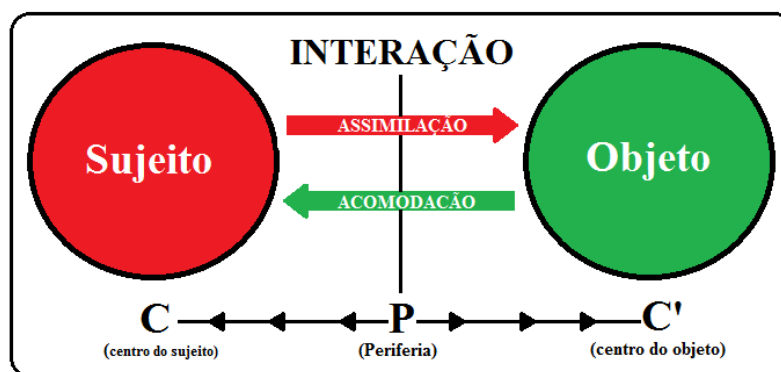
A Figura 07 apresenta em exemplo de elaboração de patamares sucessivos de conhecimento através de um processo em espiral com alternância ininterrupta de reflexionamentos → reflexões → reflexionamentos, ou de conteúdos → formas → conteúdos reelaborados → novas formas (PIAGET, 1995).

A abstração reflexionante divide-se em pseudo-empírica e refletida, na abstração pseudo-empírica o sujeito também executa coordenações de ações, mas retira qualidades que ele próprio adicionou ao objeto. Como o exemplo de um cano transparente completamente preenchido com bolinhas de isopor, no qual a introdução de uma nova bola faz sair outra na extremidade oposta. O sujeito então atribuirá, por analogia ao comportamento das bolinhas de isopor, o mesmo comportamento ao fluxo de elétrons em um condutor (PIAGET, 1995).

À medida que o progresso da abstração reflexionante vai dispensando os apoios concretos, a abstração refletida (tomada de consciência de uma abstração reflexionante) vai assumindo um papel significativo. Esse processo é o ápice de uma construção formada por numerosas abstrações reflexionantes, propriamente ditas, ou pseudo-empíricas e diferencia-se do *Insight*, da Psicologia da *Gestalt*, por não ser uma repentina organização da percepção, mas o fruto de transformações cognitivas, simultaneamente, estruturadas e estruturantes (PIAGET, 1995).

A tomada de consciência é um processo que parte dos objetivos ou resultados das ações do sujeito para, através de uma conceituação progressiva, apropriar-se dos mecanismos das próprias ações e, sobretudo, das coordenações das ações, construindo conhecimento na medida que avança da periferia para as regiões centrais do sujeito e do objeto (Figura 08).

Figura 08 – Processo de construção de conhecimento

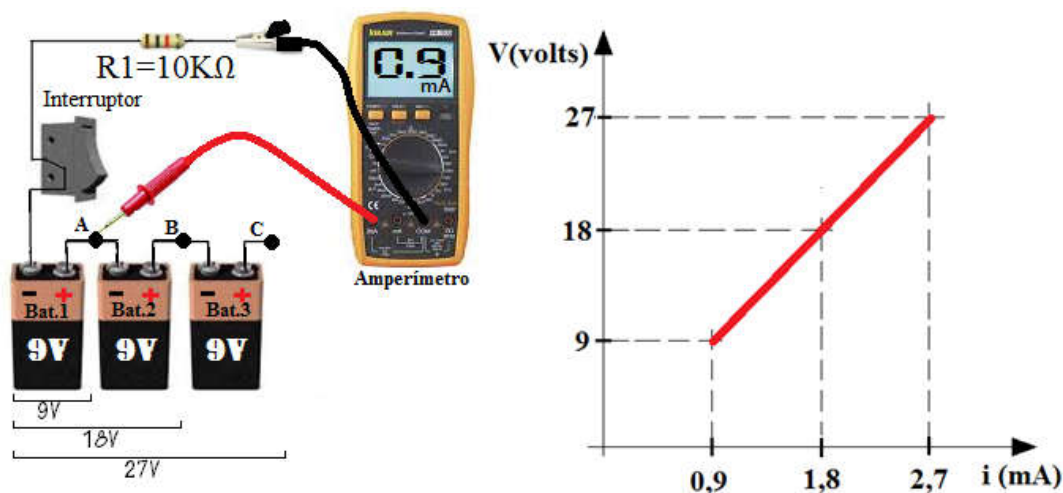


Fonte: adaptado de Piaget (1978)

As relações estabelecidas entre os dados de observação¹¹ originam as coordenações causais (organizam o mundo) e as inferenciais (organizam o sujeito). As coordenações inferenciais só ocorrem na medida da realização das coordenações causais e são constituídas pelas experiências lógico-matemáticas e/ou abstrações reflexionantes progressas do sujeito, possibilitando a compreensão das coordenações causais envolvidas no processo de assimilação↔acomodação (PIAGET, 1977).

No âmbito de exemplificar o emprego da teoria das abstrações no ensino de eletricidade, apresenta-se o ensaio experimental da Figura 09, o qual envolve a construção do conceito da Lei de Ohm usando um circuito elétrico em série, composto por um (01) interruptor, três (03) baterias de 9V CC (CC = corrente contínua), um (01) multímetro (ajustado para medição de corrente CC) e um (01) resistor de carvão ($R_1 = 10k\Omega$). A tarefa será executada da seguinte forma, o sujeito deve manter a ponteira preta do multímetro fixa no terminal do resistor R_1 , alternando a posição da ponteira vermelha entre os pontos “A”, “B” e “C”, para medir e anotar a respectiva corrente elétrica. Os valores anotados servirão para a elaboração de um gráfico cartesiano, cujo eixo horizontal deverá conter os valores das correntes elétricas e o eixo vertical os valores das tensões elétricas correspondentes.

Figura 09 – Experimento sobre a Lei de Ohm



Fonte: adaptado de Pinterest (2020)

¹¹ Tudo o que pode ser constatado por abstração empírica: fatos, repetições, dependências funcionais etc (PIAGET, 1977).

Para destacar as possíveis abstrações empíricas executadas pelo sujeito, invoca-se a definição de Piaget (1995, p. 274), “[...] A abstração empírica (*empirique*) tira suas informações dos objetos como tais, ou das ações do sujeito sobre suas características materiais; de modo geral, pois, dos observáveis, [...]”.

Entre as várias abstrações empíricas envolvidas com aspectos observáveis da tarefa estão:

- Ligar ou desligar o circuito através do interruptor;
- Diferenciar, ler e anotar os valores das grandezas elétricas envolvidas no experimento (resistência, corrente e voltagem);
- Alternar a posição da ponteira vermelha do multímetro sobre cada um dos pontos determinados;
- Reconhecer que a polaridade de interligação das baterias determina um somatório das tensões elétricas das mesmas;
- Desenhar o gráfico ($V \times i$) de acordo com os valores anotados.

Sendo assim, com base nas informações fornecidas pelas abstrações empíricas e nas estruturas de pensamento do sujeito, as abstrações reflexionantes podem ocorrer, extraindo qualidades endógenas (não observáveis) da referida prática experimental, conforme a definição de Piaget:

A “abstração reflexionante” (*réfléchissante*), ao contrário, apoia-se sobre tais formas e sobre todas as atividades cognitivas do sujeito (esquemas ou coordenações de ações, operações, estruturas, etc.), para delas retirar certos caracteres e utilizá-los para outras finalidades (novas adaptações, novos problemas, etc.). (PIAGET, 1995, p. 6).

Entre as abstrações reflexionantes é possível destacar:

- As coordenações de ações envolvendo a medição dos valores, o desenho do gráfico e a comparação entre o comportamento da tensão e da corrente, podem levar ao reconhecimento da existência de uma função linear correspondente a uma relação diretamente proporcional entre a tensão e a correspondente corrente elétrica;
- A partir da constância dos resultados das divisões da tensão pela corrente elétrica, o sujeito poderá ‘dar-se conta’ de que o valor da resistência elétrica se mantém constante, independente da variação da tensão sobre o resistor. Com isso, a construção do conceito de que ($R = V / i$) corresponderá a uma abstração refletida.

2.2 Ambientes Virtuais Imersivos 3D

Os ambientes virtuais imersivos 3D¹² são espaços computacionais de representação do mundo real, nos quais os usuários adquirem a sensação de imersão ao interagirem entre si e/ou com objetos sem a necessidade de um *hardware* específico (óculos e luvas), mas apenas um computador e *mouse*. A visão do usuário pode ser em primeira ou terceira pessoa (representado por um avatar¹³) e a experiência proporcionada é próxima da realidade, mas com a adição de habilidades especiais como voar, atravessar paredes, teletransportar-se e outras (NELSON; ERLANDSON, 2012).

A nomenclatura escolhida para este trabalho foi “Ambientes” ou “Mundos” Virtuais Imersivos 3D. No entanto, Nunes (2017) alerta sobre a ausência de consenso a respeito do termo, o qual pode ser encontrado na literatura como: *3D Virtual Worlds* (Mundos Virtuais 3D), *Three-dimensional Collaborative Virtual Environments* (Ambientes Virtuais Tridimensionais Colaborativos), *Metaverse* (Metaverso), *Persistent Online World* (Ambientes Online Persistentes), *Digital Virtual World 3D* (Mundos Digitais Virtuais em 3D) e *Multi-User Virtual Environment* (Ambientes Virtuais Multiusuários).

Para aprofundar o significado de “ambiente” e “virtual” Girvan (2018) propõe relacioná-los às seguintes ideias:

1) Ambiente

- a) espaço compartilhado, habitado e formatado pelos habitantes;
- b) interpretação das experiências, através de respostas fisiológicas e psicológicas;
- c) utilização de um avatar para mover-se e interagir com outros habitantes e objetos, construindo o conhecimento em tempo real.

2) Virtual

- a) ambiente simulado, estruturado e similar ao mundo real, mas distinto pelos tipos de experiências disponibilizadas ao usuário;

¹² Ambiente virtual imersivo 3D pode ser considerado um espaço virtual tridimensional navegável e interativo, cujo exemplo mais popular são os games (MELLO, 2011).

¹³ Meio gráfico de representação do usuário no ambiente virtual, cuja aparência costuma ser humana, mas pode ser modificada para outra forma desejada.

Em termos de plataformas ou servidores para a Ambientes Virtuais Imersivos 3D destacam-se o *Second Life* e o *OpenSim* (Open Simulator), ambos com grande similaridade entre si em termos de aparência e linguagem de programação de scripts¹⁴, mas Sourin (2017) nomeia mais alguns:

- *HIPHI*: Versão chinesa com interface similar ao *Second Life*, apresentando limitações de acesso e da língua utilizada.
- *Meez*: Ambiente com limitações de personalização, não permitindo a inserção de objetos interativos, no entanto realiza contato com outros sites como o *Moodle*.
- *Haboo Hotel*: Bastante empregado para conversas via chat por crianças, está desenvolvido em um cenário de hotel.
- *Club Penguin*: Ambiente pertencente à empresa Disney destinada a crianças e onde os avatares são todos pinguins.
- *Kaneva*: Oferece espaço para a disponibilização de áudios e vídeos, a aparência dos avatares, a navegação e as construções tridimensionais apresentam uma boa qualidade.
- *There.com*: Possui uma interface simples e as possibilidades de interação são bastante limitadas.
- *Blue Mars*: O cenário e os objetos apresentam uma boa qualidade, mas necessita de um hardware e de uma velocidade de Internet superior aos demais ambientes.
- *Home*: Pode ser acessado diretamente pelo Playstation 3 sendo empregado como mídia social para jogadores online.

Segundo Huvila e Uotila (2018), o *Second Life* (SL) possui boa velocidade de atualização e presença entre usuários e empresas, mas não é gratuito e a remodelação de objetos (*primitives* ou *prims*) só é possível nas “caixas de areia” (espaços onde as alterações não permanecem). Por sua vez, o *OpenSim* (Figura 10) apresenta as seguintes características (TIBOLA, 2018):

¹⁴ Um scripting ou linguagem de script é uma linguagem de programação que suporta scripts, programas escritos para um sistema de tempo de execução especial, que automatiza a execução de tarefas que poderiam alternativamente ser executadas uma por vez por um operador humano (LOUI, 2008).

Figura 10 – Página principal do OpenSimulator



Fonte: Opensim (2018)

- a) Servidor de ambientes 3D e plataforma multiusuário;
- b) Código fonte aberto e distribuição livre e gratuita;
- c) Modos de utilização portátil, *standalone*¹⁵ e *grid*;
- d) Personalização de ações e/ou reações dos objetos através das linguagens de programação LSL/OSSL e C#;
- e) Distribuições para os sistemas operacionais Windows e Unix-like (Linux, FreeBSD, Solaris etc.);
- f) Requisitos de *hardware* e *software* compatíveis com configurações mais básicas;
- g) Importação de objetos e modelos 3D externos;
- h) Acesso e compatibilidade com recursos multimídia externos;
- i) Popularidade e farta documentação;
- j) Freqüente utilização em pesquisas científicas;

O acesso à plataforma virtual necessita de um software específico denominado de *Viewer* (visualizador), entre os quais estão: *Singularity Viewer* (Figura 11), *Second Life*, *Imprudence*, *Firestorm*, *Hippo* e *Cool* (SÁNCHEZ, 2015).

¹⁵ Instalação de maneira autônoma para uso em off-line.

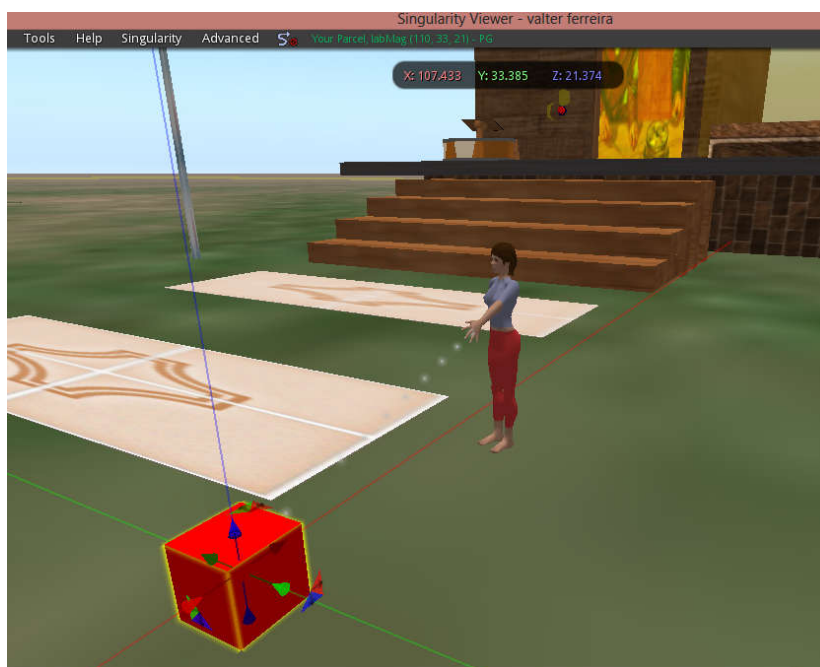
Figura 11 – Página principal do *Singularity Viewer*



Fonte: Singularity (2018)

Após sua instalação e configuração, o *viewer* conecta-se ao mundo virtual permitindo a visualização e a interação com os cenários tridimensionais interativos. Dessa forma, o usuário, através do avatar (Figura 12), pode modificar os *primitives* (formas básicas) para construir os mais diversos objetos como: carros, móveis, casas, espaços de lazer, aparatos experimentais etc (WARPFELT, 2016).

Figura 12 – Usuário manipulando um *primitive* através do *Singularity Viewer*



Fonte: o autor

No âmbito educacional, Jonassen (1999) definiu os Mundos Virtuais como ferramentas capazes de engajar, desafiar o raciocínio e oferecer suporte computacional aos processos cognitivos do sujeito, cuja aplicação pode proporcionar a construção conceitual em vários domínios, através da exigência de interpretação e organização do conhecimento. Em consonância, Tibola (2018) aborda três características desses ambientes capazes de potencializar a experiência do usuário:

- I- Realismo: objetiva oferecer um cenário cuja riqueza de detalhes possa intensificar sua autenticidade. No entanto, Parkin (2015) alerta que a necessidade de detalhamento de situações reais deve estar ligada à atividade fim, por exemplo, o nível de pormenores empregados em uma simulação de treinamento de um piloto aeronáutico, não precisa ser o mesmo de um ambiente de aprendizagem destinado a estudantes de nível médio ou superior. Com isso, para fins educativos um nível de realismo médio parece ser suficiente para a compreensão dos conceitos apresentados.
- II- Interação: fundamentalmente necessária para a construção de conhecimento, pode ser conceituada como uma influência mútua entre dois ou mais elementos. No entanto, a interação no ambiente virtual deve ser prevista por programação. Por exemplo, um *primitive* transformado em interruptor elétrico, para adquirir um comportamento dinâmico deve possuir um *script* prevendo tanto a sensibilização (toque de um avatar) quanto a ação correspondente (abertura/fechamento).
- III- Imersão: está relacionada aos sentidos de percepção humana em conjunto com os aspectos interativos da experiência imersiva e ocorre pela substituição das sensações do mundo real pelas do ambiente virtual. É altamente influenciada pelos aspectos técnicos do mundo virtual, ou seja, pelo nível de replicação de características humanas como campo visual e auditivo, cujo objetivo é fazer o usuário sentir-se em outro lugar.

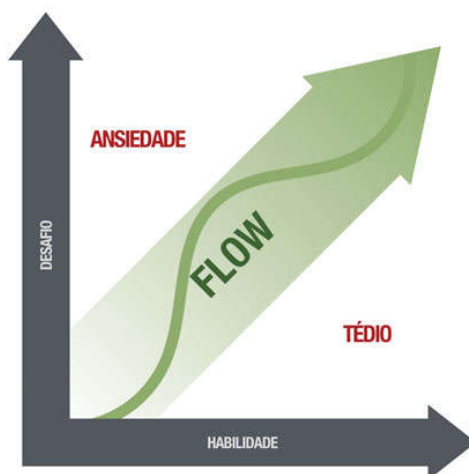
De acordo com Mestre (2005), após entrar em imersão, o usuário pode ter a percepção e a cognição tomadas por uma “sensação de presença”, a qual pode ser entendida como a experiência de agir em um espaço real, mesmo estando em um ambiente virtual. Ela indica o grau de envolvimento com a experiência virtual, no sentido de trata-la como verdadeira. Quanto maior o grau de presença, mais natural e intuitivas serão as interações, podendo até passar a interface computacional para um segundo plano, ficando apenas o raciocínio lógico como o condutor das ações realizadas no ambiente virtual.

Na sequência, a própria experiência virtual pode transformar-se em uma atividade autotélica, ou seja, a existência de uma gratificação intrínseca que torna a experiência prazerosa por si só, atingindo então, o estado de *Flow*. Tal denominação origina-se do verbo ‘*to flow*’ (fluir) e não é produzida exclusivamente em ambientes virtuais, sendo cunhada por Csikszentmihalyi (1990), após relatos de seus sujeitos de pesquisa (atletas, artistas e outros) a respeito da sensação de estarem em ‘algum tipo de fluxo’, no qual a atividade executada era prazerosa e sem esforço. Nesse estado psicológico, o envolvimento da pessoa é tão intenso que sua atenção está voltada à plena capacidade para tarefa, esquecendo do cansaço e do tempo (TIBOLA, 2018).

Segundo Csikszentmihalyi, Abuhamdeh e Nakamura (2014), a ocorrência do *Flow* depende da atividade conter os seguintes fatores:

- 1- Objetivos claros
 - a) Estruturam a experiência;
 - b) Canalizam a atenção;
- 2- Relação equânime entre desafios e competências
 - a) Ansiedade proveniente de desafios superiores às habilidades necessárias;
 - b) Tédio provocado por desafios inferiores às habilidades necessárias;
- 3- *Feedback* imediato
 - a) Indica o progresso da atividade;
 - b) Aumenta a certeza sobre a sequência de ações;

Figura 13 - Modelo do estado de Flow



Fonte: Marcel (2020)

A Figura 13 apresenta o *Flow* como uma forma de equilíbrio dinâmico entre os desafios demandados e as habilidades desenvolvidas, no qual, de acordo com Csikszentmihalyi (1996), a pessoa tende a empregar sua máxima capacidade na execução de uma atividade, procurando manter-se nesse estado através de ajustes entre os sentimentos de ansiedade ou tédio.

Um indivíduo em tal estado em poderá ser identificado pelos seguintes aspectos (NAKAMURA; CSIKSZENTMIHALYI, 2014):

- a) Diminuição ou perda da consciência de si próprio;
- b) Consciência focada na ação em progresso;
- c) Aumento da concentração na atividade em execução;
- d) Sensação de controle da situação;
- e) Impressão da passagem de tempo rápida ou devagar;
- f) Sensação de prazer e gratificação intrínseca da experiência vivenciada;

Em suma, o estado de *Flow* representa um parâmetro importante para o estudado e aplicação educacional dos mundos virtuais, pois está relacionado com o desenvolvimento cognitivo e emocional quando do enfrentamento de desafios que podem ser superados. O fato dos conceitos criados neste estado estarem envolvidos em emoção prazerosa irá auxiliar sua permanência durante longo tempo. Além disso, também existe a possibilidade do indivíduo adquirir o hábito da concentração e do foco mesmo fora de tal estado, melhorando seu desempenho acadêmico e pessoal e motivando-o para a excelência (TIBOLA, 2018).

2.3 Trabalhos Correlatos

2.3.1 Estudos envolvendo Epistemologia Genética e Ensino de Física

O Ensino de Física busca cada vez mais no construtivismo soluções para as dificuldades de aprendizagem de conceitos científicos. Segundo Moraes (2017), grande parte dos estudos voltam-se para a elaboração de procedimentos experimentais abordando leis físicas fundamentais, cujas estratégias baseiam-se em situações-problema em conjunto com a entrevista clínica. No entanto, apesar de grande parte dessas investigações empenharem-se na ressignificação das ideias prévias e dos conhecimentos espontâneos dos sujeitos, ainda abordam superficialmente aspectos como assimilação, acomodação e abstrações reflexionantes.

- Piaget inspirando metodologia ativa

Dellacqua *et al.* (2016) buscaram em elementos da teoria piagetiana o substrato para trabalhar, em sala de aula, a compreensão e a resolução de problemas básicos de Física, empregando ferramentas de computação, em acordo com a seguinte abordagem das Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio:

Adotar metodologias de ensino diversificadas, que estimulem a reconstrução do conhecimento e mobilizem o raciocínio, a experimentação, a solução de problemas e outras competências cognitivas superiores. (MEC, 1998, p. 02).

A estratégia foi criar uma aplicação do software SCILAB¹⁶ como ferramenta de descrição de problemas físicos, elaborados a partir da realidade de uma escola de Ensino Fundamental do Estado do Espírito Santo. Aos estudantes foram oferecidos alguns testes de Cinemática e Termologia, cujas respectivas equações deveriam ser convertidas em algoritmos e posterior resolução dos problemas. Devem ser ressaltados os elementos de interdisciplinaridade (agregação da Física em conjunto a Computação) e contextualização (realidade da escola). Os processos de assimilação e acomodação envolvidos nas atividades, resultaram na melhora da compreensão dos conceitos de movimento retilíneo uniforme e calor específico (considerados de difícil compreensão pelos estudantes em questão), além de um maior entendimento dos comandos de programação.

- As abstrações reflexionantes e a evolução do modelo clássico para a relativístico

Frezza (2015) empregou a Epistemologia Genética, em especial a Teoria da Abstração Reflexionante, para compreender as estratégias cognitivas de estudantes universitários ao compararem os modelos da Mecânica Clássica de Newton e da Teoria da Relatividade Restrita (TRE) de Einstein. A premissa básica foi de que a elaboração de modelos da realidade é uma mescla entre o sistema cognitivo do sujeito e as resistências oferecidas pelo objeto de conhecimento, produzindo novidades e construindo conhecimento.

Saliento, novamente, que esses modelos da realidade física, elaborados pelo sujeito, não provêm nem dos fatos (ou dos observáveis), pois bastaria abstração empírica para sua criação, nem dos sistemas lógicos do sujeito; eles provêm da interação entre os fatos e sistemas operatórios. (FREZZA, 2015, p.51).

A estratégia de coleta de dados foi o emprego do Método Clínico em conjunto com situações fisicamente conflitantes, envolvendo os modelos clássico e relativístico. Com isso, o autor

¹⁶ O Scilab é um software científico para computação numérica semelhante ao MATLAB que fornece um poderoso ambiente computacional aberto para aplicações científicas (<http://www.scilab.org/>).

procurou compreender, apoiado nos mecanismos de assimilação (reflexionamentos) e acomodação (reflexão), os processos cognitivos relacionados à evolução dos paradigmas físicos apresentados, formando um sistema de significação das informações extraídas do objeto de conhecimento. Os elementos básicos das abstrações reflexionantes puderam ser identificados a partir dos desequilíbrios cognitivos oriundos das contradições encontradas pelos sujeitos para explicar o modelo da TRE com base na mecânica de Newton. Pois isso exigiu a transposição dos questionamentos sobre as inconsistências para um patamar superior de pensamento (reflexionamento) e a necessidade de obtenção de coerência entre os modelos implicou em tentativas de superar as contradições através de seguidas acomodações dos esquemas assimiladores, configurando o processo de reflexão (FREZZA, 2015).

A análise dos protocolos das entrevistas clínicas revelou o surgimento de novidades epistemológicas cuja consequência resultou na alteração do modelo apresentado, tanto em extensão quanto em compreensão. Isso abriu a possibilidade para o surgimento de um novo modelo, a partir da constatação de que o anterior não era suficiente para responder às demandas dos novos questionamentos. Ademais, houve uma diferenciação importante entre fenômenos descritivos e explicativos, relacionando a explicação à tomada de consciência dos sujeitos sobre a adequação de seus modelos à realidade, ou seja, “se não houver tomada de consciência dos resultados dessa adequação, o modelo estará fadado apenas descrever os fatos obtidos” (FREZZA, 2015, p.50).

O trabalho confirmou a conscientização tardia sobre um modelo geral explicar um modelo específico, o que, para o autor, vai ao encontro dos estudos de Piaget. Outro achado importante foi o papel das situações potencialmente conflitantes como geradoras do sentimento de necessidade de construção de um modelo explicativo. Além disso, foi criticada a prática de ensino baseada apenas na informação, desprovida da preocupação sobre a necessidade dos estudantes compreenderem os temas em estudo através da apropriação das próprias ações.

Afinal, quando as regulações automáticas do sistema cognitivo não dão mais conta de responder aos novos dados assimilados, urge ultrapassá-las com regulações ativas; é necessária, para isso, uma atividade acomodadora que é fonte de novidades. (FREZZA, 2015, p.90).

- A Epistemologia Genética e a noção de conservação de Energia Mecânica

Luduvico (2014) pesquisou a noção de alunos do Ensino Médio a respeito da conservação de Energia Mecânica, tal qual modelo explicativo construído com base nas interações entre o

sujeito e o objeto de conhecimento, a partir do emprego de abstrações reflexionantes. A metodologia empregada foi a aplicação do Método Clínico durante experimentações físicas envolvendo rampas com diversas trajetórias, nas quais uma esfera era abandonada a uma certa altura do solo.

Para o autor, os processos de assimilação e acomodação empregados para compreender os experimentos possibilitaram tanto a transformação do sujeito e quanto a revelação do objeto, constituindo assim um conhecimento novo. A abordagem epistemológica sobre a construção de significado entre as variáveis pertinentes às energias cinética e potencial do sistema em estudo, possibilitou uma evolução das coordenações das ações dos sujeitos, resultando na tomada de consciência das relações causais envolvidas na situação física. Isso contribuiu para a constituição de coordenações causais cujas inferências foram responsáveis pelo refinamento dos resultados das experimentações, pois:

Ao construir uma lógica, a partir do centro C (centro do sujeito), para explicar o funcionamento de um sistema físico, o sujeito passa a compreender, indo para o centro C' (centro do objeto), as propriedades de sistema. (LUDUVICO, 2014, p. 22).

A pesquisa verificou que as inferências realizadas sobre as experimentações estavam ligadas às estruturas cognitivas de reversibilidade (inversão e reciprocidade), as quais foram identificadas através do comportamento das energias cinética e potencial do sistema. A inversão deu-se pelo aumento ou diminuição da altura em relação ao solo, configurando um aumento ou diminuição de energia potencial gravitacional. Por sua vez, a reciprocidade estava ligada ao abandono de um objeto a uma certa altura do solo, o qual, ao cair perdia energia potencial, mas recebia um incremento no valor da velocidade, aumentando sua energia cinética. Isso constituiu um mecanismo de compensação que mantinha a energia mecânica constante (LUDUVICO, 2014).

Outra conclusão de Luduvico (2014) foi de que a tomada de consciência da reciprocidade (compensação), ao longo do tempo, entre as energias potencial e cinética estavam relacionadas ao processo de implicação significativa realizado pelos sujeitos através de operações cognitivas. Tal afirmação vai ao encontro de Piaget (1978) sobre tais operações não configurarem representações, mas “ações” pois atuam como construtoras de novidades, desse modo o que caracteriza uma operação como “significante” é a sua natureza implicativa, abandonando a causalidade.

Coube às implicações significantes serem os instrumentos de compreensão das conexões entre as variáveis relacionadas às energias cinética e potencial. Com isso, chegou-se à tomada

de consciência de que o aumento ou a diminuição da altura (operação de inversão) implicaria no aumento ou diminuição da energia potencial gravitacional. Por outro lado, o abandono do objeto (bola) no alto da rampa implicaria no aumento da velocidade e da energia cinética, com a devida diminuição da energia potencial gravitacional. A partir desse raciocínio, a operação de reciprocidade implicaria na compensação das energias no sistema, resultando na constância da energia mecânica total. Salienta-se que esse sistema com dupla reversibilidade também pode ser compreendido através do grupo INRC de Piaget (LUDUVICO, 2014).

2.3.2 Estudos abordando Mundos Virtuais Imersivos 3D e Ensino de Física

Neste item serão evidenciados alguns trabalhos que abordaram a aplicação dos Mundos Virtuais como uma tecnologia educacional voltada para o ensino e aprendizagem de Física. Será evidenciada a capacidade de adaptação dos Mundos Virtuais a determinadas teorias educacionais e a sua capacidade de oferecer desafios e abordar problemas através de diferentes perspectivas, servindo como instrumento emancipatório da capacidade de construção de conhecimento por parte dos usuários.

- Experimentos virtuais imersivos de Eletricidade

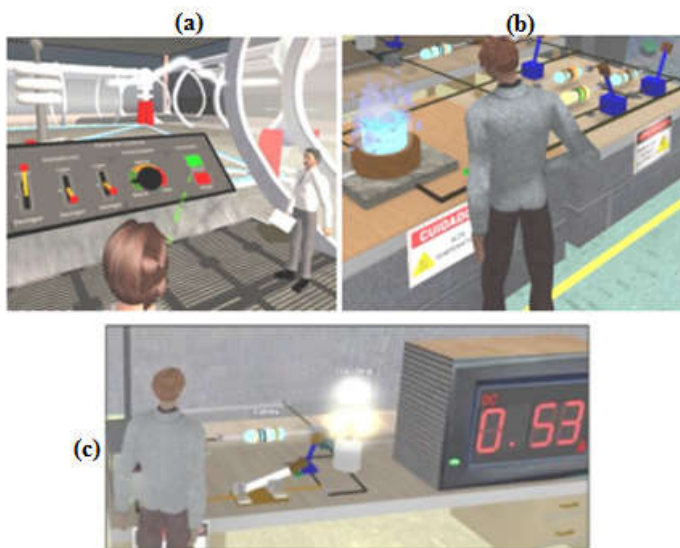
Motivado pelos baixos Índices de Desenvolvimento da Educação Básica (IDEB) que refletem o ainda precário aprendizado de ciências na Educação Básica e pelo potencial da inovação tecnológica para engajar os estudantes e qualificar os processos de aprendizagem, Herpich *et al.* (2017) desenvolveu experimentos de Física em um ambiente virtual imersivo 3D. O objetivo foi proporcionar a visualização de fenômenos considerados abstratos pelos estudantes, os quais relatam dificuldades de compreensão sobre os conceitos relacionados aos fenômenos elétricos.

O ambiente virtual de trabalho foi a plataforma *OpenSim* e o cenário foi composto por simulações interativas cujo estudante foi representado por meio de um Avatar. A interatividade dos experimentos foi determinada através do desenvolvimento de *scripts* na linguagem *OpenSimulator Scripting Language* (OSSL), associados a objetos elaborados nos *softwares Blender e SketchUp*. Também foi implementado um aplicativo de realidade aumentada através do uso da ferramenta *Unity 3D*, na qual os *scripts* foram programados em C# e o aplicativo exportado para a plataforma *Android* (HERPICH *et al.*, 2017).

A Figura 14 apresenta os laboratórios de estudo dos conteúdos relacionados à eletricidade, nos quais a Figura (a) representa a formação de arcos voltaicos através de uma bobina de Tesla,

a Figura (b) mostra a ebulição da água através do efeito Joule e a Figura (c) é composta por um circuito elétrico onde é possível medir e modificar a corrente elétrica que atravessa uma lâmpada (HERPICH *et al.*, 2017).

Figura 14 - Experimentos interativos de Eletricidade



Fonte: Herpich *et al* (2017)

A teoria de educacional empregada no estudo foi a aprendizagem experiencial representada pelo Ciclo de Kolb (1984), onde o estudante percorre quatro etapas: experiência concreta (execução de simulações), observação e reflexão (reflexão sobre os eventos ocorridos nas simulações), conceitualização abstrata (entendimento das ações efetuadas), experimentação ativa (vincular os conceitos simulados com situações do cotidiano). Por fim, os autores concluíram que a combinação das realidades virtual e aumentada podem constituir um importante recurso educacional para a aprendizagem de conceitos científicos, além de facilitar o acesso, via aparelhos celulares, a uma ampla gama de estudantes (HERPICH *et al.*, 2017).

- Laboratórios virtuais imersivos para Ciências

Para Nunes (2017), os mundos virtuais configuram uma nova alternativa educacional, devido a importantes características como a interatividade, a visualização de objetos 3D, a sensação de imersão e a possibilidade de inserção e exploração de outros recursos didáticos (páginas de internet, áudio, vídeos, slides etc) no ambiente virtual. A teoria educacional foi baseada no *Mastery Learning* de Benjamin Bloom, a qual considera todos com potencial para aprender, mas em tempos diferentes, ou seja, uns construirão seus conceitos rapidamente e outros levarão um tempo maior.

É neste formato de sistema educacional, no qual, o que importa é o conteúdo ser ensinado para todos, sendo fornecido mais tempo aos alunos que necessitem e atividades de enriquecimento aos mais rápidos, que se encaixa a teoria educacional denominada Mastery Learning. (NUNES, 2017, p. 41).

Para aplicação do método foi desenvolvido um ambiente virtual imersivo 3D, para auxílio na disciplina de Ciências do Ensino Fundamental do Colégio Militar de Porto Alegre, cujas simulações interativas poderiam ser acessadas a distância (*internet*) pelos alunos. Foi criada na plataforma OpenSim uma região chamada de ‘laboratório de ciências’, empregando tanto a criação de formas tridimensionais através dos primitivos do ambiente quanto a importação de objetos de repositórios online. A interatividade foi programada através de *scripts* escritos na linguagem *OpenSimulator Scripting Language* (OSSL) e as interações dos usuários com o mundo virtual foi monitorada (uso de sensores) visando a coleta de dados para posterior tratamento estatístico (NUNES, 2017).

Na mencionada região elaborou-se um laboratório virtual composto por salas com funções específicas, cada uma dedicada a fornecer informações sob diversos formatos, na sala de vídeo usuários teriam acesso ao material hospedado no site do *YouTube*, a sala de textos slides apresentava conteúdos teóricos relacionados a disciplina de ciências, na sala de questões alunos respondiam a questionamentos de múltipla escolha e na sala de simulações encontravam-se diversas experimentações 3D relacionadas também com conteúdo relacionado à disciplina em questão, a Figura 15 apresenta uma simulação para estudo das propriedades físicas e químicas das moléculas de água (NUNES, 2017).

Figura 15 – Exemplo de simulação envolvendo moléculas de água



Fonte: Nunes (2017)

Entre as conclusões da investigação encontram-se a adequabilidade do ambiente virtual à Teoria de educacional empregada (*Mastery Learning*) formando um conjunto de atividades voltadas ao reforço de conteúdo com possibilidade de avaliação constante que propicia uma aprendizagem ativa que fornece ao sujeito um maior grau de autonomia na construção do seu saber. Destacando a capacidade da metodologia desenvolvida de abranger tanto os processos de ensino, como de aprendizagem e a avaliação dos estudantes (NUNES, 2017).

Com isso foram achadas evidências de melhoria na aprendizagem dos alunos que optaram pela utilização do mundo virtual como apoio aos estudos extraclasse. Os estudantes também mostraram aceitação do método proposto demonstrando motivação em acessar o ambiente educacional projetado: “...os usuários do Mundo Virtual destacaram a interatividade do ambiente, cuja aprendizagem é mais ativa e experiencial, com ênfase em especial às simulações criadas, sendo consideradas úteis para a aprendizagem.” (NUNES, 2017, p. 188).

- Construtivismo e engajamento em simulações de Física nos Mundos Virtuais

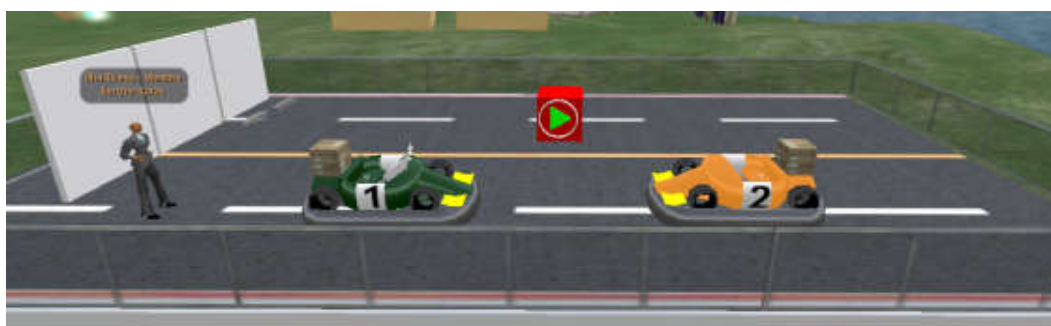
Embora as novas gerações de estudantes estejam cada vez mais à vontade com os ambientes virtuais, a Física ainda continua a ser trabalhada, em sala de aula, de maneira descontextualizada e com base em fórmulas prontas. Como consequência, os conceitos são apresentados geralmente praticamente sem experimentação ou resolução de problemas concretos, resultando em desestímulo e dificuldades de aprendizagem. De acordo com Greis *et al.* (2012), uma das contribuições para a reversão desse preocupante quadro, passa pelo uso das potencialidades dos Mundos Virtuais em acordo com a definição piagetiana de que a ação é o ponto de partida da construção de conhecimento e o afeto é o ‘motor da ação’ (PIAGET, 1978). O que também vai ao encontro da abordagem construtivista proposta por Becker (2003, p.13) no que concerne ao professor “inventar situações experimentais para facilitar a invenção de seu aluno”.

Portanto, foi investigada a influência de experimentos virtuais imersivos de Física no engajamento de alunos do último ano do ensino fundamental, de uma escola municipal de Florianópolis - SC. De maneira que o engajamento esteja relacionado à qualidade do comprometimento do indivíduo ao desafio proposto, conforme a seguinte definição:

...o engajamento na escola refere-se à intensidade e qualidade emocional do envolvimento dos alunos na realização de atividades de aprendizagem. Os alunos que estão envolvidos exercem intenso esforço e concentração, demonstram envolvimento comportamental e emocional positivos durante o desenvolvimento das atividades, incluindo entusiasmo, otimismo, curiosidade e interesse. (GREIS *et al.*, 2012, p. 04)

Os experimentos foram elaborados na plataforma *Second Life*, escolhida por oferecer estabilidade e confiabilidade, além dos recursos técnicos necessários, como o próprio visualizador (*viewer*). Os veículos foram construídos a partir de peças básicas (*primitives*) e a dinâmica de interação entre o avatar e os objetos 3D (movimento dos carros e painel de controle) foi programada através da *Linden Script Language* (LSL). O cenário (Figura 16) foi baseado no brinquedo dos parques de diversão denominado de ‘carro-choque’ (elemento de contextualização), nos quais existe um painel de controle responsável pela modificação da intensidade das variáveis físicas dos veículos (GREIS *et al.*, 2012).

Figura 16 – Simulação de colisão entre dois veículos



Fonte: Greis *et al.* (2012)

A atividade tinha como premissa proporcionar aos alunos o protagonismo na construção do próprio saber, através da alteração do valor das variáveis massa (m) e velocidade (v) dos veículos e da observação, através de vários ângulos, das colisões entre os mesmos. A ideia seria que isso favoreceria o estabelecimento de relações causais envolvendo o momento linear (Q) como o produto da massa pelo módulo da velocidade, adotando a direção e o sentido da velocidade. Ademais, a tomada de consciência e a consequente construção do conceito de conservação do momento linear, onde $(m_f \cdot v_f = m_i \cdot v_i) \rightarrow (Q_f = Q_i)$, poderia propiciar a elaboração de coordenações causais cujas inferências destacariam a situação dos veículos após as colisões. (GREIS *et al.*, 2012).

A coleta de dados (inspirada na aplicação do método clínico piagetiano) deu-se através da observação dos alunos em sala de aula, da realização de pré-testes antes do uso do simulador e pós-testes ao final da experiência virtual. As simulações ocorreram com um aluno de cada vez, devido à necessidade de observação tanto dos atributos afetivos quanto dos cognitivos.

O aspecto de engajamento foi investigado a partir de três critérios, escolhidos por Greis *et al.*, (2012):

- a) Cognitivo: indicação da disposição dos alunos com relação ao esforço mental nas tarefas propostas;
- b) Participação ativa: relacionado ao grau de atividade empreendido nas tarefas apresentadas;
- c) Envolvimento emocional: relacionado às reações emocionais diante das tarefas;

A pesquisa revelou a importância de alguns critérios para a elaboração de atividades engajadoras nos Mundos Virtuais:

- A elaboração de desafios nem demasiadamente simples ou muito complexos;
- A percepção de controle do usuário sobre os resultados do experimento;
- A curiosidade gerada pelas atividades de exploração;
- Os fatores de imersão do ambiente;

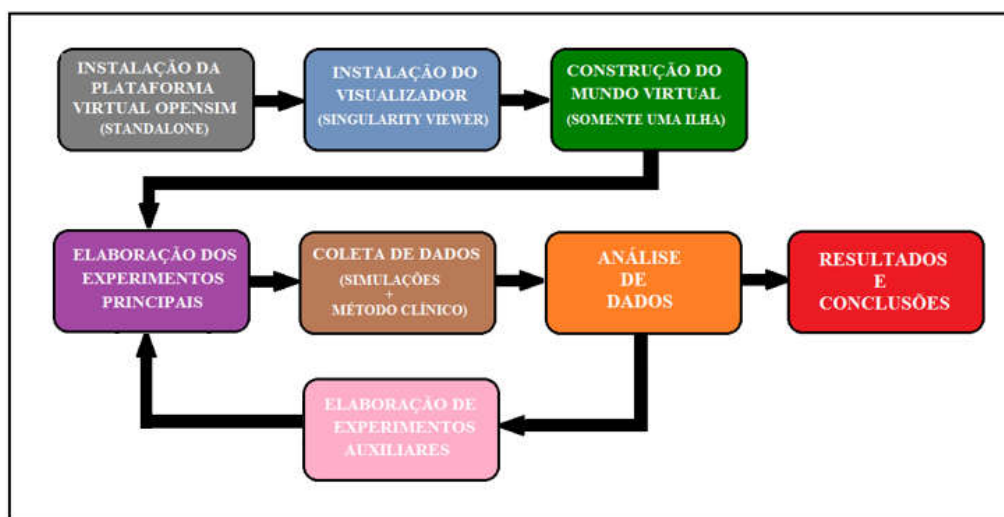
Em resumo, os resultados do trabalho trouxeram indicadores que os Mundo Virtuais, ao oferecerem um maior nível de imersão e interatividade, proporcionaram uma experiência educacional mais significativa, propiciando um incremento no engajamento dos estudantes e potencializando a construção dos conceitos físicos abordados nas simulações. Isso contribuiu para o desenvolvimento de uma postura com maior teor de autonomia dos sujeitos, resultando na elaboração e teste de hipóteses advindas da situação-problema (colisão entre os carros) (GREIS *et al.*, 2012).

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa buscou identificar, descrever e compreender os processos cognitivos relacionados à execução de experimentos físicos nos Mundos Virtuais Imersivos 3D. O caráter exploratório conduziu a um estudo aprofundado sobre o esforço operatório de pensamento de alunos do Ensino Superior, quando da simulação virtual envolvendo Eletricidade, Magnetismo e Eletromagnetismo (GERHARDT; SILVEIRA, 2009).

Os experimentos do trabalho foram desenvolvidos de acordo com as características computacionais da plataforma *OpenSim* e sob a tutela teórica da Epistemologia Genética de Piaget (os experimentos principais deveriam propor uma situação física que representasse a funcionalidade do Grupo INRC). Isto levou a focar na elaboração de dispositivos virtuais cujo comportamento fosse regido por ações reversíveis executadas pelos sujeitos, passíveis de serem internalizadas e originar operações cognitivas. Os procedimentos de coleta e análise dos dados foram inspirados nos estudos de Piaget e Inhelder (1976), sobre a aplicação do Método Clínico em experimentações físicas reais para estudar as formas de pensamento de crianças e adolescentes. A Figura 17 apresenta um fluxograma das etapas de construção e aplicação do Mundo Virtual.

Figura 17 - Elaboração e aplicação do Mundo Virtual

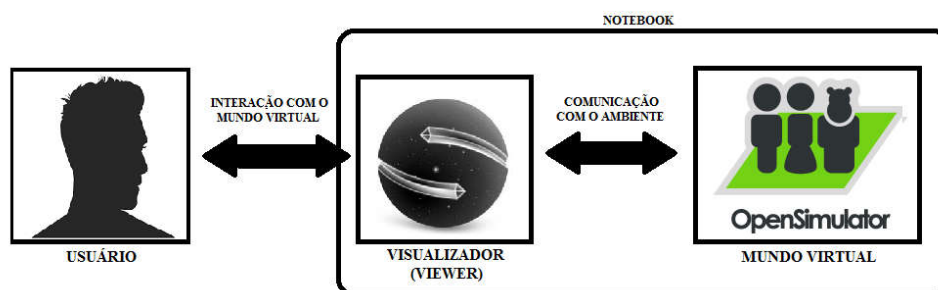


Fonte: adaptado de Nunes (2017)

A escolha do ambiente *OpenSim* ocorreu, principalmente, pela distribuição ser gratuita, por possuir um código aberto (liberdade para desenvolver o próprio Mundo Virtual), pela operacionalidade a partir de *hardware* e *software* básicos e portabilidade de utilização. Apesar

da possibilidade de utilizá-lo no modo *grid* (gerenciamento de vários mundos virtuais, acessados por mais de um computador), optou-se pela instalação do tipo *standalone* (autônoma para uso em off-line), pois somente um mundo virtual (contido somente em uma ilha) foi empregado na pesquisa e não havia certeza da existência de *Internet* nos locais das entrevistas (Figura 18). Além disso, a aplicação do método clínico requisitou simulações individuais para permitir ao pesquisador “seguir” o pensamento do sujeito, a partir da observação de suas falas e ações no ambiente virtual (DELVAL, 2002).

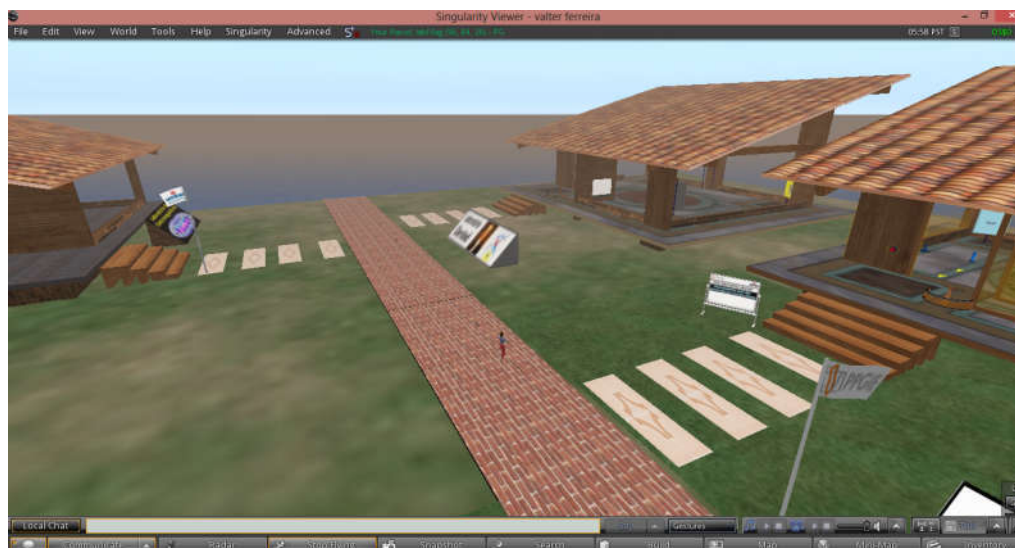
Figura 18 - Instalação *standalone* empregada na pesquisa



Fonte: adaptado de Nunes (2017)

O visualizador escolhido foi o *Singularity Viewer*, devido a sua facilidade de configuração e uso no modo *standalone* do *OpenSim* (ROZA, 2018). A Figura 19 apresenta o emprego deste visualizador para a obtenção de uma visão geral do mundo virtual.

Figura 19 - Mundo Virtual criado no *OpenSim*



Fonte: o autor

Embora tenham sido construídos outros laboratórios, o único empregado no trabalho foi o de eletromagnetismo (Figura 20), pois representa alguns princípios físicos básicos, através dos quais, poderão ser estudados, posteriormente, os dispositivos dos demais laboratórios, como transformadores, motores e capacitores.

Figura 20 - Laboratório empregado na pesquisa



Fonte: o autor

Apesar do substrato teórico básico ter sido a Epistemologia Genética, também foi empregada abordagem dos “ambientes construtivistas de aprendizagem” de Jonassen (1995), vinculada a elaboração de desafios envolventes, promotores da exploração, experimentação e reflexão, a partir das seguintes premissas:

- 1- Definição do problema e de um conjunto de prioridades (conceitos e operações cognitivas correlatas);
- 2- Exploração de soluções alternativas (emprego de habilidades similares às requeridas em uma situação real);
- 3- Tomada de decisão (definição das estruturas a serem desenvolvidas).

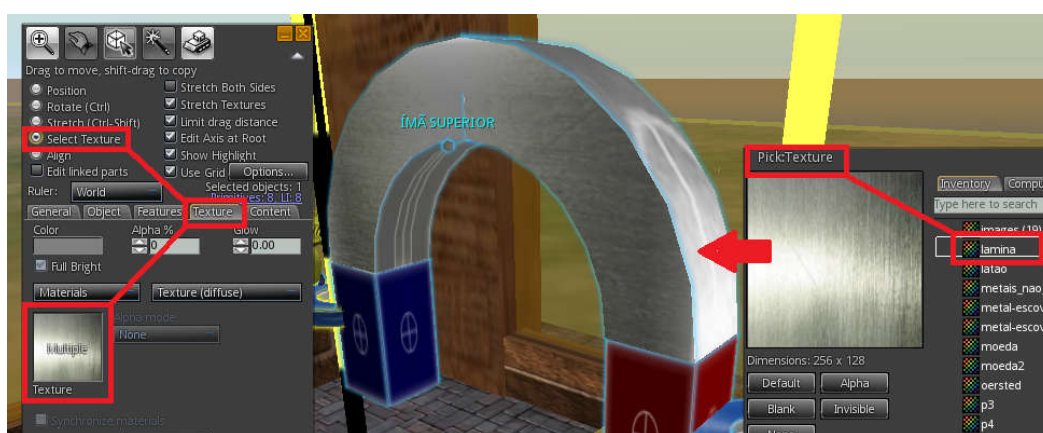
O delineamento dos experimentos também contou com os parâmetros definidos por Ferreira *et al.*,(2018):

- 1- Objetivo do experimento;
- 2- Desafio proposto;
- 3- Procedimentos de ensaio;
- 4- Grandezas físicas envolvidas;

- 5- Fato e fatores envolvidos na manipulação do experimento;
- 6- Relação do experimento com o grupo I N R C;
- 7- Questionamentos mínimos para a aplicação do Método Clínico;

A construção dos dispositivos foi realizada a partir da alteração das características dos *primitives* (forma, cor, textura etc). A modificação da textura ocorreu a partir da importação de figuras existentes na *Internet*, com o objetivo de uma maior aproximação da realidade, para atingir um maior nível de imersão (Figura 21).

Figura 21 – Seleção e aplicação de textura metálica ao ímã



Fonte: o autor

A dinâmica de funcionamento dos experimentos foi elaborada levando em conta a relação [sujeito epistêmico]↔[objeto de conhecimento] apreendida por Piaget (1976). Os *scripts* contidos nos objetos foram programados através da *Linden Scripting Language* (LSL), uma linguagem interpretada e orientada a eventos, similar a outras como OSSSL, Java e C#.

A escolha deu-se pela sintaxe acessível, pelo amplo conjunto de funções (aproximadamente 400) e por ser bastante conhecida, pois é a linguagem de desenvolvimento do *Second Life*. A programação envolveu elementos como eventos (*touch start*), funções (*llSay* e *llListen*), comandos de decisão (*if then, do while*), para criar comportamentos próximos do funcionamento real dos experimentos (LSL, 2020).

A necessidade de dispositivos apresentarem movimentos reversíveis como baterias, resistores, ponteiros de bússolas e de amperímetros levou à implementação de uma sequência de “estados” dentro dos *scripts* (Figura 22), permitindo a programação de reações à intervenção do avatar do sujeito (evento “touch”) ou à recepção de algum “sinal de disparo” vindo de outro dispositivo.

Figura 22 – Sequência de “estados” dentro do *script*

```

Script: bateria_esquerda
File Edit Help
0 integer posicao;
1 integer chl_ON;
2 integer chl_OFF;
3 default ← Estado inicial
4 {state_entry()
5  {llListen(1221, "", "", "chl_ON");llListen(1221, "", "", "chl_OFF");}
6  listen (integer channel, string name, key id, string message )
7  {if (message=="chl_ON") {chl_ON = 1;} if (message=="chl_OFF"){chl_ON = 0;}
8  if (chl_ON == 0) {state dois;}}
9 state dois ← Segundo estado
10 {state_entry()
11  {llListen(1221, "", "", "chl_ON");llListen(1221, "", "", "chl_OFF");}
12  listen (integer channel, string name, key id, string message )
13  {if (message=="chl_ON") {chl_ON = 1;} if (message=="chl_OFF"){chl_ON = 0;}
14  if (chl_ON == 1) {state default;}}
15 touch_start(integer total_number) ← Evento de toque
16  {if (posicao)
17  {llSay(33, "batesq_mais_menos");//polo POSITIVO
18  llSay(1223, "R1");
19  vector xyz=<0.0, 0.0 , -180> vector xyz_en_radianes=xyz*DEG_TO_RAD ;
20  rotation rotacion= llEuler2Rot(xyz_en_radianes); llSetRot(llGetRot()*rotacion);
21  posicao=0;}
22  else
23  {llSay(33, "batesq_menos_mais");//polo NEGATIVO
24  llSay(1223, "R1"); ← Inversão na posição
25  vector xyz=<0.0, 0.0 , -180> vector xyz_en_radianes=xyz*DEG_TO_RAD ;
26  rotation rotacion= llEuler2Rot(xyz_en_radianes); llSetRot(llGetRot()*rotacion);
27  posicao=1;}}

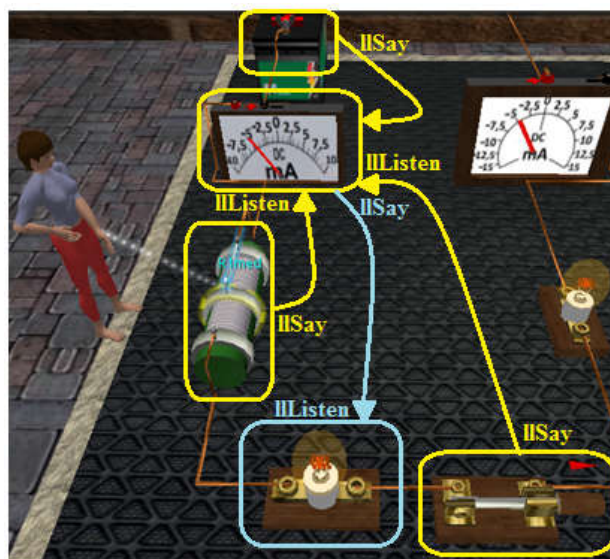
```

Fonte: o autor

O *script* mostrado na Figura 22 corresponde ao da bateria esquerda, no qual o estado inicial fica sempre à espera dos sinais *chl_ON* (fechado) ou *chl_OFF* (aberto), vindos do interruptor da esquerda. Quando isso ocorre *chl_OFF* o “estado inicial” avança para o “estado 2”, tornando possível inverter a posição da bateria e a correspondente polaridade no circuito (inversão no sentido de fluxo da corrente elétrica). Caso o interruptor emita *chl_ON*, a bateria não poderá ser invertida, pois isso não pode acontecer nos circuitos elétricos reais, devido à possibilidade de causar danos elétricos aos componentes do circuito.

A comunicação entre os *scripts* foi feita com o emprego das funções “*llSay*” e “*llListen*”, para sincronizar a atuação dos aspectos observáveis dos experimentos. Um exemplo disto pode ser visto na Figura 23, na qual o avatar (sujeito) modifica o valor de um resistor e, devido ao circuito estar “ligado” (interruptor enviando sinal de “fechado” para o ponteiro do amperímetro), os amperímetros marcam o respectivo valor de corrente elétrica.

Figura 23 – Sincronia entre observáveis através da comunicação entre *scripts*



Fonte: o autor

A criação de um sistema de troca de informações entre os *scripts* dos dispositivos foi possibilitada pela linguagem LSL fornecer “canais de comunicação”, empregados com a seguinte sintaxe:

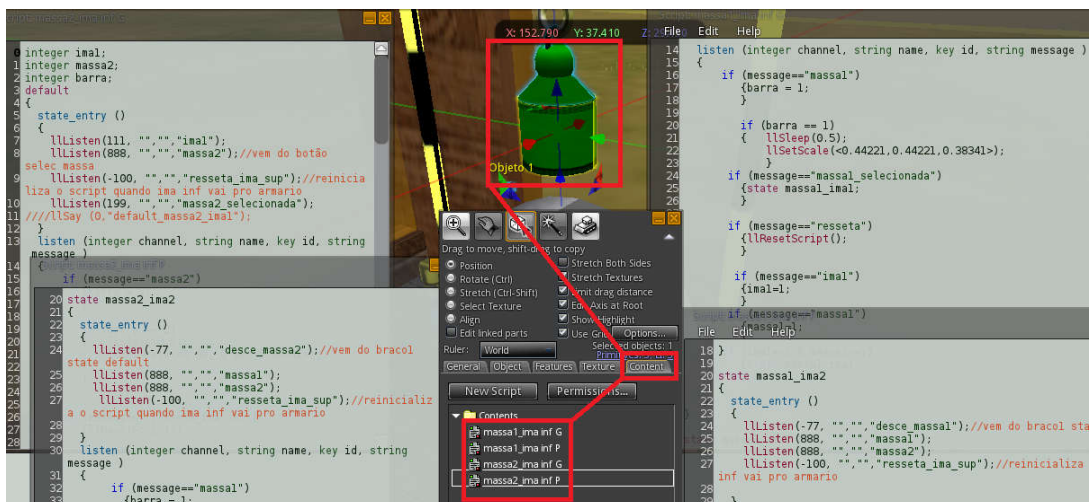
- a) *llSay* (1221, "ch1_ON"), o interruptor usa o “canal 1221” para enviar a mensagem “ch1_ON” (interruptor fechado);
- b) *llListen* (1221, "", "", "ch1_ON"), o ponteiro do amperímetro usa o mesmo canal para receber a mensagem do interruptor;

O *script* do ponteiro dos amperímetros foi elaborado para receber diversas informações como: polaridade da bateria, valor de resistência elétrica e situação do interruptor. De acordo com a situação programada, as lâmpadas ligariam com a intensidade de iluminação correspondente ao valor de corrente elétrica, a qual seria apontada pelo ponteiro através da rotação no eixo do mesmo.

Outro recurso importante foi a vinculação de vários *scripts* ao mesmo objeto, de acordo com os seguintes critérios:

- a) Organizar as funcionalidades programadas para facilitar a manutenção dos *Scripts*, como na Figura 24, na qual um dispositivo denominado de objeto1 recebe sinais do painel de controle para modificar sua forma;

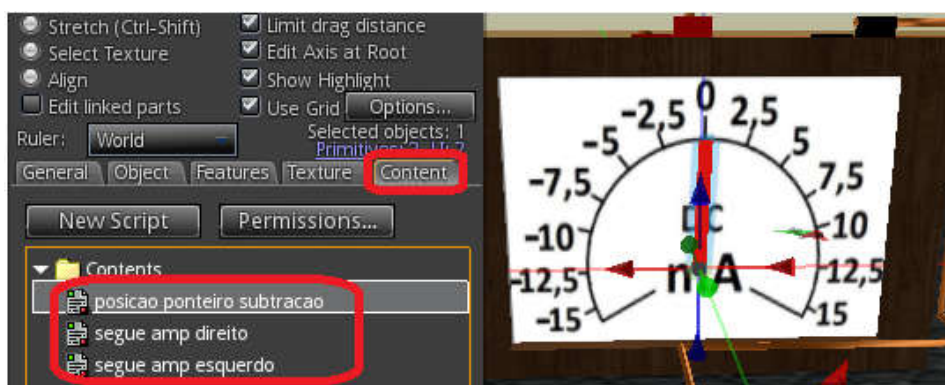
Figura 24 – *Scripts* com canais para “escutar” o painel de controle e alterar o objeto1



Fonte: o autor

- b) Quando o limite de linhas de código foi ultrapassado e houve a necessidade criar um *script* adicional para continuar a programação das funções do dispositivo. Isto ocorreu com o ponteiro do amperímetro central, devido ao mesmo necessitar lidar com a soma e a subtração das correntes no mesmo ramo (Figura 25).

Figura 25 – Vários *scripts* vinculados ao ponteiro do amperímetro central

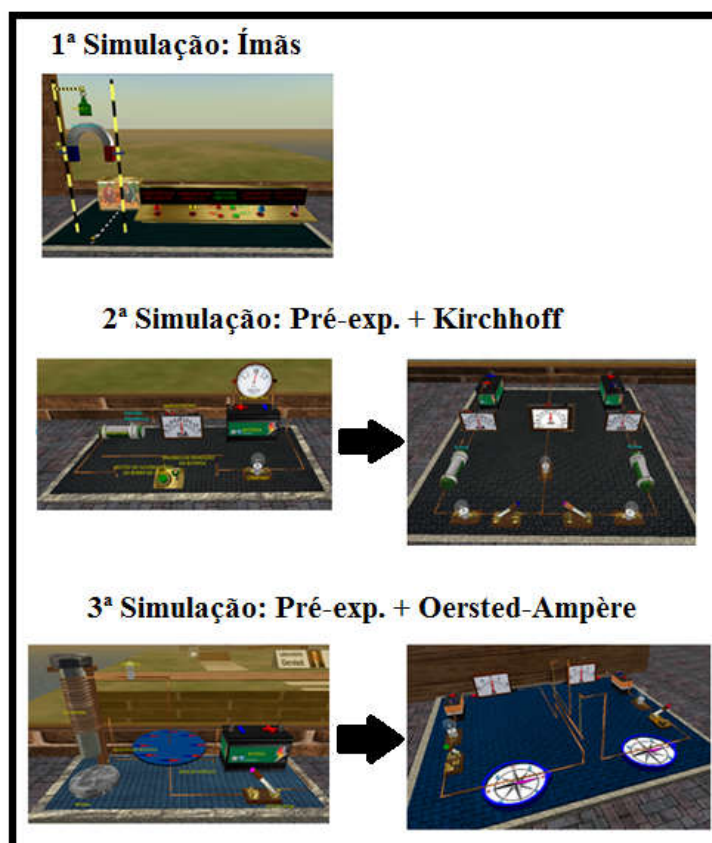


Fonte: o autor

3.1 Coleta de dados

A estratégia para a coleta de dados foi contactar estudantes universitários dos cursos de Licenciatura em Física (UFPEL), Licenciatura em Ciências da Natureza e Engenharia de Computação (UNIPAMPA) e Engenharia Civil (FURG), os quais assinaram um termo de esclarecimento e consentimento de participação. Devido às características de emprego do Método Clínico, a quantidade de sujeitos entrevistados foi aumentando até atingir-se o “ponto de saturação”, caracterizado pela repetição de padrões de práticas, símbolos ou categorias de análise, sugerindo o “esgotamento das novidades epistêmicas” (DUARTE, 2002). Desta forma, compôs-se um total de oito (08) sujeitos para o experimento com Ímãs, dez (10) sujeitos para o experimento da Lei de Kirchhoff e oito (08) sujeitos para o experimento de Oersted-Ampère. A Figura 26 mostra a seqüência de simulações experimentais apresentadas aos sujeitos.

Figura 26 – Sequência de simulações



Fonte: o autor

A aplicação do trabalho foi individual, utilizou o *notebook* do próprio pesquisador, não necessitou de *Internet*, as falas dos sujeitos foram coletadas via gravador de áudio e as

simulações experimentais foram armazenadas através da gravação das imagens da tela do computador com o programa de código aberto *CamStudio* (CAMSTUDIO, 2019). A simulação de cada experimento durou aproximadamente 25 minutos e, conforme recomendado por Delval (2002), todas as entrevistas clínicas foram transcritas na forma de protocolos.

A partir de cenários envolvendo equilíbrio mecânico ou elétrico, os sujeitos deveriam prever e explicar as “experiências de causalidade” projetadas para os dispositivos. A dedução dos atos simulados, requisitadas pelo pesquisador através do emprego dos termos “porquê?” e “como?”, serviria para, via observação e análise de ações e falas, seguir o pensamento do sujeito e identificar elementos do emprego de estruturas cognitivas como: abstrações reflexionantes, tomadas de consciência, coordenações causais e inferenciais (PIAGET, 1977).

3.1.2 O Método Clínico de Piaget

A metodologia clínica proposta por Piaget, busca conhecer o modo como cada sujeito produz explicações sobre um dado fenômeno. Isso leva à reformulação de hipóteses, perguntas e do próprio contexto experimental, sempre em função das ações e respostas do sujeito, em consonância com as seguintes características (RIBEIRO, 2018):

- a) Intervenção sistemática;
- b) Foco no entendimento das provas;
- c) Ênfase na maneira de obter as respostas às provas;
- d) Seleção das falas úteis.

O método clínico, enquanto estratégia de coleta de dados, possibilita ao entrevistador seguir o pensamento do sujeito sem a sugestão de respostas às situações-problema, de modo a empregar a hipótese sobre o processo cognitivo na criação de um protocolo capaz de orientar a entrevista clínica (DELVAL, 2002). Isso leva à proposição de testes cujas soluções necessitem de abstrações reflexionantes (frequentemente pseudo-empíricas), alcançando, vez por outra, as abstrações refletidas (abstrações reflexionantes com tomadas de consciência).

Os questionamentos sobre as razões das ações de transformação da realidade, assim como a compreensão da linha de raciocínio do sujeito, estão atrelados à clareza das operações concretas e formais, juntamente com as hipóteses relativas ao significado das ações ou

explicações. Fato exemplificado no trabalho de Piaget e Inhelder (1976), para compreender a construção do conceito de ação e reação em um experimento envolvendo a prensa hidráulica:

Mas, por que é que a água não sobe mais alto? - Porque o pistão não pode descer mais. Por quê? - Porque a água o segura. "Como apoiou a mão sobre o pistão, verifica que este retoma sua posição inicial e diz: "Se a gente faz pressão no pistão, a água tem mais força." Estas respostas mostram claramente que, para o sujeito, existem ação e reação (PIAGET; INHELDER, 1976, p. 120)

Para Luduvico (2014), como a maioria das explicações advêm de concepções implícitas e inconscientes de mundo, deve-se construir perguntas capazes de contribuir para a compreensão da linha de pensamento dos sujeitos.

Desse modo, é desejável que os questionamentos contendam os seguintes parâmetros:

- a) Exploração: tentativa de revelar a existência das estruturas cognitivas (operações concretas e formais) investigadas ao longo das experimentações;
- b) Justificação: visam desafiar o sujeito a legitimar suas ideias e ações sobre a realidade (teste de hipótese através de simulação do experimento virtual);
- c) Controle: questionamentos contra-argumentativos cujo intuito é aferir o grau de coerência ou contradição nas respostas do sujeito.

3.2 Experimentos virtuais desenvolvidos

Para a investigação foram desenvolvidos cinco (05) experimentos virtuais imersivos 3D, três (03) principais e dois (02) auxiliares. As grandezas físicas envolvidas foram: elétricas, magnéticas, mecânicas e gravitacionais (tensão, corrente e resistência elétricas, campo magnético, força de atração e repulsão magnéticas, força peso, força de tração). As simulações foram construídas para representar situações de equilíbrio mecânico ou elétrico, configurando um sistema de dupla reversibilidade, em consonância com as características do grupo fundamental de transformações reversíveis INRC (PIAGET; INHELDER, 1976).

3.2.1 Experimento com Ímãs

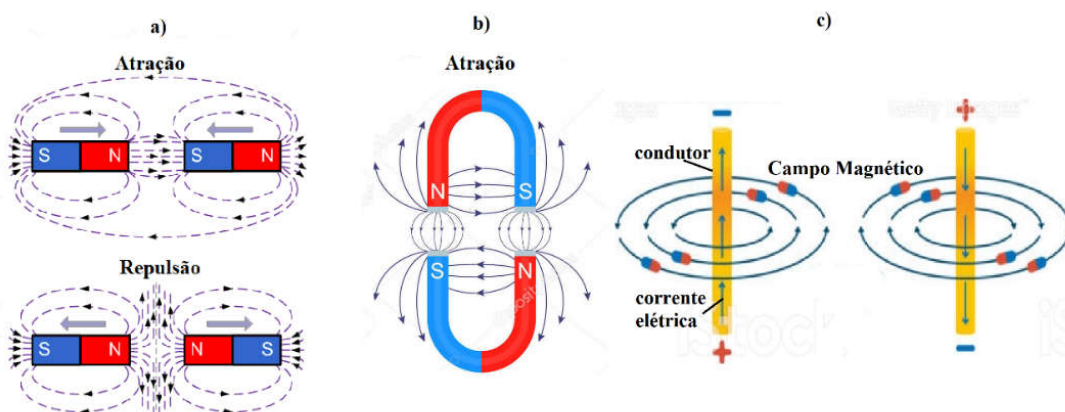
Os fenômenos magnéticos naturais são observados desde a antiguidade. Tales de Mileto, em viagem pela região da Magnésia, tentou explicar a atração que certas pedras apresentavam entre si e sobre materiais ferrosos. Para ele, tal minério possuía a propriedade de “comunicar vida” ao ferro, promovendo o fenômeno da atração. Hoje em dia, os cientistas atribuem as propriedades magnéticas dos materiais à combinação dos diversos dipolos magnéticos

(oriundos das correntes elétricas em suas estruturas atômicas), tanto em nível interno ao átomo como entre seus demais vizinhos (CARUSO; OGURI, 2016).

Em termos conceituais, o Magnetismo é o fenômeno de atração ou repulsão ocorrido entre ímãs ou entre condutores paralelos percorridos por correntes elétricas ou ainda de atração entre ímãs e materiais como ferro, cobalto ou níquel. Todo ímã apresenta duas regiões distintas, cuja influência magnética se manifesta com maior intensidade. Essas regiões são chamadas de polos e denominados de Norte (N) e Sul (S). Aproximando-se o polo norte de um ímã do polo sul de outro, nota-se uma atração, por outro lado, aproximando-se o polo norte de um ímã do polo norte de outro (vale para dois polos Sul), nota-se uma repulsão, ou seja, polos da mesma natureza se repelem e de naturezas diferentes se atraem (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016).

A força magnética, a exemplo das forças gravitacional e elétrica, é uma grandeza vetorial (necessita de módulo, direção e sentido para ser definida), além de interagir à distância (não necessita de contato direto). Ela manifesta-se em termos de atração ou repulsão quando o campo magnético (\vec{B}) gerado no espaço ao redor de um ímã (Figura 27), interage com os campos magnéticos de outros ímãs ou de condutores percorridos por corrente elétrica. No caso de interação entre ímãs e dispositivos metálicos (pregos, parafusos etc.) a força será apenas de atração (YOUNG; FREEDMAN, 2016).

Figura 27 - Campos magnéticos em ímãs e condutores elétricos



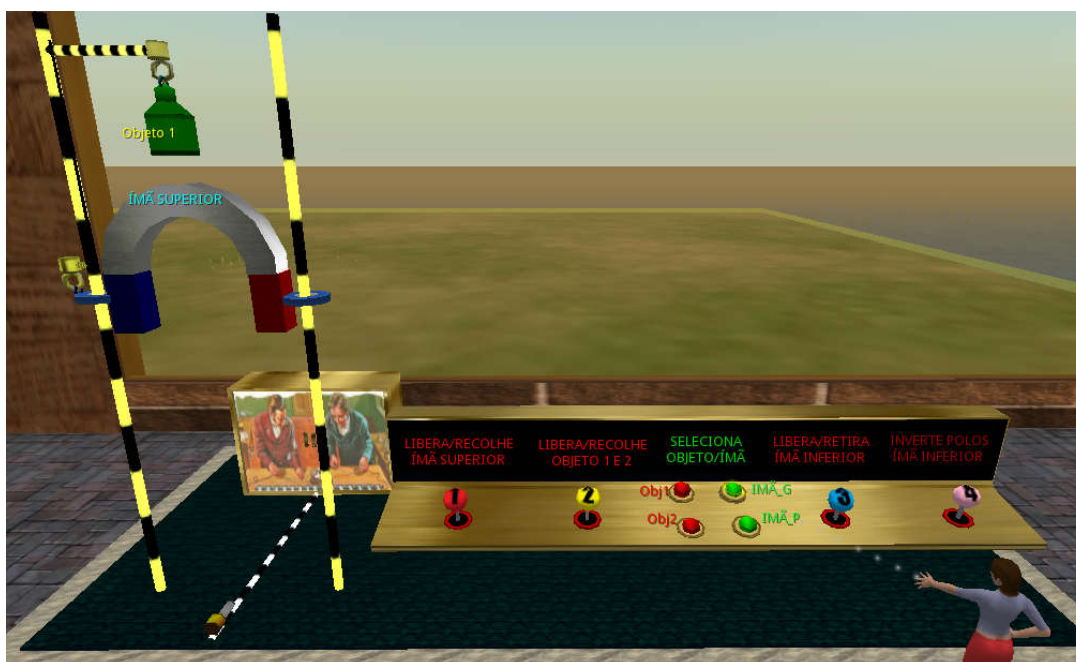
Fonte: Istock (2018)

O Magnetismo é o tema do experimento da Figura 28, projetado para integrar os dois tipos de reversibilidade propostos por Piaget (1978) (inversão e reciprocidade), os quais ocorrem em

uma situação de equilíbrio mecânico envolvendo forças magnéticas e gravitacionais, contendo os seguintes dispositivos virtuais:

- a) (02) Dois ímãs, um móvel (posição superior) e outro fixo (posição inferior), ambos de mesmas dimensões;
- b) (02) Duas hastes fixas de material não metálico pelas quais o ímã superior pode descer e subir livremente.
- c) (02) Dois objetos de mesmo material (não metálico) e valores distintos de massa, a serem posicionados sobre o ímã superior.
- d) (01) Um Painel de controle com quatro (04) alavancas e quatro (04) botões para a seleção do ímã inferior e dos objetos 1 e 2;

Figura 28 - Experimento com ímãs



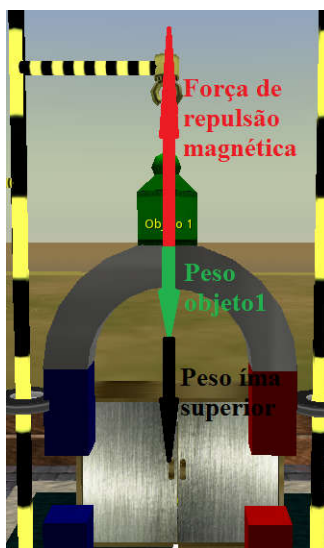
Fonte: o autor

O desafio para o sujeito foi ensaiar o experimento e explicar as razões do ímã superior (mesmo descendo livre) não se encostar no ímã inferior (repulsão). Com isso, esperou-se a construção, com base no equilíbrio entre as forças gravitacionais e magnéticas, de coordenações causais e inferenciais envolvendo o sistema de dupla reversibilidade INRC. A coleta de dados ocorreu em uma entrevista clínica, de acordo com alguns questionamentos auxiliares reunidos em um protocolo, conforme orientações de Delval (2002). Esse protocolo foi apenas um

planejamento inicial, sendo modificado ao longo das atividades, conforme o desempenho do sujeito.

A situação de equilíbrio do ímã superior pode ser vista na Figura 29, na qual ele desloca-se verticalmente, conectado a duas hastes, porém impedido de realizar torque (prende-se às hastes por duas argolas). O equilíbrio de forças ocorre somente na direção vertical, entre o próprio peso do ímã em adição com o peso do objeto 1 (colocado sobre ele) em contraposição à força de repulsão magnética (fruto da interação entre os ímãs superior e inferior), a qual possui a mesma direção, o mesmo módulo do somatório das outras duas forças peso, mas sentido oposto, configurando um somatório nulo de forças verticais.

Figura 29 - Situação de equilíbrio do ímã superior



Fonte: o autor

Em termos físicos, o equilíbrio do ímã superior acontece quando o momento linear (P) do centro de massa e o momento angular (L) em torno do centro de massa são constantes, conforme a Segunda Lei de Newton para translação e rotação.

Equilíbrio translacional:

$$\sum F_{ext} = \frac{\partial P}{\partial t}, P \text{ constante} \rightarrow \frac{\partial P}{\partial t} = 0 \quad [\text{Eq.01}]$$

$$\sum F_{ext} = 0 \text{ (equilíbrio de forças)} \quad [\text{Eq.02}]$$

Equilíbrio rotacional:

$$[\text{Eq.03}]$$

$$\sum \tau_{ext} = \frac{\partial L}{\partial t}, L \text{ constante} \rightarrow \frac{\partial P}{\partial t} = 0$$

$$\sum \tau_{ext} = 0 \text{ (equilíbrio de torques)} \quad [\text{Eq.04}]$$

A relação entre os conceitos físicos vinculados ao experimento virtual e a construção de um sistema integrado de dupla reversibilidade (Grupo INRC) é apresentada através de quatro transformações:

- I. DIRETA: Ação exercida pela sobreposição dos objetos 1 ou 2 sobre o ímã superior (aumento do valor do peso do conjunto);
- II. INVERSÃO: Supressão da ação anterior pela retirada dos objetos 1 ou 2 do ímã superior (diminuição do valor do peso do conjunto);
- III. RECIPROCIDADE: Compensação entre a força peso do ímã superior ou do conjunto (ímã + objeto 1 ou 2) pela força de repulsão causada pela interação dos campos magnéticos dos ímãs superior e inferior. Inicialmente ocorre uma movimentação para baixo e depois o equilíbrio da posição do ímã superior;
- IV. CORRELAÇÃO: negação da ação anterior (ocorre no caso de uma inversão da posição dos polos do ímã inferior, causando uma força de atração magnética na mesma direção e sentido do peso do ímã superior);

O sistema adquire a propriedade de representar a dupla reversibilidade quando a transformação direta é compensada pela transformação recíproca. Por exemplo, quando um objeto é posicionado sobre o ímã superior, o peso do conjunto cresce e o ímã superior aproxima-se do inferior até ficar em uma posição estável. Isso acontece porque a distância entre os ímãs diminui aumentando a força de repulsão magnética contraposta ao sentido do peso (ímã + objeto) que equilibra o conjunto. A posição vertical final do ímã superior, sozinho ou com os objetos 1 ou 2 será diferente, mas a força magnética continuará compensando o aumento do peso do conjunto.

As transformações citadas podem ser apresentadas na forma de operações proposicionais do grupo INRC:

- 1) $I(p_1 \vee p_2)$ = operação direta, representa dois valores diferentes da força peso do conjunto ímã superior + objetos 1 ou 2.
- 2) $N(\sim p_1 \bullet \sim p_2)$ = operação inversa, ou seja, a supressão dos efeitos de p_1 e p_2 (retirada dos objetos 1 ou 2 do ímã superior).

- 3) $R (\sim p_1 \vee \sim p_2) =$ operação recíproca, a compensação dos efeitos de p_1 ou p_2 pela ação da força de repulsão levando ao equilíbrio mecânico (mesma direção e módulo, mas sentido inverso).
- 4) $C (p_1 \bullet p_2) =$ operação correlativa que nega a recíproca (anulação dos efeitos da recíproca). Isso ocorre no caso do ímã inferior inverter a posição de seus polos, objetivando atrair o ímã superior. Com isso, as forças peso (ímã + objeto) e atração magnética teriam o mesmo sentido.

3.2.2 Protocolo preliminar

- I- Realiza-se a apresentação do experimento em conjunto com uma verificação sobre os termos usados pelo sujeito para identificar os componentes do equipamento. Isso permite uma adequação de linguagem entre sujeito e entrevistador;
- II- Dá-se ciência ao sujeito sobre a função e o acionamento (clicar sobre) as palancas e botões dispostos no painel de controle;
- III- Inicialmente o experimento apresenta o painel de controle com as palancas e os botões desativados, ou seja, nenhum dos ímãs inferiores ou dos objetos (por padrão o objeto 1 inicia pendurado) foram selecionados. A luz verde acima da palanca sinaliza a liberação para acionamento e a vermelha o bloqueio.
- IV- O sujeito será incentivado a refletir sobre os efeitos do ímã superior ser liberado sem nada abaixo dele. Objetivo é verificar a noção do sujeito com respeito a ação da força gravitacional sobre o ímã superior.
- a. **Se você clicar na palanca número 1, o que ocorrerá? Como você sabe disso?**
- b. **O que faz o ímã cair? Por que ele não para antes do solo? Um colega seu falou que o ímã sobe quando liberado pela palanca, como vê tal afirmação?**
- V- Após, o sujeito irá selecionar o ímã inferior (grande ou pequeno) nos botões e também o objeto 1 ou 2 a ser sobreposto ao ímã superior. Após a seleção de um dos botões estes passarão para a cor vermelha impedindo uma nova seleção, a liberação dos mesmos só ocorrerá após o acionamento da palanca número 3, para trazer o ímã inferior até as hastes e levá-lo até o armário.
- VI- Após o acionamento da palanca 3 e o conseqüente posicionamento do ímã inferior, o sujeito poderá guardar o ímã inferior novamente no armário, invertê-lo horizontalmente (palanca número 4) para trocar a posição dos polos magnéticos ou

liberar o ímã superior, para um deslocamento vertical para baixo até o encontro com o ímã inferior.

Nesse ponto, considera-se investigar a noção do sujeito sobre a existência da força de repulsão magnética. Então, antes do acionamento da palanca 1, as seguintes questões tornam-se pertinentes:

- a. **Se você clicar na palanca número 1, o que ocorre? Como você sabe disso?**
- b. **Qual a diferença da situação anterior de acionamento desta mesma palanca?**

VII- Após o acionamento da palanca número 1, o ímã superior desce na direção do ímã inferior, porém acaba parando a uma certa distância deste.

- a. **Por que o ímã superior não encostou no inferior? Como você sabe disso?**
- b. **Se você acionar a palanca número 2 o que acontecerá? Por quê?**

VIII- Com o acionamento da palanca número 2 o objeto 1 é depositado sobre o ímã superior e o conjunto inteiro aproxima-se um pouco mais do ímã inferior, mas sem encostar nele.

- a. **Qual foi a influência do objeto 1 sobre a posição do ímã superior? O que aconteceu com o peso total do conjunto quando o objeto1 foi posicionado sobre o ímã? Por quê?**
- b. **Por que o ímã superior ainda não encosta no inferior? Como você sabe disto?**
- c. **Se o objeto 1 for retirado de cima do ímã, o que ocorre? Como sabe disto? Por que ele sobe?**

IX- Na sequência, o objeto 1 é retirado e em seu lugar é selecionado o objeto 2.

- a. **Qual a diferença entre os dois objetos? Que tipo de influência isto pode trazer para a posição do ímã superior? Como sabe disto?**
- b. **O que irá ocorrer quando o objeto2 for colocado sobre o ímã? Por quê?**
- c. **Um colega falou que o ímã superior vai se afastar do inferior? Isto está certo? Como sabe?**

X- Após a liberação do objeto 2, o ímã superior desce na direção do inferior, porém também fica equilibrado a uma certa distância deste (menor do que a anterior).

- a. **Por que o ímã superior ainda não encosta no inferior? Como você sabe disso?**
- b. **O ímã desceu mais ou menos? E se você tirar o objeto 2 do ímã, ele sobe mais ou menos? Por quê?**

3.2.3 Experimento sobre a 1ª Lei de Kirchhoff (Lei das correntes ou dos nós)

Desenvolvido com base nos estudos do físico alemão Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887), este experimento virtual aborda a conservação da carga elétrica¹⁷ mediante a convergência e divergência de correntes elétricas¹⁸ para os “nós¹⁹” de um circuito elétrico, efeito denominado de a Primeira Lei de Kirchhoff. Embora configure um aspecto necessário para a continuação dos estudos sobre análise de circuitos elétricos, a Segunda Lei de Kirchhoff ou lei das malhas não será abordada neste trabalho, pois optou-se por focar exclusivamente no vínculo da primeira lei com as estruturas de pensamento propostas por Piaget (1978) (em especial o grupo INRC) (YOUNG; FREEDMAN, 2016).

Para o experimento foi criado um circuito do tipo paralelo envolvendo diversos componentes elétricos, cuja configuração possui um total de dois (02) nós, três (03) ramos²⁰ e três (03) malhas²¹. A malha 01 localiza-se à esquerda do amperímetro central, enquanto a malha 02 está à direita do mesmo, havendo também uma malha 03 (externa). Para facilitar a análise, o nó superior foi identificado pela letra “A”, o inferior pela letra “B” e foram determinadas as correntes i_1 , i_2 e i_3 como as circulantes nas malhas. O sentido de circulação das correntes adotado foi o convencional (do polo positivo para negativo da respectiva bateria). Como existe a possibilidade de modificação na posição das baterias (troca de orientação de polarização), podem ocorrer inversões no sentido de circulação das correntes. O diagrama esquemático pode ser visualizado na Figura 30 e contém os seguintes componentes:

- a) Duas (02) baterias de corrente contínua de mesma voltagem;
- b) Dois (02) interruptores (ou chave) tipo faca;
- c) Três (03) amperímetros de corrente contínua;
- d) Três (03) lâmpadas;
- e) Dois (02) resistores de fio, ajustáveis e de mesmo valor ôhmico;

¹⁷Conservação da carga elétrica é o princípio da Física que estipula a impossibilidade de criação ou destruição de cargas elétricas (YOUNG; FREEDMAN, 2016).

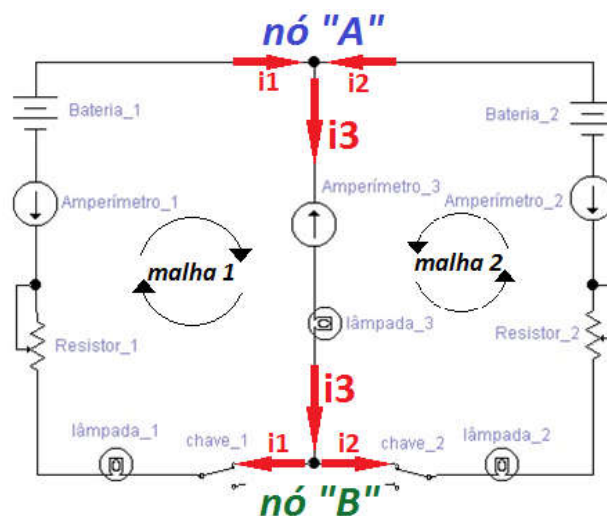
¹⁸Movimento ordenado de cargas elétricas em um condutor, em um determinado sentido e ocasionado por uma diferença de potencial elétrico (YOUNG; FREEDMAN, 2016).

¹⁹Entende-se por nó, o ponto de encontro de três ou mais ramos de um circuito, tendo cada ramo um ou mais componentes elétricos (YOUNG; FREEDMAN, 2016).

²⁰Ramo: é o trajeto entre dois nós consecutivos, pelo qual circula uma corrente elétrica de valor constante (YOUNG; FREEDMAN, 2016).

²¹Malha: é um trecho de circuito que forma uma trajetória eletricamente fechada (YOUNG; FREEDMAN, 2016).

Figura 30 - Esquema elétrico do experimento



Fonte: o autor

A análise do circuito proposto parte da premissa da impossibilidade física da criação ou desaparecimento das cargas elétricas em um nó, levando ao enunciado da Primeira Lei de Kirchhoff de que a soma algébrica das correntes é sempre igual a zero.

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0 \quad [\text{Eq.05}]$$

Adotando a convenção de “positiva” para as correntes que entram e “negativa” para as oriundas do nó, tem-se a seguinte expressão:

$$\sum_{i=1}^n I_{i\text{chegam}} - \sum_{j=1}^m I_{j\text{saem}} = 0 \quad [\text{Eq.06}]$$

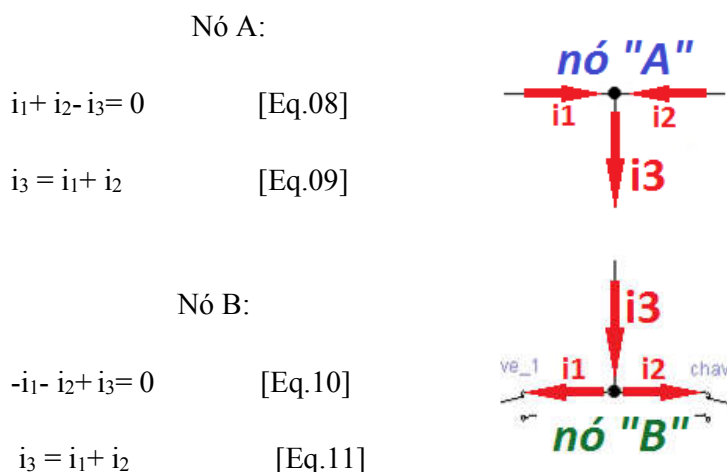
Passa-se então, o segundo termo para o outro lado da igualdade:

$$\sum_{i=1}^n I_{i\text{chegam}} = \sum_{j=1}^m I_{j\text{saem}} \quad [\text{Eq.07}]$$

Dessa forma, é possível concluir que o somatório das correntes incidentes é igual ao das provenientes do nó.

Aplicando tal conclusão aos nós do circuito da Figura 31, tem-se:

Figura 31 - Nós A e B



Fonte: o autor

A comparação entre as equações extraídas dos nós A e B revela uma igualdade entre as mesmas, pois o número de equações independentes obtidas pela aplicação da lei das correntes é sempre igual ao número de nós do circuito, menos um. Como consequência, somente uma equação é suficiente para entender o comportamento das correntes no circuito.

No caso do experimento virtual imersivo, ele foi projetado para estar em consonância com a abordagem de Piaget (1978), sobre a possibilidade de ações reversíveis converterem-se em operações, quando interiorizadas. Nesse sentido, apresentam-se algumas transformações através das quais o sujeito pode modificar alguns parâmetros do experimento virtual (Figura 32), na tentativa de assimilá-lo enquanto objeto de conhecimento.

- Abertura ou fechamento dos interruptores ch1 e ch2, controlando a passagem de corrente elétrica pelo circuito;
- Aumento ou diminuição do valor da resistência elétrica dos resistores R1 e R2, através da variação na posição do terminal central;
- Ampliação ou decréscimo do valor das correntes elétricas nas malhas, pela modificação da posição do terminal central dos resistores R1 e R2;
- Inversão na polaridade das Baterias 01 e 02, pela alteração em 180 ° da posição horizontal das mesmas;

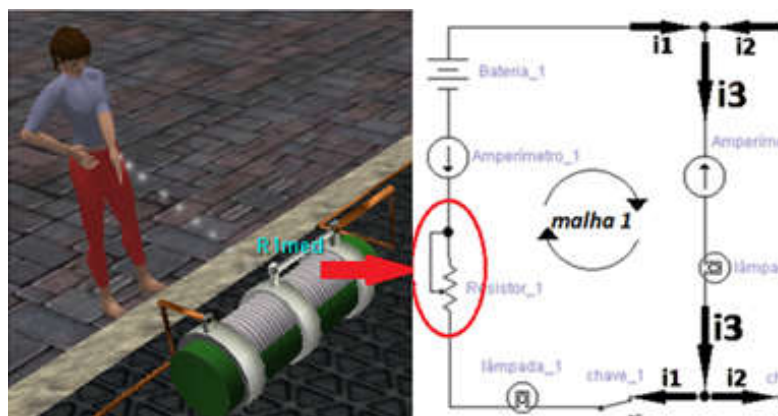
Figura 32 - Experimento virtual imersivo 3D sobre a 1ª Lei de Kirchoff



Fonte: o autor

A Figura 33 mostra como é feita a alteração do valor de uma das correntes elétricas no experimento virtual.

Figura 33 - Alterando a resistência de R1 para modificar a corrente elétrica i_1



Fonte: o autor

Para constituir um conjunto de operações reversíveis e integradas em um único sistema, trabalhou-se com a situação de equilíbrio entre as correntes i_1 , i_2 e i_3 circulando pelo nó A do circuito. A Figura 34 mostra um esquema simplificado da influência de R1, R2 e das Baterias 01 e 02 nas correntes i_1 , i_2 e i_3 .

Figura 34 - Alterando i_1 , i_2 e i_3 através de R1, R2, Bat1 e Bat2



Fonte: o autor

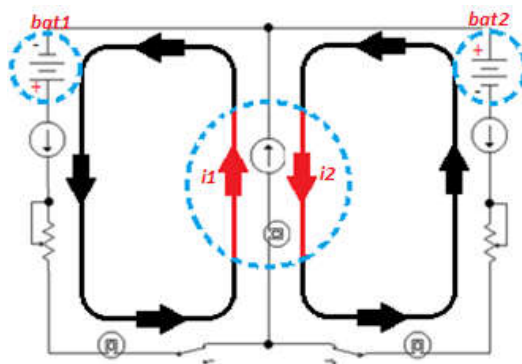
O resistor R1 é responsável pela corrente i_1 e o resistor R2 pela corrente i_2 . Ao ter sua polaridade alterada, a bateria Bat1 modifica o sentido de i_1 , a qual agora está saindo do nó enquanto a corrente i_2 continua chegando ao mesmo. A corrente i_3 , por sua vez, além de inverter seu sentido de deslocamento, também teve seu módulo diminuído. Tal resultado pode ser melhor compreendido através das equações a seguir:

$$\text{Nó A: } -i_1 + i_2 + i_3 = 0 \quad [\text{Eq.12}]$$

$$i_3 = i_1 - i_2 \quad [\text{Eq.13}]$$

A análise das expressões indica que i_1 , além de inverter seu sentido (influência de Bat1) também aumentou de valor (diminuição da resistência de R1). Como i_2 permaneceu inalterada (R2 e Bat2 sem modificações), a conservação da carga elétrica deu-se pela alteração da corrente i_3 , com o módulo determinado pela diferença dos valores de i_1 e i_2 e cujo sentido de circulação alinhou-se com o da maior corrente (i_1 no caso). Nesse experimento, sempre que as baterias estiverem em contra-fase (polaridades invertidas uma em relação a outra) o módulo de i_3 será a diferença entre i_1 e i_2 e o sentido de i_3 será determinado pela corrente de maior valor (i_1 ou i_2). A Figura 35 mostra a formação da corrente resultante no ramo central, tendo por base as polaridades das baterias Bat1 e Bat2.

Figura 35 - Corrente elétrica no ramo central para baterias em contra-fase



Fonte: o autor

O equilíbrio de correntes no ramo central é alcançado quando i_1 e i_2 possuem o mesmo módulo (R1 e R2 com a mesma resistência elétrica), mas sentidos inversos (Bat1 e Bat2 com polaridades antagônicas). O resultado é uma corrente nula ($i_3 = 0$) que apaga a lâmpada do ramo central (lp3), mesmo com ambos interruptores (ch1 e ch2) fechados. Nesse circuito, para qualquer outra situação (a não ser ch1 e ch2 abertos) a lâmpada lp3 ficará acesa (mesmo que minimamente) indicando um desequilíbrio entre i_1 e i_2 , cujo valor será mostrado pelo ponteiro do amperímetro central.

A integração das seguintes transformações compõe um sistema de dupla reversibilidade em uma situação de equilíbrio elétrico:

- I. DIRETA: ação sobre o valor da corrente elétrica (i_1 ou i_2) de uma das malhas (incremento de magnitude);
- II. INVERSA: negação da ação anterior (decremento do valor da corrente elétrica i_1 ou i_2);
- III. RECIPROCIDADE: compensação entre as correntes elétricas i_1 e i_2 , ocorrida no ramo central do circuito (possibilidade de anulação da resultante i_3 devido a i_1 e i_2 possuírem mesmo valor, mas sentidos opostos);
- IV. CORRELAÇÃO: negação da ação anterior pela soma dos valores das correntes no ramo central (no caso das baterias 1 e 2 estarem polarizadas no mesmo sentido);

Conseqüentemente as operações proposicionais para constituir o grupo INRC serão:

- 1) $I (i_a \vee i_b)$ = operação direta: representa dois valores diferentes e arbitrários de corrente elétrica na mesma malha, determinados pelo respectivo valor da resistência elétrica de R1 ou R2.
- 2) $N (\sim i_a \bullet \sim i_b)$ = operação inversa: representa a supressão de i_a ou i_b pela variação, em sentido contrário ao item “1)”, da resistência elétrica de R1 ou R2 (se a corrente anterior aumentou, agora é diminuída e vice-versa);
- 3) $R (\sim i_a \vee \sim i_b)$ = operação recíproca: compensação no ramo central de i_1 por i_2 e vice-versa, devido a possuírem sentidos inversos de circulação.
- 4) $C (i_a \bullet i_b)$ = operação correlativa: negação da recíproca (anulação dos efeitos contrários desta). Aplicada ao caso das baterias estarem com a polaridade no mesmo sentido, de modo somar os valores das correntes i_1 e i_2 no ramo central.

O experimento foi apresentado ao sujeito de forma desbalanceada, com diferentes valores de resistência elétrica ajustados nos resistores R1 e R2, para causar correntes elétricas com diferentes magnitudes (visualizadas nos respectivos amperímetros). Como as baterias 01 e 02 estavam em contra fase, os sentidos das correntes no ramo central eram contrários e havia uma corrente i_3 (visualizada no amperímetro central) circulando no ramo central para acender a lâmpada lp3.

O desafio para o sujeito foi explicar como a manipulação dos resistores R1 e R2 resultava no desligamento da lâmpada lp3. Era esperado o reconhecimento do equilíbrio (conservação da carga elétrica) entre as correntes elétricas no “nó” A, a identificação da influência da polaridade das baterias no sentido de circulação das correntes nas malhas e a tomada de consciência da Primeira Lei de Kirchhoff.

A aplicação da entrevista clínica ocorreu com base em um protocolo preliminar, elaborado a partir de questionamentos básicos, para sistematizar as atividades experimentais e permitir uma coleta de dados suficientemente flexível para adaptar-se às novidades advindas das ações dos sujeitos (DELVAL, 2002).

3.2.4 Protocolo preliminar

- I- O experimento virtual é apresentado e verifica-se a capacidade do sujeito em identificar os componentes elétricos do circuito, visando uma equanimidade de linguagem entre sujeito e entrevistador;
- II- Dá-se ciência sobre como acionar os dispositivos como interruptores, chaves, resistores e baterias (basta “clicar” sobre os mesmos);
- III- Com o circuito inicialmente desativado, propõem-se situações capazes de promover o afloramento da estrutura das noções do sujeito sobre o tema abordado (após cada resposta o sujeito executa a correspondente ação no circuito virtual). A simulação inicia com uma malha de cada vez, começando pela da esquerda e depois pela da direita.
 - a. **Se você clicar no interruptor da esquerda o que deve ocorrer com circuito? Como você sabe disso?**
 - b. **Se você acionar o resistor R1 para seu valor máximo qual deve ser o resultado? Por quê? E para os valores mínimo e médio?**

- c. **Após selecionar um valor para R1 as lâmpadas acenderam da mesma cor? É possível alterar a cor do acendimento só de uma delas? De que maneira? Como você sabe disto?**
 - d. **Se você inverter a polaridade da bateria da esquerda, isto causará alguma alteração em algum componente no circuito? Como você sabe?** (Deseja-se saber se o sujeito percebe a inversão no sentido da corrente elétrica mostrada no amperímetro)
 - e. **Qual é o valor marcado no amperímetro? Para ele mostrar o máximo de corrente o que é preciso fazer? Como sabe disso?**
 - f. **Qual o procedimento para acender duas lâmpadas na cor vermelha com uma corrente negativa? Como sabe disso?**
 - g. **Se você desligar o interruptor da esquerda e acionar o da direita, o comportamento do circuito será o mesmo já visto? Como sabe disto?**
- IV- Inicia-se o trabalho com as duas malhas, no modo de subtração de correntes no ramo central, a malha da esquerda com a bateria polarizada para corrente negativa e a malha da direita com polarização positiva.
- a. **Recapitulando, quando a lâmpada da esquerda ficou com o filamento vermelho a do centro ficou como? Quando a lâmpada da esquerda acendeu na cor amarela, a do centro ficou como? Isso vale também para o circuito do lado direito? Como sabe disto?**
 - b. **De quantas maneiras você pode manipular os dispositivos do circuito para acender a lâmpada da esquerda? E da lâmpada central? Como sabe disto?**
 - c. **Quando você acionou o interruptor da esquerda o que aconteceu com as lâmpadas esquerda e central? Se você desligar o interruptor da esquerda e ligar o da direita, o que acontece com as lâmpadas? Tem como ligar (ao mesmo tempo) as duas lâmpadas dos lados e desligar a lâmpada do centro?** (Este questionamento deve estimular a regulação ativa do sujeito, pois ele terá de pensar um pouco para responder e irá interagir com o circuito para confirmar sua resposta. Tal pergunta visa despertar a curiosidade sobre os fenômenos associados ao somatório de correntes no ramo central).
- V- Com o circuito desligado, R1 no máximo e R2 no mínimo, o sujeito aciona os interruptores ch1 e ch2 e altera R2 até o máximo e após, retorna ao valor mínimo (depois faz o mesmo para R1). Neste ponto, o trabalho é feito para estimular o sujeito a tomar consciência da subtração das correntes no ramo central.

- a. O que aconteceu com o circuito quanto R2 foi manipulado? Qual o comportamento das lâmpadas? E dos amperímetros? Por quê?
- b. O que aconteceu com o circuito quanto R1 foi manipulado? Qual o comportamento das lâmpadas? E dos amperímetros? Por quê?
- c. A lâmpada central apaga em mais alguma posição? Outro colega falou que é somente com R1 e R2 no mínimo.
- d. Por que a lâmpada central apaga e as lâmpadas laterais não? Como sabe disto?

3.2.5 Experimento Auxiliar de Kirchhoff

O experimento auxiliar da Figura 36 foi desenvolvido a partir das análises iniciais das simulações do experimento sobre a Lei de Kirchhoff, nas quais os sujeitos demonstraram dificuldades em identificar e construir relações causais envolvendo os aspectos observáveis e não observáveis do circuito.

Figura 36 - Circuito auxiliar de Kirchhoff



Fonte: O autor

Com isso, criou-se um circuito elétrico de menor complexidade, com base em ações reversíveis relacionadas aos seguintes assuntos:

- Circuito elétrico fechado como condição para a circulação de corrente;
- Inversão de sentido da corrente elétrica, pela inversão na polaridade da bateria do circuito;
- Relação inversa entre resistência e corrente elétricas;

A metodologia usada foi a seguinte:

- 1) **Conceito físico e dispositivos elétricos associados:** como o circuito abordou o conceito de corrente elétrica em um circuito fechado, os dispositivos necessários foram: interruptor, resistor, amperímetro, bateria, lâmpada, voltímetro etc.
- 2) **Visualização do efeito físico no experimento:** criação de elementos observáveis relacionados ao conceito trabalhado. Nesse caso, o deslocamento de cargas elétricas foi representado por esferas vermelhas positivas repelidas pelo polo positivo da bateria e atraídas ao polo negativo, indicando o sentido convencional de corrente;
- 3) **Fatores relacionados aos dispositivos que afetam o conceito em estudo:** neste caso, o acionamento liga/desliga do interruptor (responsável pela circulação ou corte da corrente) e a modificação da resistência do resistor, alterando a magnitude da corrente circulante;
- 4) **Fato resultante da influência dos fatores presentes no circuito:** relativo aos observáveis alterados pelos fatores do item anterior, como a modificação da cor da lâmpada (filamento avermelhado para uma corrente fraca ou amarelo para o acendimento pleno) de acordo com a resistência elétrica do resistor. Além disso, também existe a indicação da magnitude e do sentido da corrente através do amperímetro.
- 5) **Combinação de fatores:** leva-se em conta o circuito aberto ou fechado e o valor da resistência elétrica do resistor R_1 . Esses fatores são representados pelas seguintes classes: $A_1 =$ circuito fechado, $A_1' =$ circuito aberto, $A_2 = R_{\text{máx}}$, $A_2' = R_{\text{mín}}$, cuja multiplicação entre si dá origem a um número de combinações passíveis de serem executadas empiricamente pelo sujeito, estabelecendo correspondências entre os fatores e o fato (acendimento ou não da lâmpada).
- 6) **Associação “n-por-n” das combinações de fatores:** as combinações derivadas da multiplicação das classes são associadas a uma tabela-verdade, para combiná-las de

todas as maneiras possíveis e criar uma “rede” de operações combinatórias. A construção deste tipo de tabela possibilita a dissociação dos fatores de influência do fato. Isso representa um dos mais altos níveis de pensamento, onde o raciocínio deixa de apelar para operações concretas organizando-se em termos de proposições (pensamento formal).

- 7) **Uso da “rede” de operações combinatórias no método clínico:** nesta etapa as possibilidades apresentadas pela tabela-verdade são transformadas em questões de argumentação e contra-argumentação, para uso na entrevista clínica.
- 8) **Análise das respostas da entrevista clínica:** análise do esforço operatório do sujeito através de elementos capazes de indicar as estruturas do pensamento empregado diante dos desafios da simulação.

As classes obtidas a partir dos fatores são: $A_1 =$ circuito fechado, $A_1' =$ circuito aberto, $A_2 = R_{\text{máx}}$, $A_2' = R_{\text{mín}}$.

- a) Circuito ($A_1 + A_1'$)
- b) Resistência elétrica ($A_2 + A_2'$)

Quando multiplicadas entre si, formam as combinações:

$$(A_1 + A_1') \times (A_2 + A_2') = A_1A_2 + A_1A_2' + A_1'A_2 + A_1'A_2'$$

Tais combinações podem ser executadas empiricamente pelo sujeito e alcançar as informações do tipo:

- a) A_1A_2 : o circuito está fechado e o resistor R1 está na posição de resistência máxima, portanto a lâmpada acende um filamento vermelho, pois flui por ela o valor mínimo de corrente;
- b) A_1A_2' : o serviço está fechado e o valor de R1 é o valor mínimo de resistência elétrica, portanto a lâmpada acende com o filamento amarelo devido ao máximo valor de corrente circulando no circuito;
- c) $A_1'A_2$: o circuito está aberto e o resistor R1 na posição de máxima resistência, a lâmpada não irá acender pois não há corrente circulante;
- d) $A_1'A_2'$: o circuito está aberto e o resistor na posição de mínima resistência, a lâmpada permanece apagada devido a não circulação de corrente pelo circuito;

As operações ligadas às combinações acima ainda estão atreladas ao pensamento concreto, pois são a representação das ações executadas ao longo da simulação virtual. A utilização do

pensamento formal ocorre quando o sujeito teoriza sobre os fatores influenciando no resultado da simulação (fato), de modo a construir a tabela-verdade com as associações possíveis.

Tabela 03 - Tabela-verdade para 16 associações possíveis

Nº	Combinações dos fatores				Associações possíveis para a ocorrência do resultado (lógica proposicional)
	$A_1' A_2'$	$A_1' A_2$	$A_1 A_2'$	$A_1 A_2$	
(16)	1	1	1	1	$(A_1' \cdot A_2') \vee (A_1' \cdot A_2) \vee (A_1 \cdot A_2') \vee (A_1 \cdot A_2)$
(15)	1	1	1	0	$(A_1' \cdot A_2') \vee (A_1' \cdot A_2) \vee (A_1 \cdot A_2')$
(14)	1	1	0	1	$(A_1' \cdot A_2') \vee (A_1' \cdot A_2) \vee (A_1 \cdot A_2)$
(13)	1	1	0	0	$(A_1' \cdot A_2') \vee (A_1' \cdot A_2)$
(12)	1	0	1	1	$(A_1' \cdot A_2') \vee (A_1 \cdot A_2') \vee (A_1 \cdot A_2)$
(11)	1	0	1	0	$(A_1' \cdot A_2') \vee (A_1 \cdot A_2')$
(10)	1	0	0	1	$(A_1' \cdot A_2') \vee (A_1 \cdot A_2)$
(09)	1	0	0	0	$(A_1' \cdot A_2')$
(08)	0	1	1	1	$(A_1' \cdot A_2) \vee (A_1 \cdot A_2') \vee (A_1 \cdot A_2)$
(07)	0	1	1	0	$(A_1' \cdot A_2) \vee (A_1 \cdot A_2')$
(06)	0	1	0	1	$(A_1' \cdot A_2) \vee (A_1 \cdot A_2)$
(05)	0	1	0	0	$(A_1' \cdot A_2)$
(04)	0	0	1	1	$(A_1 \cdot A_2') \vee (A_1 \cdot A_2)$
(03)	0	0	1	0	$(A_1 \cdot A_2')$

(02)	0	0	0	1	$(A_1. A_2)$
(01)	0	0	0	0	$\sim [(A_1'. A_2') \vee (A_1'. A_2) \vee (A_1. A_2') \vee (A_1. A_2)]$

Cada uma das possibilidades foi analisada com relação a sua veracidade para a ocorrência do resultado pretendido. No entanto, as possibilidades 01(nenhuma opção é válida) e 16 (todas as opções são válidas) compreendem os extremos na tabela e podem ser descartadas.

02- $(A_1. A_2)$: O resultado ocorre pela junção dos fatores A_1 e A_2 , ou seja, com o circuito fechado e o resistor R1 na sua resistência máxima, a lâmpada não acende plenamente, ficando apenas com o filamento avermelhado devido a mínima corrente que circula pelo circuito;

Questão para o protocolo da entrevista clínica: Por que a lâmpada está com o filamento avermelhado? Quais os fatores que influenciam isso?

03- $(A_1. A_2')$: O resultado ocorre quando o circuito está fechado e o resistor R1 está na sua posição mínima, implicando no acendimento pleno da lâmpada (filamento com a cor amarela) devido a máxima circulação de corrente.

Questão para o protocolo da entrevista clínica: Por que a lâmpada está com o filamento amarelo? Quais os fatores que influenciam?

04- $(A_1. A_2') \vee (A_1. A_2)$: Essa possibilidade indica que o resultado (acendimento da lâmpada) ocorre independentemente do valor da resistência R1, bastando o circuito estar fechado. A veracidade dessa possibilidade está no fato de que realmente a lâmpada acende, mesmo que não seja em sua plenitude.

Questão para o protocolo da entrevista clínica: Qual é o fator que sempre tem de ocorrer para a lâmpada acender? Por quê?

05- $(A_1'. A_2)$: Esta possibilidade não é verdadeira, pois indica que o resultado ocorreria caso o circuito estivesse aberto e o resistor na sua posição máxima;

Questão para o protocolo da entrevista clínica: Quando é possível ter certeza que a lâmpada não irá acender? Por quê?

06- (A_1' . A_2) V (A_1 . A_2): Esta possibilidade não é verdadeira, pois ela dá a entender que o resultado ocorrerá independente do circuito estar aberto ou fechado, bastando apenas o resistor estar na sua posição de resistência máxima. Aqui nota-se uma dissociação de fatores, pois o resistor R1 permanece na sua máxima resistência, enquanto o circuito é aberto e depois fechado.

Questão para o protocolo da entrevista clínica: Para a lâmpada acender, a posição do interruptor é importante? Por quê?

07- (A_1' . A_2) V (A_1 . A_2'): Esta possibilidade não é verdadeira devido a proposta de variação dos dois fatores ao mesmo tempo;

Questão para o protocolo da entrevista clínica: Se o circuito for mantido aberto e apenas o resistor variar o seu valor, o que ocorre na lâmpada? Por quê?

08- (A_1' . A_2) V (A_1 . A_2') V (A_1 . A_2): Essa possibilidade não é verdadeira porque na primeira combinação o circuito estará aberto, o que impossibilita a circulação de corrente e conseqüentemente o atendimento da lâmpada. As demais combinações estão corretas, mas o objetivo é ter uma visão do todo.

09- (A_1' . A_2'): Esta possibilidade não é verdadeira pois parte da premissa do resultado ocorrer com o circuito aberto;

10- (A_1' . A_2') V (A_1 . A_2): A proposição não é verdadeira, pois uma das opções propõe o circuito aberto;

11- (A_1' . A_2') V (A_1 . A_2'): Esta possibilidade apesar de não ser verdadeira (em uma das combinações o circuito vai estar aberto), pode ser entendida como uma tentativa de dissociação de fatores, pois propõe manter-se o resistor na sua posição de resistência mínima enquanto varia a posição de abertura e fechamento do circuito;

Questão para o protocolo da entrevista clínica: Como o circuito influencia no acendimento da lâmpada? Como você sabe disso?

12- (A_1' . A_2') V (A_1 . A_2') V (A_1 . A_2): Tal possibilidade não é verdadeira porque não pode ser executada para obter o resultado esperado (acendimento da lâmpada);

13- (A_1' . A_2') V (A_1' . A_2): Apesar da possibilidade não ser verdadeira, ela se presta a dissociação de fatores, pois propõe a variação do valor do resistor R1 enquanto o circuito estiver aberto;

Questão para o protocolo da entrevista clínica: Com o circuito aberto, qual é a influência do resistor R1 sobre a lâmpada? Como você sabe disso?

14- $(A_1' \cdot A_2')$ V $(A_1' \cdot A_2)$ V $(A_1 \cdot A_2)$: A proposição não é verdadeira porque, em duas combinações, o circuito estará aberto e o resultado esperado não irá acontecer;

15- $(A_1' \cdot A_2')$ V $(A_1' \cdot A_2)$ V $(A_1 \cdot A_2')$: A proposição não é verdadeira porque, em duas combinações, o circuito estará aberto e o resultado esperado não irá acontecer;

4.2.3.1 Protocolo preliminar experimento auxiliar

I- O aparato é apresentado ao sujeito buscando uma adequação de linguagem com relação aos termos usados para identificar os dispositivos do experimento;

II- Dá-se ciência sobre o acionamento dos dispositivos (clique sobre);

III- Inicialmente o experimento apresenta a barra condutora levantada (circuito interrompido) e a lâmpada apagada. Com isso, o amperímetro marca a posição “zero” miliamperes, o resistor R1 está na posição de máxima resistência elétrica e o voltímetro (ligado diretamente aos terminais da bateria) marca 12 Volts. Para conhecer os nomes de cada um dos componentes bastará o sujeito clicar sobre a cobertura de cor escura, logo abaixo dos dispositivos e a nomenclatura aparecerá por cerca de 10 segundos.

IV- A princípio são feitos alguns questionamentos para verificar a noção do sujeito sobre os conceitos de circuito, corrente, resistência e voltagem elétricas.

a. Por que a lâmpada está apagada? O que precisa ocorrer para que a lâmpada acenda? Como você sabe disso?

b. Existe alguma relação entre o valor apontado pelo amperímetro (zero mA) e o estado da lâmpada? Como você sabe disso?

c. Você conhece o aparelho que está acima da bateria? Ele mede qual grandeza física? Como você sabe disso?

d. Qual a função da bateria no circuito? Como você sabe disso?

V- Com a barra central levantada (circuito interrompido) e o botão de controle na cor verde, o sujeito é desafiado a manipular os dispositivos para obter o acendimento pleno da lâmpada (filamento e bulbo na cor amarela). Para tal, o botão do painel de controle deverá ser acionado para baixar a haste de cobre e “fechar eletricamente” o circuito, assim como diminuir o valor da resistência elétrica do resistor.

Após tais procedimentos, serão feitos os seguintes questionamentos:

- a. **Qual o procedimento para a lâmpada acender em amarelo?**
- b. **Você notou alguns objetos circulando quando a barra foi baixada e encostou nos terminais do circuito? Eles representam o quê? Possuíam um sentido determinado de deslocamento? Tal sentido é sempre o mesmo ou pode ser alterado? Como você sabe disso?**
- c. **Quando você clicou no resistor o que aconteceu com o valor dele? Isso teve alguma influência no circuito? Qual?**
- d. **Existe alguma relação entre a quantidade de objetos circulando pelo circuito e o acendimento da lâmpada? Como sabe disso?**
- e. **Existe alguma relação entre o valor do resistor e a quantidade de objetos que circulam no circuito? Como sabe disso?**
- f. **Existe alguma relação entre a bateria e o sentido de circulação dos objetos redondos (carga elétrica)? Qual é? Como sabe disso?**
- g. **Existe alguma relação entre a barra de cobre que é suspensa e o acendimento da lâmpada? Qual é? Como sabe disso?**
- h. **Qual a influência da bateria sobre o acendimento da lâmpada? Como você sabe isso?**

3.2.7 Experimento Oersted-Ampère

No século XVIII os físicos já procuravam uma implicação empírica capaz de relacionar a eletrostática com o magnetismo, em 1820 Hans Christian Oersted (1777-1851) percebeu a movimentação da agulha de uma bússola próxima a um fio condutor, conectado a uma bateria e percorrido por corrente elétrica (Figura 37). Como tal efeito de deflexão já era conhecido, mas causado pelo campo magnético de um ímã, concluiu-se que a corrente elétrica também produz campo magnético, originando o estudo do eletromagnetismo (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016).

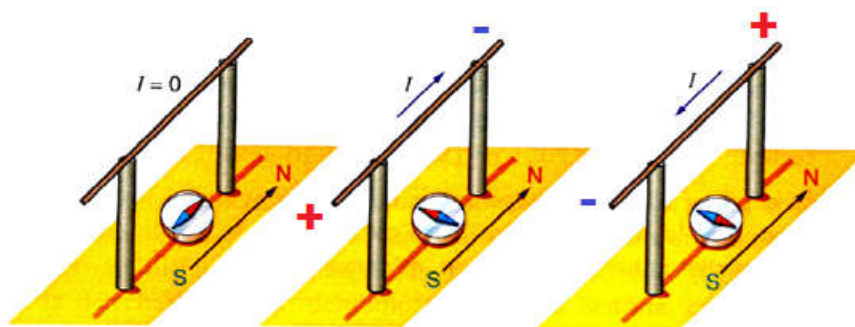
Figura 37 - A descoberta de Oersted



Fonte: Alamy (2020)

Oersted observou também a inversão na direção da deflexão da agulha, quando o sentido do fluxo de corrente elétrica no condutor era oposto ao anterior (Figura 38).

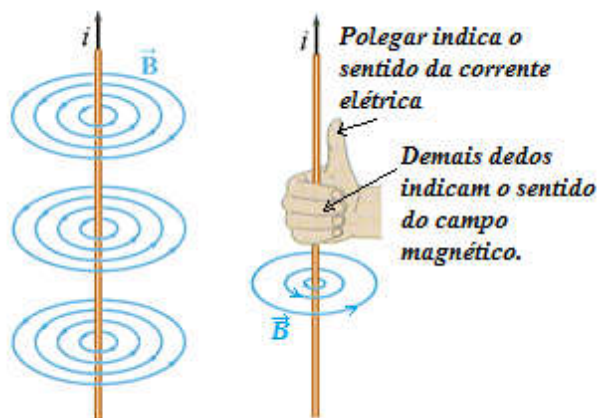
Figura 38 - Ponteiro de bússola influenciado por corrente elétrica



Fonte: Fernandes (2019)

Acrescente-se ainda a descoberta da forma do campo magnético (círculos concêntricos ao redor do condutor) cujo sentido pode ser indicado pelo norte da bússola ou através da regra da mão direita (Figura 39).

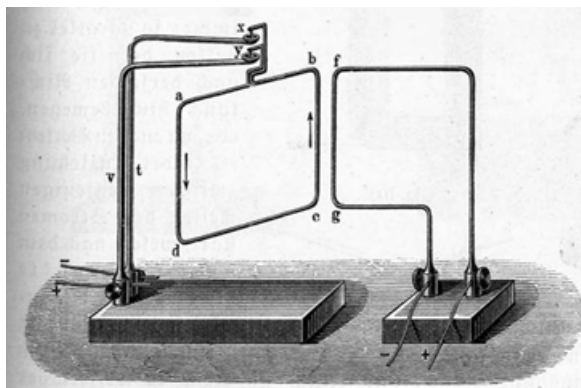
Figura 39 - Campo magnético concêntrico ao condutor



Fonte: UOL - Educação (2019)

A importância da construção dos conhecimentos abordados por Oersted adquire relevância devido a necessidade de compreensão dos diversos dispositivos tecnológicos atuais, desde um interruptor residencial até os computadores e aparelhos celulares. Com base na descoberta de Oersted, o francês André-Marie Ampère (1775-1836) apresentou em 1827 a lei de interação entre correntes elétricas, a qual demonstrou experimentalmente que os fenômenos de repulsão e atração magnética estavam associados também à circulação de corrente elétrica em condutores paralelos (Figura 40) (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016).

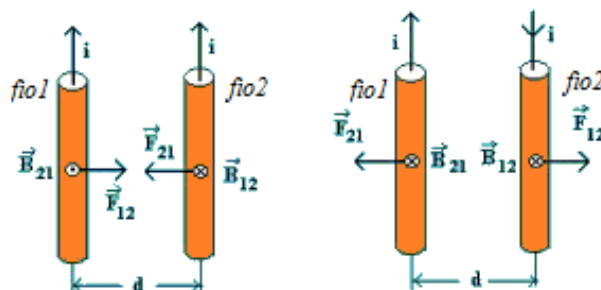
Figura 40 - Experimento de Ampère



Fonte: Electromagnetismo (2019)

Ampère empregou dois fios condutores retos, paralelos e próximos entre si, os quais sofriam atração quando percorridos por correntes elétricas de mesmo sentido ou repulsão quando os sentidos eram opostos (Figura 41) (YOUNG; FREEDMAN, 2016).

Figura 41 - Atração e repulsão entre condutores



Fonte: Diminoi (2019)

A explicação para o fenômeno encontra-se na premissa do surgimento de uma força magnética perpendicular à velocidade de uma carga de prova puntual²², quando imersa em um campo magnético. Como a corrente elétrica é formada por um fluxo de elétrons, estes sofrerão um desvio na trajetória da sua velocidade, caso o condutor esteja sob a ação de um campo magnético. Na Figura 41 os fios 1 e 2 estão próximos e são percorridos por corrente elétrica, com isso o campo magnético criado pela corrente no fio1 irá sensibilizar os elétrons da corrente que passa pelo fio 2 e vice-versa. Dessa forma, as forças magnéticas, ao desviarem a trajetória das cargas em movimento nos fios, provocarão aproximação ou afastamento entre eles, dependendo do sentido do campo magnético criado pela corrente circulante em cada fio (TIPLER; LLEWELLYN, 2014). Tal fato pode ser ensaiado no experimento virtual imersivo 3D apresentado na Figura 42, no qual espera-se desafiar o sujeito a construir o conceito responsável pela aproximação ou afastamento entre os dois condutores paralelos percorridos por corrente elétrica.

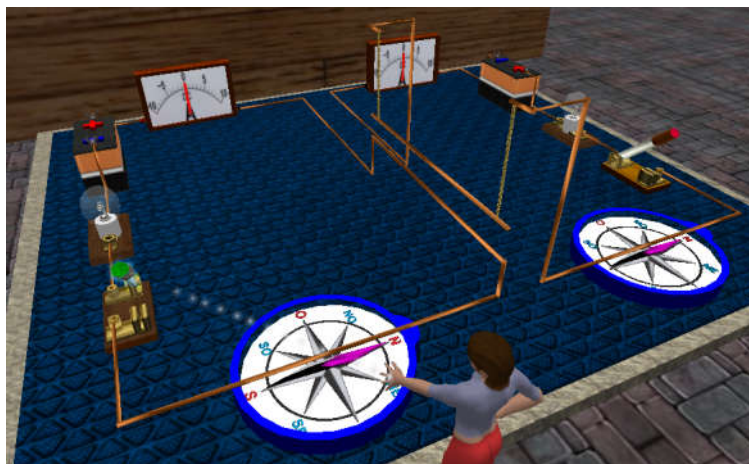
Os dispositivos criados foram os seguintes:

- a) (02) Bússolas: responsáveis pela sinalização da existência do campo magnético no condutor, através da deflexão do ponteiro. Indicam o sentido do campo magnético criado e, indiretamente, o sentido da corrente no condutor (regra da mão direita);
- b) (02) Lâmpadas: sinalizam a circulação de corrente elétrica no circuito;

²² Carga de prova definida como um corpo puntual, utilizado para detectar a existência de campo elétrico ou magnético.

- c) (02) Baterias: atuam como fontes de potencial elétrico contínuo, fornecendo energia para a circulação da corrente elétrica. Possuem a possibilidade de inversão da polaridade.
- d) (02) Interruptores tipo faca: determinam a interrupção ou a passagem da corrente elétrica no circuito;
- e) (02) Amperímetros DC: apresentam o valor e o sentido da corrente elétrica em cada circuito;
- f) (02) Condutores paralelos (fios 1 e 2): localizam-se no centro do aparato (um fixo e outro móvel) e são atraídos ou repelidos mutuamente conforme o sentido de circulação de corrente elétrica nos mesmos;

Figura 42 - Experimento conjunto Oersted-Ampère



Fonte: o autor

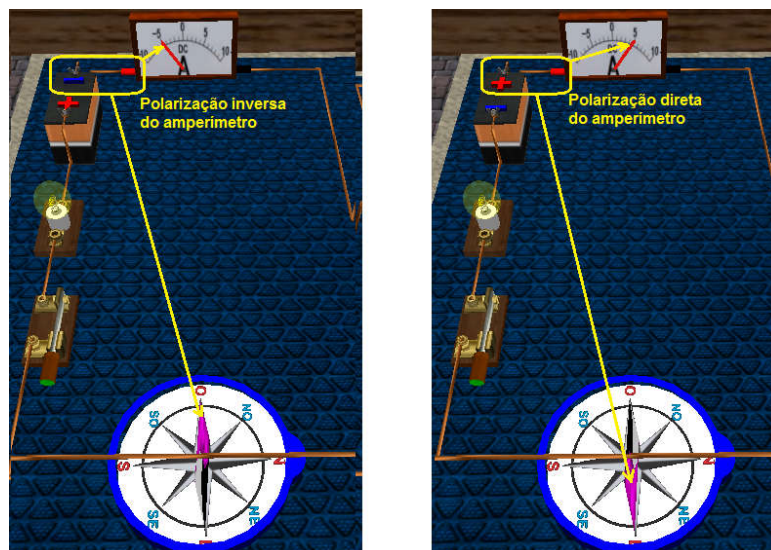
As ações progressivas e reversíveis, passíveis de conversão para operações pelo sujeito, apresentam-se no experimento através das seguintes transformações:

- a) Abertura ou fechamento dos interruptores ch1 e ch2, controlando a passagem de corrente elétrica pelo circuito;
- b) Inversão na polaridade das Baterias 01 e 02, pela alteração em 180 ° da posição horizontal das mesmas;
- c) Modificação em 90° na direção dos ponteiros das Bússolas 01 e 02, conforme o sentido da corrente circulando no respectivo condutor;
- d) Acendimento ou desligamento das lâmpadas 01 e 02, indicando a passagem ou a interrupção da corrente elétrica no respectivo circuito;

- e) Alteração da posição do ponteiro dos amperímetros indicando o sentido e o valor da corrente elétrica no respectivo circuito;
- f) Atração ou repulsão entre os fios 01 e 02, no centro do experimento, em acordo com os sentidos das correntes nos condutores;

O experimento completo é composto por dois circuitos independentes, cuja conexão apenas ocorre devido à interação entre os campos magnéticos nos condutores paralelos centrais (fios 1 e 2). Ele foi projetado para comportar dois tipos de ensaios: o de Oersted (pode ser simulado tanto no circuito da esquerda quanto no da direita) e o de Ampère (necessita de ambos circuitos). Para energizar os circuitos (circulação de corrente) basta clicar no correspondente interruptor (ch1 ou ch2) e dessa forma, acender a lâmpada e deflexionar tanto o ponteiro da bússola, quanto o do amperímetro. A Figura 43 representa a simulação do circuito da esquerda, mostrando o efeito da inversão de polaridade da bateria Bat1 sobre a deflexão do ponteiro da bússola 1 e sobre o sentido da corrente elétrica circulante.

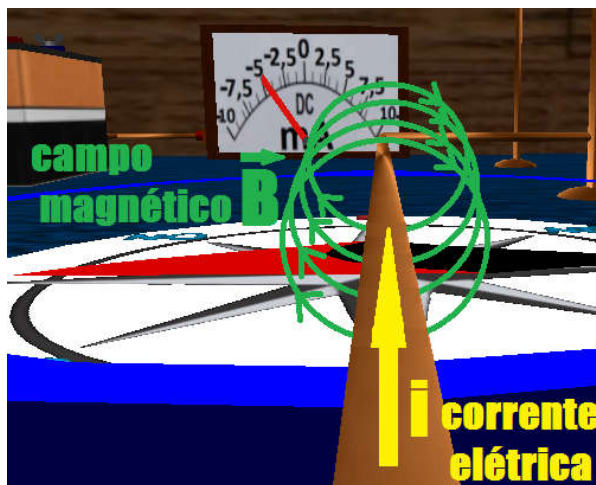
Figura 43 - Simulação do circuito esquerdo do experimento de Oersted-Ampère



Fonte: O autor

No âmbito geral, o ensaio de Oersted pretende possibilitar a construção do conceito de campo magnético ao redor de condutor energizado (Figura 44) e posteriormente, empregar tal conhecimento para compreender a razão pela qual os fios centrais se aproximam ou se afastam.

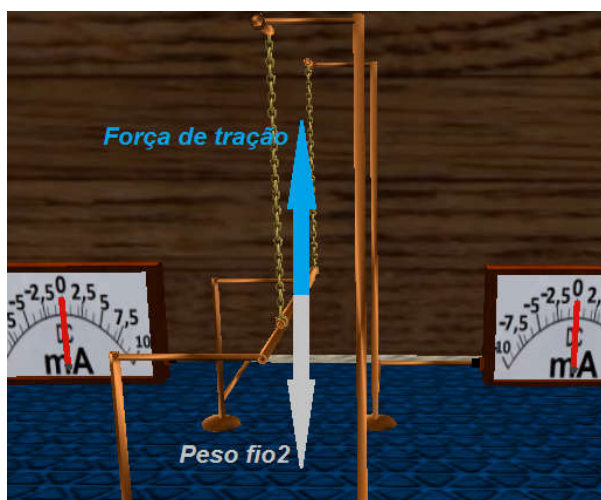
Figura 44 - Campo magnético orientando o ponteiro da bússola esquerda



Fonte: o autor

O equilíbrio do condutor suspenso (fio2) em repouso (sem a ação da força magnética) é constituído apenas pelo peso do condutor e pela força de tração da corrente metálica (Figura 45).

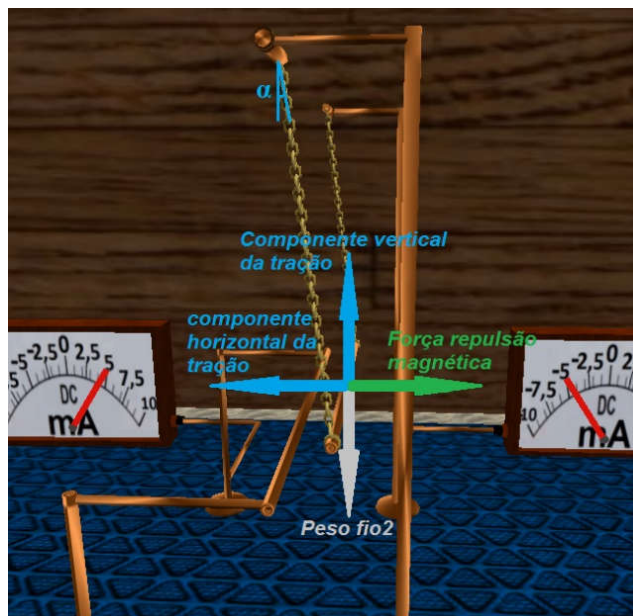
Figura 45 - Equilíbrio com fio2 em repouso



Fonte: o autor

Em termos do equilíbrio mecânico representar um sistema de dupla reversibilidade, isso ocorre quando os dois circuitos estão energizados e produzem uma interação entre os campos magnéticos presentes nos fios1 e 2.

Figura 46 - Sistema de forças na repulsão do fio2



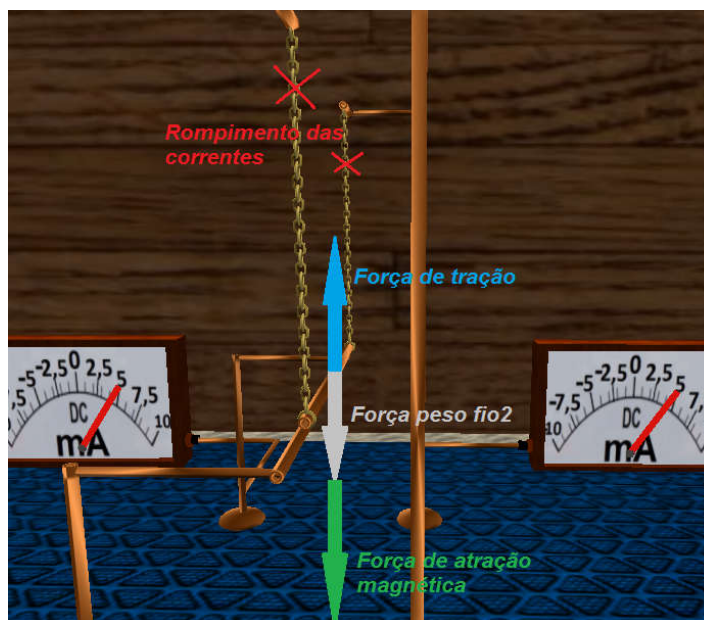
Fonte: o autor

Quando os sentidos das correntes elétricas são contrários, entra em cena a força de repulsão magnética e o conjunto permanece em equilíbrio devido a um sistema de forças composto, na direção horizontal, pela força de atração magnética (sentido para a direita) e pela componente da tração (sentido para a esquerda) e, na direção vertical, pelo peso do fio2 (sentido para baixo) e pela componente vertical da tração (sentido para cima) (Figura 46).

As componentes das forças de tração que sustentam o fio 2 são exercidas pelas correntes metálicas e surgem pela alteração da posição destas correntes em relação à direção vertical (ângulo α “alfa”). Com isso, a força de tração que antes atuava somente na vertical e para cima, agora se contrapõe ao peso do fio2 e à força de repulsão magnética.

Na Figura 47 os fios1 e 2 se atraem de maneira que o conjunto permanece em equilíbrio devido a um sistema de forças unicamente verticais: tração (sentido para cima) e peso do fio2 mais a força de atração magnética (ambas apontando para baixo). Esta situação é baseada na transformação correlativa (que nega a reciprocidade), pois caso a força magnética tivesse sua intensidade aumentada a um determinado patamar, poder-se-ia chegar ao ponto da impossibilidade da compensação pela força de tração, arrebatando a corrente.

Figura 47 - Possível desequilíbrio na atração do fio 2



Fonte: o autor

A partir da situação de equilíbrio do fio2, o sistema de dupla reversibilidade pode ser representado pelas seguintes transformações:

- I. DIRETA: Ação exercida pelo acionamento dos interruptores ch1 e ch2 para a circulação de corrente elétrica e interação magnética entre os fios1 e 2;
- II. INVERSÃO: Supressão da ação anterior pela abertura dos interruptores ch1 e ch2, impedindo a circulação de corrente e suprimindo a interação entre os campos magnéticos nos fios;
- III. RECIPROCIDADE: Compensação da força de repulsão magnética pela componente horizontal da força de tração;
- IV. CORRELAÇÃO: negação da ação anterior pela ação da força de atração magnética possuir a mesma direção e sentido da força peso do fio 2 e chegando ao ponto de exceder a força de tração, rompendo as correntes de sustentação;

Com o conhecimento das propriedades proposicionais da reversibilidade é possível construir o respectivo grupo INRC:

- 1) $I (F_{B1} \vee F_{B2})$ = operação direta, representa dois valores diferentes de força magnética repulsiva aplicada à barra móvel (causadas por campos magnéticos originados por dois valores diferentes de corrente elétrica).

- 2) $N(\sim F_{B1} \bullet \sim F_{B2})$ = operação inversa, devido a supressão dos efeitos de F_{B1} e F_{B2} .
- 3) $R(\sim F_{B1} \vee \sim F_{B2})$ = operação recíproca, devido a compensação dos efeitos de F_{B1} e F_{B2} , que ocorre entre a força de repulsão magnética e a componente horizontal da força de tração.
- 4) $C(F_{B1} \bullet F_{B2})$ = operação correlativa pela negação da recíproca (anulação dos efeitos contrários desta), quando o peso e a força de atração magnética possuem a mesma direção e sentido.

A coleta de dados com vista a seguir o pensamento do sujeito neste experimento foi realizada sob os preceitos de Delval (2002). Com isso, desenvolveu-se um protocolo básico para ser aplicado na entrevista clínica.

3.2.8 Protocolo preliminar

- I- O experimento virtual é apresentado e verifica-se a capacidade do sujeito em identificar os dispositivos presentes no circuito, para adequar a linguagem entre sujeito e entrevistador;
- II- Explica-se como acionar (basta “clique” sobre os mesmos) os dispositivos e qual a respectiva função no circuito;
- III- Com ambos circuitos inicialmente desativados, a simulação do experimento de Oersted inicia com o circuito da esquerda e depois o da direita.
 - a. **No circuito da esquerda existe algum contato físico do fio condutor com a bússola1? Como sabe disso?**
 - b. **Se você acionar o interruptor ch1 o que ocorre no circuito? Por quê?**
 - c. **O ponteiro da bússola vai apontar para que lado? Como você sabe disto?**
 - d. **Como fazer para o ponteiro mudar o sentido de deflexão? Como sabe disto?**
 - e. **Se a bússola1 for colocada próximo a outra parte do fio do circuito da esquerda, o comportamento será o mesmo? Teve um colega que falou que não.**
 - f. **De quantas maneiras podemos acionar o ponteiro da bússola1 no circuito da esquerda?**
 - g. **Se ch1 for desligado e ch2 for ligado, qual o comportamento da bússola2? Como você sabe?**
 - h. **Quais fatores influenciam na alteração da posição do ponteiro das bússolas?**

- i. **Quais os procedimentos para virar o ponteiro da bússola¹ para esquerda e o da bússola² para a direita?**
- j. **Você pode citar um tipo de situação parecida com o que ocorre com as bússolas? Como você sabe?**
- k. **O que precisa ocorrer para os ponteiros das bússolas serem movimentados? Como você sabe?**

- IV- Neste momento, iniciam-se os questionamentos sobre o experimento de Ampère;
- a. **Você ligou os circuitos um de cada vez, o que pode ocorrer quando os dois forem ligados ao mesmo tempo? Como você sabe?**
 - b. **Observe o condutor suspenso, quais os fatores físicos responsáveis pela estabilidade do condutor?**
 - c. **Se os circuitos forem ligados com as baterias em polaridade contrária o que pode ocorrer com os condutores centrais? Como você sabe?**
 - d. **Por que o condutor se afastou? Como você sabe?**
 - e. **Se você ligar e desligar um dos circuitos o que ocorre com o condutor? Por quê?**
 - f. **Se você desligar ambos os circuitos e depois ligá-los com a corrente elétrica da esquerda positiva e da direita negativa, o que ocorrerá com os condutores centrais? Por quê?**
 - g. **Para este mesmo caso, como ficarão os ponteiros dos amperímetros e das bússolas? Como você sabe?**
 - h. **Se o valor das correntes fosse aumentado o que ocorreria com os condutores centrais? Está certo disso? Um colega teu falou o contrário.**
 - i. **Se as duas correntes forem positivas ou negativas, qual será o comportamento dos condutores centrais? Como você sabe?**
 - j. **Com base no fenômeno observado, você pode citar outras aplicações para ele? Se você devesse produzir o mesmo fenômeno com outros dispositivos, quais deles usaria? Por quê?**

3.2.9 Experimento auxiliar de Oersted-Ampère

A motivação para o desenvolvimento deste experimento auxiliar (Figura 48) foi similar ao ocorrido com o experimento auxiliar sobre a Lei de Kirchhoff, ou seja, dificuldades no domínio de conceitos básicos de eletromagnetismo (campo magnético criado pela circulação de corrente elétrica em um condutor) quando das simulações do experimento de Oersted-Ampère.

Figura 48 - Experimento auxiliar Oersted-Ampère



Fonte: o autor

Embora a metodologia empregada tenha sido a mesma do experimento auxiliar anterior, optou-se por descrevê-la novamente, visto que os conceitos físicos e suas relações causais diferem do experimento auxiliar de Kirchhoff:

1) Determinação do conceito físico a ser trabalhado:

- Construção do conceito de campo magnético criado por corrente elétrica.

2) Dispositivos necessários ao experimento:

- Eletroímã (espiras envolvendo um núcleo metálico para intensificar o campo magnético criado e atrair objetos metálicos);
- Moeda metálica (objeto a ser atraído pelo campo magnético do eletroímã quando da circulação de corrente elétrica);
- Bateria de corrente contínua (gerador de energia para circulação de corrente elétrica);
- Interruptor (responsável por cortar a circulação de corrente elétrica);

- Lâmpada (indicador visual da passagem de corrente elétrica pelo eletroímã);
- Agulhas de bússolas (indicador visual do sentido do campo magnético criado ao redor do fio de cobre);

3) **Visualização do conceito físico:**

- Como elementos observáveis relacionados ao conceito trabalhado, encontram-se a atração da moeda pelo eletroímã, o acendimento da lâmpada, a orientação das agulhas das bússolas conforme o sentido do campo magnético, a indicação de sentido tanto da corrente elétrica quanto do campo magnético, de acordo com a regra da mão direita;

4) **Fatores influenciadores:**

- As ações reversíveis sobre os dispositivos são consideradas como os **fatores** responsáveis pela alteração da dinâmica do experimento, através da modificação das grandezas físicas presentes no experimento;
- Nesse caso, cita-se o fechamento e a abertura do interruptor (circulação ou corte da corrente elétrica) e a mudança na posição da bateria, produzindo uma inversão na sua polaridade, no sentido da corrente e do campo magnético ao redor do condutor;

5) **Resultado da influência dos fatores:**

- Aspecto relacionado a existência do campo magnético no eletroímã, como resultado da circulação de corrente elétrica.

6) **Combinação dos fatores:**

- Nesse ponto, são classificados e combinados os fatores capazes de influenciar o conceito em questão.
- A partir dos fatores, obtêm-se as classes: A_1 = circuito fechado, A_1' = circuito aberto, A_2 = Bat+-, A_2' = Bat-+.
 - a) Circuito ($A_1 + A_1'$)
 - b) Polaridade bateria ($A_2 + A_2'$)
- Quando multiplicadas entre si, apresentam as seguintes combinações:
 $(A_1 + A_1') \times (A_2 + A_2') = A_1A_2 + A_1A_2' + A_1'A_2 + A_1'A_2'$

Essas combinações podem ser executadas empiricamente pelo sujeito para coletar as seguintes informações:

- a) A_1A_2 : o circuito está fechado e a bateria está na polaridade + -, portanto a corrente elétrica possui sentido de cima para baixo no condutor próximo das

agulhas das bússolas, criando um campo magnético circular orientado no sentido horário;

- b) A_1A_2' : o circuito está fechado e a bateria está na polaridade - +, portanto a corrente elétrica possui sentido de baixo para cima no condutor próximo das agulhas das bússolas, criando um campo magnético circular orientado no sentido anti-horário;
- c) $A_1'A_2$: o circuito está aberto e a bateria está na polaridade + -, portanto não há corrente elétrica circulando nem um campo magnético criado;
- d) $A_1'A_2'$: o circuito está aberto e a bateria está na polaridade - +, portanto não há corrente elétrica circulando nem um campo magnético criado;;
- As operações ligadas às combinações estão atreladas ao pensamento concreto, pois representam as ações executadas na simulação. Quando o sujeito teorizar sobre os fatores e sua influência sobre o fato (resultado da simulação), estará configurada a utilização do pensamento formal.

7) Associação “n-por-n” da combinação dos fatores:

- As combinações obtidas pela multiplicação das classes do item anterior foram associadas em uma tabela-verdade organizando uma “rede” de operações proposicionais.

Tabela 04 - Tabela-verdade para 16 associações possíveis

Nº	Fatores combinados				Lógica proposicional advinda das associações
	$A_1'A_2'$	$A_1'A_2$	A_1A_2'	A_1A_2	
(16)	1	1	1	1	$(A_1' \cdot A_2') \vee (A_1' \cdot A_2) \vee (A_1 \cdot A_2') \vee (A_1 \cdot A_2)$
(15)	1	1	1	0	$(A_1' \cdot A_2') \vee (A_1' \cdot A_2) \vee (A_1 \cdot A_2')$
(14)	1	1	0	1	$(A_1' \cdot A_2') \vee (A_1' \cdot A_2) \vee (A_1 \cdot A_2)$
(13)	1	1	0	0	$(A_1' \cdot A_2') \vee (A_1' \cdot A_2)$
(12)	1	0	1	1	$(A_1' \cdot A_2') \vee (A_1 \cdot A_2') \vee (A_1 \cdot A_2)$

(11)	1	0	1	0	$(A_1' \cdot A_2') \vee (A_1 \cdot A_2')$
(10)	1	0	0	1	$(A_1' \cdot A_2') \vee (A_1 \cdot A_2)$
(09)	1	0	0	0	$(A_1' \cdot A_2')$
(08)	0	1	1	1	$(A_1' \cdot A_2) \vee (A_1 \cdot A_2') \vee (A_1 \cdot A_2)$
(07)	0	1	1	0	$(A_1' \cdot A_2) \vee (A_1 \cdot A_2')$
(06)	0	1	0	1	$(A_1' \cdot A_2) \vee (A_1 \cdot A_2)$
(05)	0	1	0	0	$(A_1' \cdot A_2)$
(04)	0	0	1	1	$(A_1 \cdot A_2') \vee (A_1 \cdot A_2)$
(03)	0	0	1	0	$(A_1 \cdot A_2')$
(02)	0	0	0	1	$(A_1 \cdot A_2)$
(01)	0	0	0	0	$\sim [(A_1' \cdot A_2') \vee (A_1' \cdot A_2) \vee (A_1 \cdot A_2') \vee (A_1 \cdot A_2)]$

- É importante analisar cada uma das possibilidades e verificar a validade para o resultado pretendido e a informação contida. As possibilidades 01(nenhuma opção é válida) e 16 (todas as opções são válidas) compreendem os extremos na tabela e foram descartadas.
 - 02- $(A_1 \cdot A_2)$: A geração do campo magnético ocorre pela junção dos fatores A_1 e A_2 , ou seja, com o circuito fechado e a bateria na polaridade + -;
 - 03- $(A_1 \cdot A_2')$: A geração do campo magnético ocorre pela junção dos fatores A_1 e A_2 , ou seja, com o circuito fechado e a bateria na polaridade - +;

- 04- $(A_1. A_2') \vee (A_1. A_2)$: Essa possibilidade indica que a criação do campo magnético independe da polaridade da bateria, bastando apenas que a mesma esteja inserida no circuito e o interruptor fechado;
- 05- $(A_1'. A_2)$: Essa possibilidade não é verdadeira pois indica que o campo magnético é criado mesmo com o interruptor aberto;
- 06- $(A_1'. A_2) \vee (A_1. A_2)$: Essa possibilidade não é verdadeira, pois dá a entender que o resultado ocorre independente do circuito estar aberto ou fechado, bastando apenas a bateria estar na polaridade + -;
- 07- $(A_1'. A_2) \vee (A_1. A_2')$: Essa possibilidade não é verdadeira devido a proposta de variação dos dois fatores ao mesmo tempo;
- 08- $(A_1'. A_2) \vee (A_1. A_2') \vee (A_1. A_2)$: Essa possibilidade não é verdadeira porque na primeira combinação o circuito estará aberto, impossibilitando a circulação de corrente e a conseqüente criação do campo magnético. As demais combinações estão corretas, mas o objetivo é ter uma visão do todo.
- 09- $(A_1'. A_2')$: Essa possibilidade não é verdadeira, pois parte da premissa do resultado ocorrer com o interruptor aberto;
- 10- $(A_1'. A_2') \vee (A_1. A_2)$: A proposição não é verdadeira, pois parte da premissa do resultado ocorrer com o interruptor aberto;
- 11- $(A_1'. A_2') \vee (A_1. A_2')$: Essa possibilidade, apesar de não ser verdadeira, pode ser entendida como uma tentativa de dissociação de fatores, pois propõe manter-se a bateria na polaridade - + enquanto varia a abertura e o fechamento do circuito;
- 12- $(A_1'. A_2') \vee (A_1. A_2') \vee (A_1. A_2)$: Tal possibilidade não é verdadeira porque uma das opções propõe a criação do campo magnético com interruptor aberto;
- 13- $(A_1'. A_2') \vee (A_1'. A_2)$: Apesar dessa possibilidade não ser verdadeira, ela se presta a dissociação de fatores, pois propõe a variação da polaridade da bateria com o circuito aberto;
- 14- $(A_1'. A_2') \vee (A_1'. A_2) \vee (A_1. A_2)$: A proposição não é verdadeira, pois em duas das combinações o circuito estará aberto e o resultado esperado não irá acontecer;

- 15- $(A_1' \cdot A_2') \vee (A_1' \cdot A_2) \vee (A_1 \cdot A_2')$: A proposição não é verdadeira, pois em duas das combinações o circuito estará aberto e o resultado esperado não irá acontecer;

8) Questionamentos criados a partir das possibilidades da tabela-verdade:

- Nesta etapa foram elaboradas questões (argumentação e contra-argumentação) empregando as informações extraídas das possibilidades da tabela-verdade. Elas orientaram a entrevista clínica no sentido de estimular o uso do pensamento formal.
 - 04- $(A_1 \cdot A_2') \vee (A_1 \cdot A_2) \square$ “Do que depende a inversão da posição das agulhas das bússolas? ”;
 - 06- $(A_1' \cdot A_2) \vee (A_1 \cdot A_2) \square$ “O que precisa ocorrer com circuito para que a moeda seja atraída e liberada várias vezes e, a cada atração, as agulhas das bússolas se orientarem no sentido horário? ”;
 - 11- $(A_1' \cdot A_2') \vee (A_1 \cdot A_2') \square$ “Na situação em que a moeda é atraída e solta várias vezes, com as agulhas se orientando no sentido anti-horário, o que ocorre com o experimento? Algum dispositivo está sendo testado? Qual e como você sabe disso? ”;
 - 13- $(A_1' \cdot A_2') \vee (A_1' \cdot A_2) \square$ “Na situação em que a moeda não é atraída a bateria passa de + - para - + várias vezes, com as agulhas se orientando no sentido anti-horário, o que ocorre com o experimento e algum dispositivo está sendo testado? Qual e como você sabe disso? ”;

9) Análise das respostas obtidas:

- Investigação do raciocínio empregado pelo sujeito a partir das situações-problema propostas, de forma a captar categorias capazes de indicar o esforço cognitivo.

3.3 Protocolo preliminar experimento auxiliar

I- O aparato é apresentado ao sujeito buscando uma adequação de linguagem com relação aos termos usados para identificar os dispositivos do experimento;

II- Dá-se ciência sobre o acionamento dos dispositivos (clique sobre);

III- Inicialmente, o experimento apresenta a moeda em repouso, logo abaixo do núcleo do eletroímã e as agulhas das bússolas na direção horizontal, apontando (lado vermelho) para

o Norte geográfico (sul magnético). O nome dos componentes aparecerá por cerca de 10 segundos se for clicado sobre a plataforma de cor azul-escuro, logo abaixo dos dispositivos.

IV- São feitos alguns questionamentos para verificar a noção do sujeito sobre os conceitos de circuito, corrente elétrica e campo magnético;

a. Por que a lâmpada está apagada? O que precisa ocorrer para que a lâmpada acenda? O que faz a lâmpada acender? Como você sabe disso?

b. Qual a função da bateria no circuito? Como você sabe disto?

c. Quando a lâmpada acender ocorrerá algo com a moeda? Como você sabe disso?

V- O sujeito é estimulado a manipular o interruptor e a bateria para observar o comportamento do circuito. Após, serão feitos os seguintes questionamentos:

a. O que lhe chamou a atenção no comportamento do experimento? Por quê?

b. Aconteceu algo com a lâmpada? Por quê? Como você sabe disto?

c. Aconteceu algo com a moeda? Por quê? Como você sabe disto?

d. Aconteceu algo com as agulhas das bússolas? Por quê? Como você sabe disto?

e. Do que depende a inversão da posição das agulhas das bússolas? Como você sabe disto?

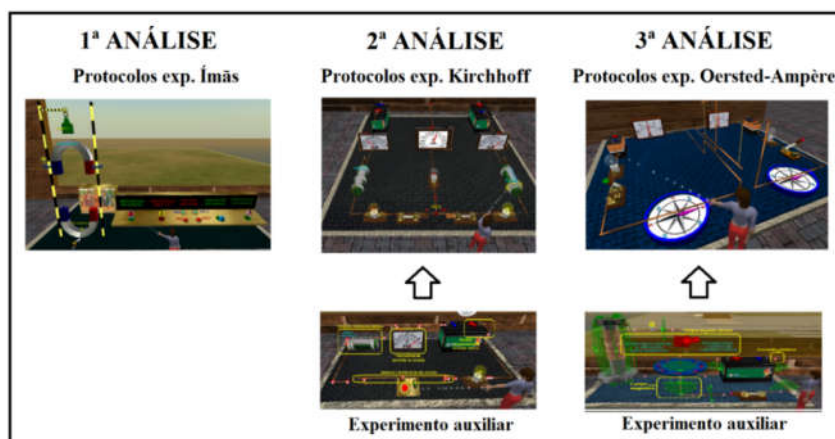
f. O que precisa ocorrer com circuito para que a moeda seja atraída e liberada várias vezes e, à cada atração, as agulhas das bússolas se orientarem no sentido horário? Como você sabe disso?

g. Na situação em que a moeda é atraída e solta várias vezes, com as agulhas se orientando no sentido anti-horário, o que ocorre com o experimento? Algum dispositivo está sendo testado? Qual e como você sabe disto?

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS

O capítulo apresenta o estudo e a discussão dos dados relacionados ao pensamento dos sujeitos durante as simulações. A sequência de análises está na Figura 49 e os protocolos transcritos estão disponíveis nos apêndices II, III e IV.

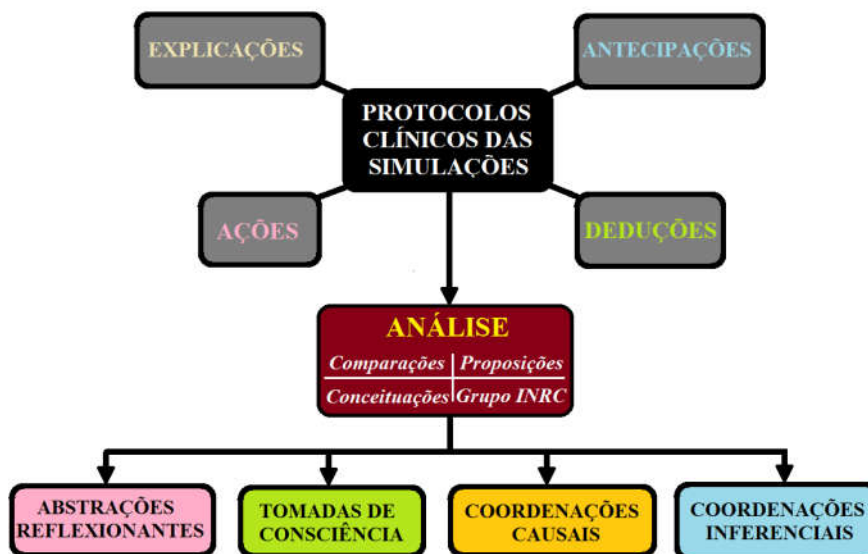
Figura 49 – Sequência de protocolos analisados



Fonte: o autor

A metodologia de exame dos registros de falas e ações dos sujeitos pode ser vista na Figura 50, a qual objetivou reconhecer e compreender o “esforço cognitivo” empreendido ao longo das simulações virtuais imersivas 3D (PIAGET; INHELDER, 1976).

Figura 50 – Fluxograma da análise dos protocolos



Fonte: o autor

- Experimento de Kirchhoff, página 190:

- O que é preciso fazer para apagar a lâmpada central? Ação → objeto *“Diminuir aqui (resistência direita) ou umentar aqui (resistência esquerda).” [...] - Por que a lâmpada apagou? *“As cargas se anulam aqui no meio de novo.”* - Por quê? *“A mesma força negativa que entra por aqui (nó B para o ramo central), a positiva entra pelo outro lado (nó A para o ramo central) aí se anulam. Como a carga não se divide para cá (ramo central) essa aqui (lâmpada direita) acende com toda a força.”**

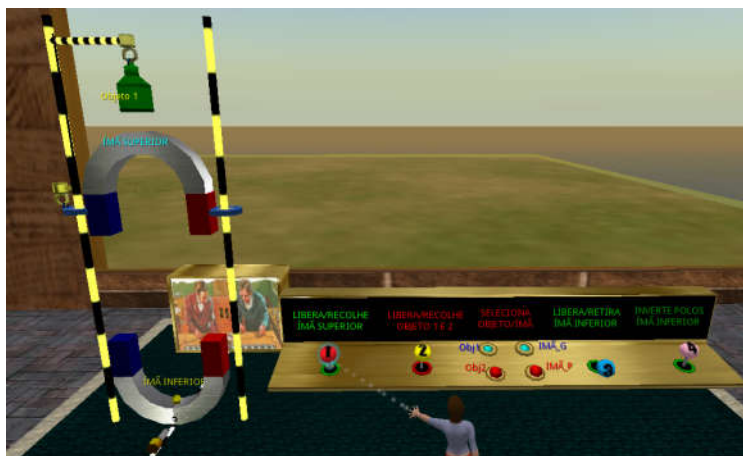
Coordenações inferenciais

A classificação dos elementos textuais dos protocolos ocorreu pelo grau de similaridade com o raciocínio típico de cada estrutura cognitiva, obedecendo um critério crescente de evolução, o qual iniciou pela abstração reflexionante, passou pela tomada de consciência, coordenação causal e terminou na coordenação inferencial. Apenas a de maior complexidade foi tabulada, ficando subentendidas as estruturas precedentes constantes no mesmo elemento textual. Por exemplo, quando da identificação de coordenações inferenciais, considerou-se a precedência de coordenações causais, tomadas de consciência e abstrações reflexionantes, em nível mais geral de análise, mas somente a forma final foi considerada, devido a necessidade de identificar a ocorrência nos gráficos das simulações.

4.1 Análise do experimento com Ímãs

O experimento (Figura 51) teve por base o equilíbrio estático do ímã superior, considerando a força de repulsão magnética em oposição aos pesos do ímã superior e dos objetos acima dele.

Figura 51- Simulação do experimento com ímãs



Fonte: o autor

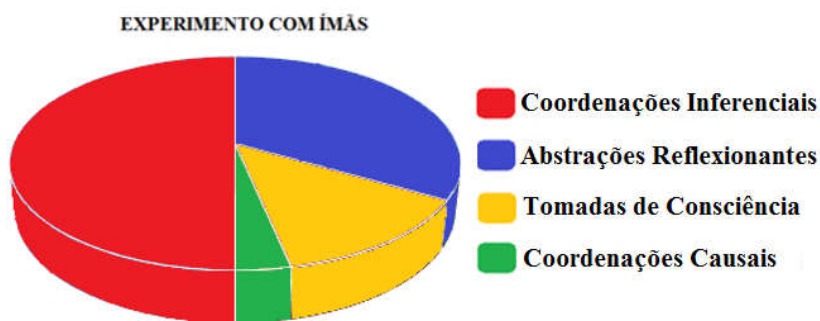
Os componentes do painel de controle, dos objetos 1 e 2 e dos ímãs superior e inferior tiveram seu funcionamento projetado em termos de ações reversíveis, passíveis de serem transformadas em operações cognitivas quando interiorizadas, as quais foram as seguintes:

- Liberação/recolhimento dos ímãs superior e inferior;
- Liberação/recolhimento dos objetos 1 e 2;
- Inversão na posição dos polos do ímã inferior.

Entre os dados de observação capazes de serem obtidos por abstração empírica, estavam as manipulações de alavancas de controle (coloridas e numeradas), os botões de seleção de ímãs e objetos, os objetos 1 e 2 (sobrepostos ao ímã superior), o ímã superior (percorrendo verticalmente duas hastes longas e não-metálicas) e o ímã inferior (retirado do armário e posicionado abaixo do ímã superior), a atração ou repulsão magnética conforme a posição relativa entre os polos dos ímãs superior e inferior. Por sua vez, entre os elementos não-observáveis (obtidos por abstração reflexionante) estavam o equilíbrio entre as forças de repulsão magnética e peso do ímã superior, a diferença entre as massas dos objetos 1 e 2 e seu efeito sobre a aproximação entre os ímãs em repulsão.

A Figura 52 apresenta o conjunto total das estruturas cognitivas identificadas nos protocolos do experimento com ímãs, dividido conforme a ocorrência de coordenações, abstrações reflexionantes e tomadas de consciência.

Figura 52 - Estruturas de pensamento relacionadas ao experimento com ímãs



Fonte: o autor

No estudo, houve predominância das coordenações inferenciais, seguida das abstrações reflexionantes, tomadas de consciência e, por último, coordenações causais. A seguir, serão visualizados os assuntos envolvidos nas estruturas identificadas.

A elaboração das coordenações inferenciais relacionou os seguintes tópicos, como mostra a Figura 53.

Figura 53 - Tópicos relacionados às coordenações inferenciais



Fonte: o autor

A seguir, são apresentados exemplos das falas e ações transcritas no protocolo do experimento.

I- Efeito da sobreposição ou retirada dos objetos 1 ou 2 de cima do ímã superior:

SUJEITO B: - Se o objeto 2 for posicionado em cima do ímã superior, o que acontecerá? *“Eu acho que vai forçar ele e o ímã vai descer.”* – Por que ele vai descer? *“Porque o objeto 2 está se sobrepondo ao ímã superior e o ímã superior vai descer por causa da força do objeto 2”*

SUJEITO D: - Quando o objeto 1 for recolhido o que acontecerá com o ímã superior? *“Ele vai subir de novo e daí vai ficar com a massa anterior e aí vai mexer no resultado das forças.”*

SUJEITO E: - Se for colocado sobre o ímã superior um objeto com uma massa maior que a do objeto 1, o que acontecerá? *“Se for de maior massa ele vai se aproximar, mesmo assim ele (ímã superior) não vai se juntar”* - Por que não vai se juntar? *“Porque a força dos ímãs não deixa eles se juntarem”*

SUJEITO F: - Selecionado o objeto 2, o que ocorrerá se o mesmo for posicionado sobre o ímã superior? *Ah... ele desceu um pouco mais* – Por que ele desceu mais? *“Se o ímã desceu mais a massa do objeto 2 tem de ser diferente do objeto 1, porque a gravidade se mantém, então ele tem de ser mais pesado.”*

II - Atração e repulsão entre os ímãs superior e inferior:

SUJEITO A: - E se a posição horizontal do ímã inferior for invertida, trocando os polos de posição, o que acontecerá quando o ímã superior foi liberado novamente? *“Eles vão se juntar.”*
 - Por quê? *“Por causa disso aqui (apontando para os polos do ímã inferior), é uma parte azul e uma parte vermelha, que se inverter vai ficar o contrário do outro e não vai fazer a mesma força que fez antes.”*

SUJEITO G: - O que vai acontecer quando o ímã superior for liberado? *“Se eu soltar o ímã de cima?”* - Sim. *“E aqui é um ímã também? (referente ao ímã inferior)”* - Sim. *“Ele vai cair, só que não vai encostar no ímã, no outro ímã ali totalmente.”* - Por quê? *“Porque são polos iguais... eles... eu não lembro a palavra exata agora, do que eu estudei... mas eles não se encostam.”*

III- Ação das forças para equilibrar o ímã superior quando abandonado para correr livre pelas hastes verticais:

SUJEITO D: - O que você pode dizer do estado do ímã superior, ele está em equilíbrio ou não? *“Hum...ele não está em movimento né...mas as ‘forcinhas’ dele, é como se tivesse uma para cima e outra para baixo. O ímã de cima tem uma força da gravidade que está se equilibrando com uma força magnética...de repulsão? É isso?”*

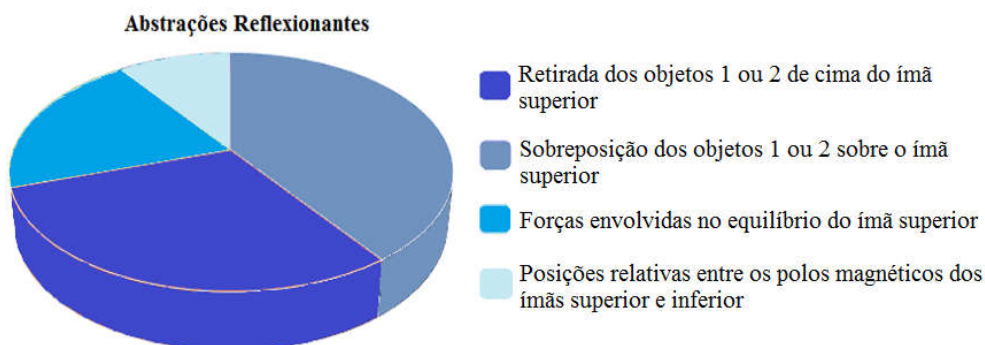
SUJEITO F: - Quando o objeto 1 foi posicionado sobre o ímã superior, o que aconteceu? *“O ímã desceu por isso”* - Por quê? *“A força peso do objeto 1, que tem sentido para baixo, venceu a força de repulsão entre eles né, por isso ele desceu.”* - Como você sabe disto? *“Porque é a resultante das forças né.”*

IV- Efeito da força da gravidade sobre o ímã superior:

SUJEITO B: Após algumas manipulações da alavanca número 1, colocando o ímã na posição inicial e soltando o mesmo para descer até o chão, o sujeito exclamou: *“Antes ele tava sendo segurado (pelo braço do ímã), quando ele é solto a gravidade puxa ele.”*

A próxima estrutura que se destacou nas simulações foram as abstrações reflexionantes e a Figura 54 apresenta os temas relacionados, seguido dos exemplos.

Figura 54 - Tópicos relacionados às abstrações reflexionantes



Fonte: o autor

I- Sobreposição dos objetos 1 ou 2 no ímã superior:

SUJEITO A: - Quando o ímã superior for liberado que efeito fará sobre este, a liberação do objeto 2? *“O ímã superior vai descer de novo e com o objeto 2 provavelmente vai descer mais do que antes.”* - Por quê? *“Porque ele apresenta ser mais pesado do que o outro.”*

SUJEITO B: - Há diferença entre o objeto 2 e o objeto 1? *“Sim objeto 1 é menor.”* - Se este objeto 1 for colocado sobre o ímã superior, o que acontecerá? *“Ele (ímã superior) vai descer.”* - Descer mais ou menos? *“Menos, porque o objeto 1 é menor que o objeto 2, precisaria de um objeto 3 maior pra fazer eles (os ímãs) se tocarem, estando com as pontas iguais.”*

II- Retirada dos objetos 1 ou 2 de cima do ímã superior:

SUJEITO D: - Quando o objeto 1 for recolhido o que acontecerá com o ímã superior? *“Ele vai subir de novo e daí vai ficar com a massa anterior e aí vai mexer no resultado das forças.”* - Como você sabe disso? *“Eu imagino que sim.”*

SUJEITO E: O objeto 1 é retirado. - O que aconteceu com o ímã superior? *“Como não tinha o peso do objeto 1 ele só se manteve na distância que um consegue se manter mais separado que o outro.”* - Antes o ímã superior estava mais embaixo ou mais em cima? *“Com o objeto 1 ele fica mais baixo”* - Com a retirada do objeto 1, o que aconteceu? *“Ele voltou a ficar mais distante, porque sem o objeto 1 essa é distância que eles se repelem”*

III- Forças envolvidas no equilíbrio do ímã superior:

SUJEITO E: - Quais são as forças que agem sobre o ímã superior? *“Tem a força gravitacional que está sendo aplicada aqui (aponta para o centro do ímã superior), a força que é aplicada para cima do ímã, para o objeto 1.”* - O ímã superior está em repouso? *“Sim está em repouso.”*

- Por quê? *“O porquê depende do referencial né? Em relação ao ímã superior, porque ele não está variando a distância entre o ímã de baixo”.*

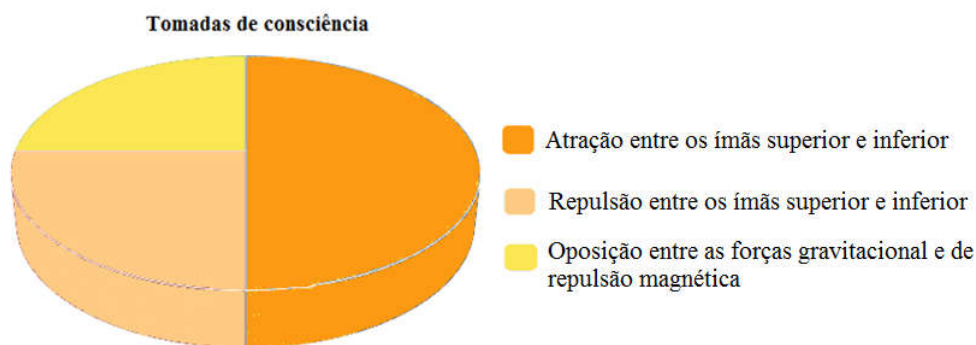
SUJEITO F: - Quando o objeto 1 foi posicionado sobre o ímã superior, o que aconteceu? *“O ímã desceu por isso”* - Por quê? *“A força peso do objeto 1, que tem sentido para baixo, venceu a força de repulsão entre eles né, por isso ele desceu.”* - Como você sabe disto? *“Porque é a resultante das forças né.”*

IV- Posições relativas entre os polos magnéticos dos ímãs superior e inferior:

SUJEITO G: - Se o ímã superior for recolhido à sua posição inicial e o ímã inferior tiver os polos invertidos e o ímã superior for solto, o que ocorre? *“Ele encosta, os ímãs se encostam.”*
- Por quê? *“Porque eles são polos diferentes.”*

No que concerne a elaboração de tomadas de consciência, a Figura 55 apresenta os tópicos envolvidos e, na sequência, exemplos de comprovação.

Figura 55 - Tópicos relacionados às tomadas de consciência



Fonte: o autor

I- Atração entre os ímãs superior e inferior:

SUJEITO B: – Se o ímã superior for liberado, o que acontecerá? *“Ele vai ficar no meio do caminho que nem antes”.* - Por quê? *“Porque agora com as pontas iguais eles têm a mesma força.”*

SUJEITO E: Os polos do ímã inferior são invertidos em relação ao do ímã superior. - O que acontece agora se o ímã superior for liberado? *“Vai acontecer a mesma coisa, eles vão se juntar.”* - O que aconteceu? *“Sim, eles estão com cargas diferentes”* - No caso, as cores ali dos extremos dos ímãs? *“Sim, agora eles se uniram, antes ele tinha uma distância com o objeto,*

essa distância diminuiu. Pela massa do objeto ele fez uma pressão e fez diminuir a distância, mas mesmo assim eles não se encontravam. Agora que inverteu os polos, ele se juntaram”.

II- Repulsão entre os ímãs superior e inferior:

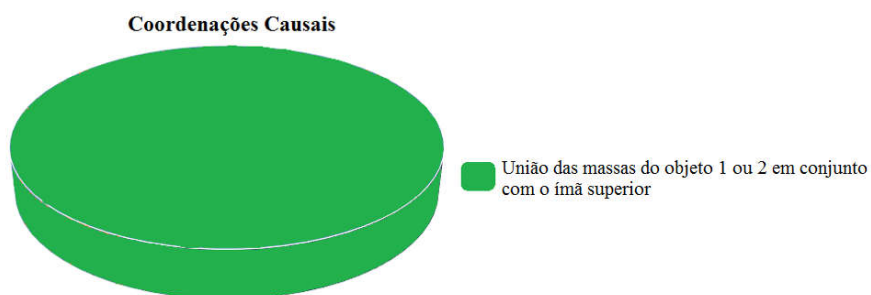
SUJEITO B: – Se fosse possível inverter os polos do ímã superior e ele fosse liberado, o que aconteceria? *“Eu acho que ele ia cair, encostar no inferior”* - Por quê? *“Porque os polos estão trocados.”*

III- Oposição entre as forças gravitacional e de repulsão magnética:

SUJEITO H: O ímã superior é liberado. - O que aconteceu? *“Hum...a distância... tá. Ele caiu um pouco, mas continuou repelindo. A força dos ímãs, ela é tão forte que faria ele subir.”* - Quais são as forças que estão agindo sobre o ímã superior nesse momento? *“A força gravitacional e a força magnética.”* Como você representaria estas forças? *“Mesma direção sentidos opostos.”*

IV- Por fim, a coordenação causal abordou o efeito da união das massas do objeto 1 ou 2 em conjunto com o ímã superior (Figura 56):

Figura 56 - Tópicos relacionados às coordenações causais

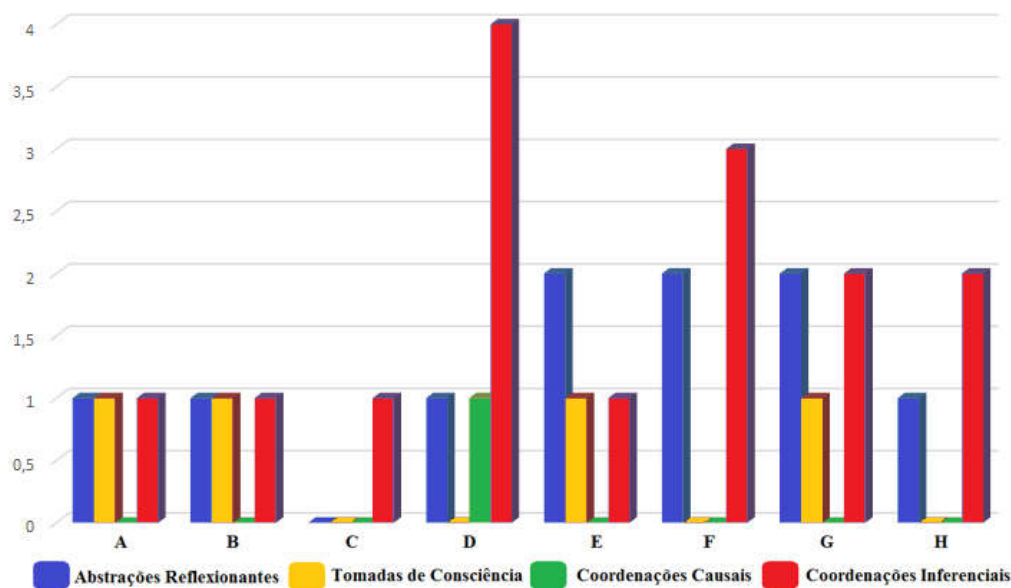


Fonte: o autor

SUJEITO D: - O que vai acontecer se o objeto 1 for colocado sobre o ímã superior? *“Ele vai ter uma força peso... (o sujeito não soube dizer o que esta força peso causaria no ímã superior).”* Então, o objeto 1 é posicionado sobre o ímã superior fazendo-o descer um pouco. – Por que isto aconteceu? *“No caso, ele aumentou a massa e em consequência o peso, aí ele aproximou do ímã de baixo.”* - Por que o ímã superior desceu? *“Porque ele ficou com a massa maior.”*

Com relação às estruturas empregadas durante as simulações, a Figura 57 apresenta um panorama do esforço cognitivo mobilizado pelos sujeitos.

Figura 57 - Esforço cognitivo relacionado ao experimento com ímãs



Fonte: o autor

As diferentes mobilizações cognitivas indicaram a diversidade de constituição mental dos sujeitos, resultado dos fatores destacados por Piaget (1977) como hereditariedade e maturação do sistema nervoso central, experiências físicas e lógico-matemáticas, transmissão social e a equilibração dos três fatores anteriores. A análise mostrou a execução de coordenações inferenciais por todos os sujeitos, a quase totalidade do emprego das abstrações reflexionantes, um conjunto mediano de tomadas de consciência e apenas uma coordenação causal. É importante ressaltar o provável uso implícito de abstrações, tomadas de consciência e coordenações à forma final identificada nos textos dos protocolos.

O fato da coordenação causal ter sido detectada, de maneira mais explícita, em apenas um sujeito não significa que somente este utilizou a estrutura, mas apenas que o elemento textual foi classificado como tal, ou seja, descreveu uma relação entre dois observáveis (ação e seu efeito) sem construir uma lógica para explicá-la e portanto, sem avançar até a coordenação inferencial.

A observação das coordenações inferenciais e abstrações reflexionantes indicou o fenômeno da sobreposição ou retirada dos objetos 1 e 2 do ímã superior como a principal fonte de dados

de observação (ação→efeito) do experimento (PIAGET, 1977). A preponderância das coordenações inferenciais indicou um movimento dedutivo de ultrapassagem dos dados de observação, devido a tomada de consciência da “necessidade” do incremento da massa posicionada sobre o ímã superior, para aumentar a aproximação com o ímã inferior, estando ambos em repulsão magnética.

Ocorreram também coordenações causais e abstrações reflexionantes envolvendo a compreensão do equilíbrio físico do ímã superior. Isto indicou um movimento em direção ao centro das ações e do objeto (efeito da ação), ligado ao sistema de dupla reversibilidade do Grupo INRC:

Sujeito D: - O que você pode dizer do estado do ímã superior, ele está em equilíbrio ou não? *“Hum...ele não está em movimento né...mas as ‘forcinhas’ dele, é como se tivesse uma para cima e outra para baixo. O ímã de cima tem uma força da gravidade que está se equilibrando com uma força magnética...de repulsão? É isso?”* Ao ver o objeto 1 ser retirado de cima do ímã superior e este subir até a posição inicial de repulsão o sujeito exclamou: *“Ah tá...”* – Por que ele subiu? *“Ele subiu como ele estava antes né? Tem a força peso dele, tem a força magnética que o outro exerce, deve estar a força peso dele igual a força magnética, ele está em equilíbrio aqui. E antes, a força peso dele aumentou, ele chegou até um certo ponto.”* - Se você pudesse colocar o dedo em cima do objeto 2 e fosse empurrando ele para baixo, o que ia acontecer? Por quê? *“Eu imagino enquanto eu tiver exercendo uma força maior, talvez ele possa se aproximar, mas ele sempre vai tentar exercer uma força em cima (contra) da minha mão.”*

Sujeito F: - Quando o objeto 1 foi posicionado sobre o ímã superior, o que aconteceu? *“O ímã desceu por isso”* - Por quê? *“A força peso do objeto 1, que tem sentido para baixo, venceu a força de repulsão entre eles né, por isso ele desceu.”* - Como você sabe disto? *“Porque é a resultante das forças né.”* O sujeito manipulou várias vezes a alavanca 2 para verificar a descida e a subida do ímã superior. *“Ah quando colocou, a força peso venceu a força de repulsão ali e aí ele desceu, quando tirou, a força de repulsão entre os dois foi maior, por isso que ele subiu.”*

As afirmações relacionam-se à “compensação” entre a força peso do ímã superior ou do conjunto (ímã + objeto 1 ou 2) e a força de repulsão magnética entre os ímãs, estando vinculadas simultaneamente às operações de inversão e reciprocidade, características do Grupo INRC (PIAGET, 1976).

4.2 Análise do experimento Kirchoff

A análise do processo de interação sujeito↔objeto relativo à simulação da Figura 58 foi realizada com base em aspectos observáveis e não-observáveis do experimento, os quais foram fundamentais para o emprego de estruturas de pensamento voltadas à assimilação e formação de conceitos.

As ações reversíveis implementadas no circuito foram:

- Abertura/fechamento do interruptor;
- Mudança de posição (polaridade) das baterias;
- Variação da resistência elétrica dos resistores.

Figura 58 - Simulação do experimento de Kirchoff



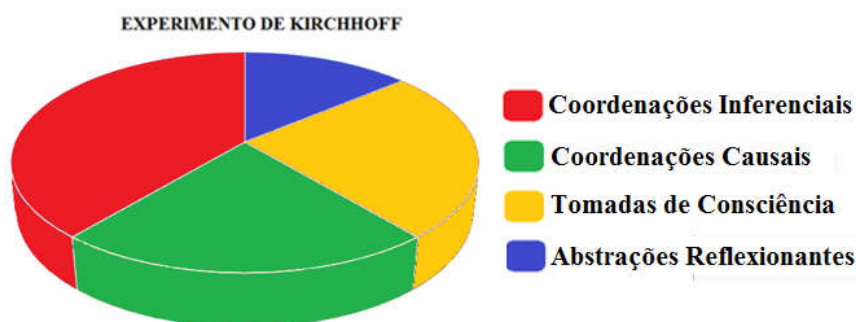
Fonte: o autor

Entre os elementos observáveis (extraídos por abstrações empíricas) estavam o acendimento das lâmpadas, o valor da corrente circulante nos ramos (leitura dos amperímetros) e as setas próximas do nó elétrico B (representação das correntes entrando e saindo do nó). Por sua vez, os aspectos não-observáveis (obtidos por abstrações reflexionantes) foram representados pela circulação de corrente elétrica nos ramos do circuito (inferida pelo acendimento das lâmpadas), o sentido de circulação das correntes no circuito (inferido através do sinal da corrente nos amperímetros), a subtração de correntes no ramo central (inferida pela situação da lâmpada e pela leitura dos amperímetros) e a conservação da carga elétrica nos nós

do circuito (inferida pelo comportamento das setas próximas ao nó B, em conjunto com a leitura dos amperímetros).

O conjunto total das estruturas cognitivas identificadas encontra-se na Figura 59, cuja divisão ocorreu de modo decrescente, a partir das coordenações inferenciais, coordenações causais, tomadas de consciência e abstrações reflexionantes.

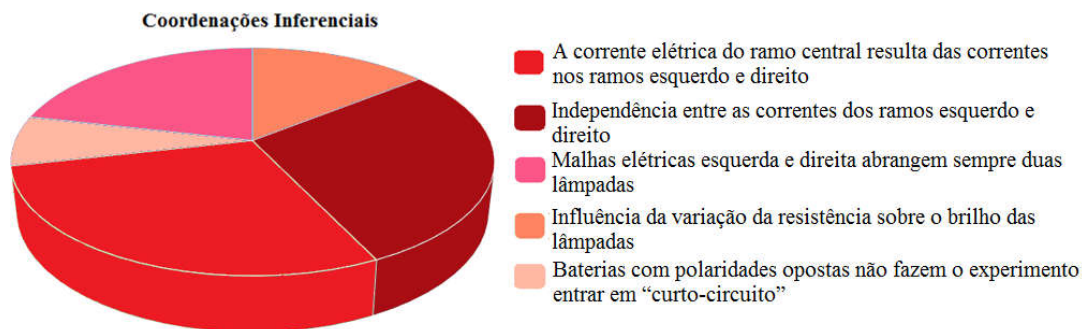
Figura 59 - Estruturas de pensamento relacionadas ao experimento de Kirchhoff



Fonte: o autor

Houve novamente a predominância das coordenações inferenciais, seguida de um crescimento das coordenações causais e tomadas de consciência, por último, as abstrações reflexionantes apresentarem-se em menor intensidade. A seguir, são visualizadas as estruturas e os assuntos correlatos, começando pelas coordenações inferenciais.

Figura 60 - Tópicos relacionados às coordenações inferenciais



Fonte: o autor

Na sequência, são apresentados elementos textuais envolvidos nos tópicos da Figura 60 e extraídos dos protocolos clínicos.

I- A corrente elétrica do ramo central é o resultado do somatório das correntes nos ramos esquerdo e direito:

SUJEITO I: A variação do resistor da esquerda consegue modificar a corrente no ramo direito? *“Acho que não.”* O sujeito então põe-se a verificar tal proposição. *“Não modifica nada.”* - Como você sabe disto? *“Por causa do amperímetro aqui, ele tá na mesma coisa (valor de corrente não varia).* - O resistor da direita consegue modificar a corrente na esquerda? *“Não, acredito que seja a mesma coisa.”* O sujeito efetua nova verificação. *“É só modifica a do meio (corrente no ramo central).”* Em meio às modificações dos valores dos resistores o sujeito exclama: *“Eu não sei explicar mas, parece que essa (corrente da esquerda) menos essa (corrente da direita) gera a do meio (corrente no ramo central).”*

SUJEITO J: O sujeito efetua o acionamento do interruptor esquerdo para testar a hipótese. - O que aconteceu? *“A do meio (lâmpada) deu curto, não... ah tá (concluiu algo). O positivo leva ao negativo (apontou o caminho do positivo da bateria da esquerda até o negativo da bateria da direita) e o positivo (bateria da direita) ao negativo (bateria da esquerda). Como aqui no meio (ramo central) positivo 2,5 e negativo 2,5 as correntes se anulam aqui no meio aí essa (lâmpada central) aqui não acende.”*

II- Independência entre as correntes dos ramos esquerdo e direito:

SUJEITO B: - Um colega seu falou que, nessa mesma situação, se for clicado no resistor da direita, as três lâmpadas vão acender em amarelo, você concorda com ele? *“As três ao mesmo tempo, quando eu baixar ele para o médio?”* (valor médio de resistência elétrica). *“Hum... Só se a força da direita passar para a esquerda.”* - Mas você concorda com ele? *“Não.”* - Por que não? *“Eu acho que não porque se esse aqui que é positivo afetasse o lado que é negativo, esse aqui (ramo esquerdo) não teria energia seria zero, nulo, esse aqui (ramo central) teria mais energia e esse outro aqui (ramo direito) teria mais também. O da direita ficaria com mais, o do meio ficaria com um pouco mais e o da esquerda ficaria nulo.”*

SUJEITO H: - O resistor da esquerda influencia na corrente da direita? *“Não.”* - Por que não? *“Por que eles estão em paralelo, não tão?”* - Você pode provar isso na prática? O sujeito manipula o resistor esquerdo observando o brilho da lâmpada direita: *“Não influencia.”* - E o resistor da direita influencia na corrente esquerda? O sujeito varia o resistor direito observando o brilho da lâmpada esquerda: *“Também não.”*

III- A composição das malhas elétricas esquerda e direita abrange sempre duas lâmpadas, sendo uma delas a lâmpada central:

SUJEITO H: - Se você fechar o interruptor da esquerda o que acontece? *“Eu acho que acende a da esquerda e a do meio.”* - Como você sabe disso? *“Porque a corrente vai passar na chave aqui (interruptor), aqui (nó B) ela vai se dividir vai acender a lâmpada, ela ia seguir pela direita, mas como tá aberto ela não vai.”*

SUJEITO J: - Se você fechar o interruptor da esquerda, qual lâmpada irá acender? *“A do meio e a da esquerda.”* - Por quê? *“Porque é onde fecha o circuito, ia entrar uma das cargas mas não ia até a outra. Ia entrar positivo mas não teria como chegar até o negativo.”*

IV- A influência da variação da resistência de um dos resistores sobre o brilho das lâmpadas:

SUJEITO A: - O que acontecerá se você alterar a posição do anel central do resistor da esquerda? *“Provavelmente vai diminuir o valor no ponteiro, mas as lâmpadas vão continuar ligadas.”* - Como você sabe disto? *“Eu não sei, sei lá... eu deduzi isto. Porque vai tá diminuindo a potência (resistência elétrica) mas não vai desligar as luzes. Elas podem ficar mais fracas talvez mas não vai desligar.”* - Não vai desligar por quê? *“Porque ela não tá desligada, ela tá ligada, só tá diminuindo a potência.”*

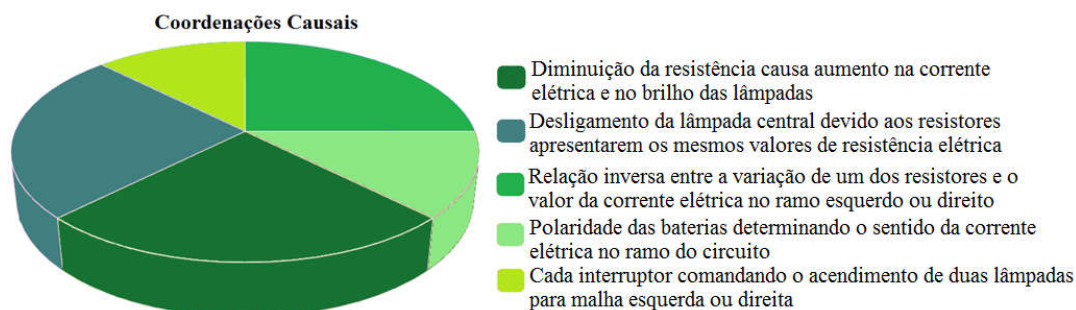
SUJEITO J: - Se você alterar a resistência do resistor esquerdo, o que acontece? *“Essa aqui (lâmpada da central) acende porque vai ter carga a mais, produzindo uma corrente que não se anula. E essas daqui (lâmpadas esquerda e direita) ficam mais fortes eu diria.”*

V- As baterias com polaridades opostas não fazem o experimento entrar em “curto-circuito”:

SUJEITO J: - O que aconteceu? *“A do meio (lâmpada) deu curto, não... ah tá (concluiu algo). O positivo leva ao negativo (apontou o caminho do positivo da bateria da esquerda até o negativo da bateria da direita) e o positivo (bateria da direita) ao negativo (bateria da esquerda). Como aqui no meio (ramo central) positivo 2,5 e negativo 2,5 as correntes se anulam aqui no meio aí essa (lâmpada central) aqui não acende.”*

Em ordem decrescente, a Figura 61 apresenta os tópicos relacionados com a elaboração das coordenações causais e, na sequência, são apresentados elementos textuais constantes no protocolo construído pela aplicação do método clínico.

Figura 61 - Tópicos relacionados às coordenações causais



Fonte: o autor

I- Diminuição da resistência causa aumento na corrente elétrica e no brilho das lâmpadas:

SUJEITO H: - Se você alterar o valor do resistor da esquerda o que acontece? O sujeito manipula várias vezes resistores esquerdo, observando o que ocorre no circuito. *“Se eu diminuir a resistência, em módulo, a corrente aumenta. Quando eu aumentei a resistência, a corrente diminuiu e a lâmpada diminuiu o brilho.”*

SUJEITO J: - Se você variar o resistor da direita, o que ocorre? *“Aumenta a corrente e o brilho das lâmpadas.”*

II- Desligamento da lâmpada central devido aos resistores apresentarem os mesmos valores de resistência elétrica:

SUJEITO G: Pede-se ao sujeito que modifique a resistência da esquerda. - O que aconteceu? *“Tá passando corrente no meio.”* - Por quê? O sujeito fica um tempo refletindo, mas não consegue elaborar uma hipótese para responder ao questionamento. Após modificar várias vezes as resistências de ambos resistores e visualizar o efeito nas lâmpadas o sujeito conclui: *“Quando elas estão na mesma posição (mesmo valor de resistência em ambos os resistores) elas não vão por três caminhos (sem corrente no ramo central) elas passam direto pela do meio. Quando estão em posições diferentes passa carga no meio.”*

SUJEITO H: - Se você variar a resistência de ambos os resistores qual será o comportamento do circuito? Após algum tempo manipulando os valores dos resistores e observando as lâmpadas. *“Claro, se eu minimizo um deles (resistores) só, é sinal que tá passando pouca corrente no outro, então vai...a lâmpada do meio vai dar uma aquecida, vai passar corrente. Agora se eu minimizar os dois ela vai ter um ‘curto’ (lâmpada apagada).”*

III- Relação inversa entre a variação de um dos resistores e o valor da corrente elétrica no ramo esquerdo ou direito:

SUJEITO H: - Observando o nó B e as três correntes, você consegue visualizar algum tipo de padrão? *“Se eu diminuo o valor da resistência o módulo da corrente está aumentando porque a flecha aumenta de tamanho.”*

SUJEITO J: - Se você variar o resistor da esquerda qual será o efeito? *“Ele aumenta corrente, tá diminuindo a resistência corrente aumenta.”*

IV- Polaridade das baterias determinando o sentido da corrente elétrica no ramo do circuito:

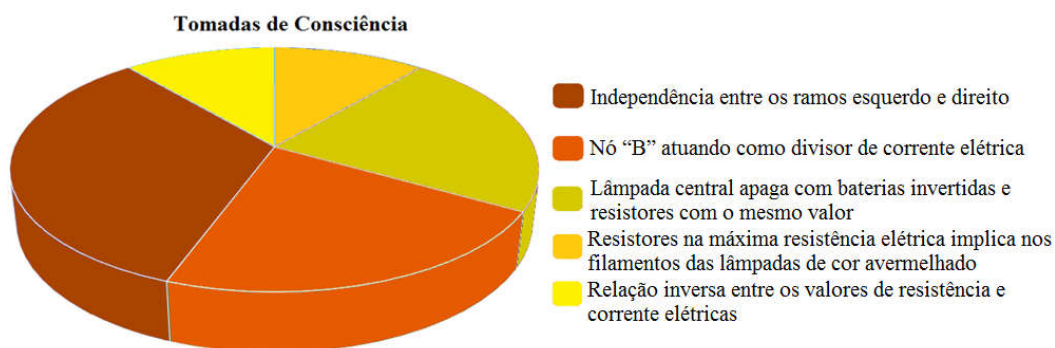
SUJEITO A: - Se você desligar o circuito da esquerda e ligar o da direita, o que acontece? *“Vai ligar essas duas lâmpadas.”* (do centro e da direita) - E vai marcar quanto no amperímetro? *“2,5...não, -2,5, porque ‘essa aqui’ (polaridade da bateria da direita) também tá igual a ‘essa’ (polaridade da bateria da esquerda), ela já tá invertida.”*

V- Cada interruptor comandando o acendimento de duas lâmpadas para malha esquerda ou direita:

SUJEITO D: - Se o interruptor for fechado, quantas lâmpadas vão acender? *“Vai acender só uma porque o circuito vai estar fechado aqui. Opa quer dizer uma não. Vai acender essas duas aqui (lâmpadas esquerda e central)”*.

Os tópicos envolvidos na elaboração das tomadas de consciência são apresentados em ordem decrescente na Figura 62 em conjunto com elementos textuais.

Figura 62 - Tópicos relacionados às tomadas de consciência



Fonte: o autor

I- Independência entre os ramos esquerdo e direito:

SUJEITO B: - Se você clicar no resistor da direita o que vai acontecer? *“O da direita ele vai aumentar mais ainda o número positivo e a lâmpada do meio vai acender. A corrente do meio vai ficar positiva vai passar para 2,5 e a lâmpada vai ficar vermelha talvez.”* - E a lâmpada da esquerda? *“A da esquerda...não vai acontecer nada.”* - Como sabe disto? *“Porque esse aqui (resistor) não afeta o lado da esquerda e o da esquerda não afeta o lado da direita, só afeta o meio.”*

SUJEITO G: - A modificação da corrente causada pelo resistor da direita altera a corrente ocasionada pelo resistor da esquerda? *“Não, só no centro.”* O sujeito então manipula várias vezes os resistores observando as correntes apresentadas nos amperímetros. *“Ambos mexem com o centro mas não entre um e outro.”*

II- Nó “B” atuando como divisor de corrente elétrica:

SUJEITO G: - O que tem que acontecer para lâmpada acender na cor laranja? *“Aumentar a resistência direita, aí a lâmpada direita vai apagar e a corrente está indo para esse lado vai toda para o centro, aí então eu consigo acender.”* Para testar sua hipótese o sujeito leva o resistor direito do seu valor mínimo para médio e ao verificar que a lâmpada do meio ainda não está na cor laranja, modifica novamente a resistência para o valor máximo atingindo o êxito pretendido. *“Ó eu diminuo a intensidade da corrente para cá (ramo direito) e distribuo ela para cá (ramo central), ele é tipo um distribuidor de corrente?”*

SUJEITO H: - Quem controla o acendimento da lâmpada do meio? *“O acendimento da lâmpada do meio, é o esquerdo. Se a resistência esquerda...onde está chegando a corrente, porque na outra ela tá saindo né. É que no nó B, quando eu diminuo lá a resistência esquerda, a corrente está chegando, então ele acende.”* (lâmpada do meio). *Agora, o resistor da direita, ele não tem nada a ver, porque a corrente já tá saindo aqui no nó B.* - A corrente do meio é mesma corrente da esquerda? *“Não né.”* - Por que não? *“Porque tem um nó aqui, dividiu a corrente né.”*

III- Lâmpada central apaga com baterias invertidas e resistores com o mesmo valor:

SUJEITO A: - Se os dois resistores forem colocados na mesma posição, o que vai acontecer? *“Vai ficar com a mesma medida eu acho.”* O sujeito ajusta ambos os resistores para máxima resistência e liga novamente os dois circuitos. - O que aconteceu? *“Ficou com a mesma medida e a lâmpada do meio não acendeu.”* - Por que da primeira vez não ficou do jeito que você

pensou? *“Por causa do resistor.”* - Então para que a lâmpada do meio não acenda o que tem que acontecer? *“Tem que estar com as baterias diferentes e os resistores iguais.”*

SUJEITO J: - Por que a lâmpada apagou? *“As cargas se anulam aqui no meio de novo.”* - Por quê? *“A mesma força negativa que entra por aqui (nó B para o ramo central), a positiva entra pelo outro lado (nó A para o ramo central) aí se anulam. Como a carga não se divide para cá (ramo central) essa aqui (lâmpada direita) acende com toda a força.”* - É somente nesta posição dos resistores que a corrente se anula? O sujeito que vai manipulando os resistores e respondendo. *“Basicamente quando os resistores forem iguais os dois lados estão com a mesma carga, o de cima positivo e o de baixo negativo, se as cargas forem iguais sempre se anulam.”*

IV- Resistores na máxima resistência elétrica implica nos filamentos das lâmpadas de cor avermelhado:

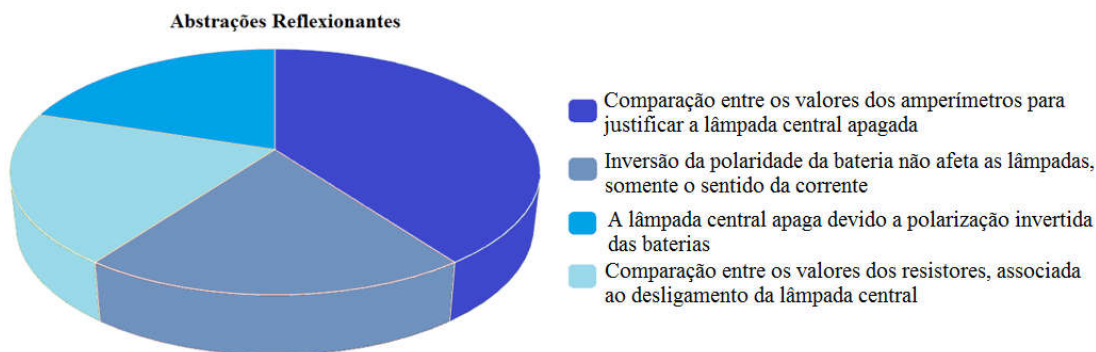
SUJEITO H: O interruptor da esquerda é fechado para testar a hipótese. *“Ninguém acendeu. Ah tá, mas é porque a resistência tá no máximo né.”* (referência ao filamento avermelhado das lâmpadas das pontas).

V- Relação inversa entre os valores de resistência e corrente elétricas:

SUJEITO I: - Se você variar o resistor da esquerda o que acontece? *“A corrente fica mais forte.”* - Por quê? *“Porque o resistor ficou menor, a resistência dele.”* O sujeito altera a resistência para o valor mínimo: *“Ficou mais forte ainda.”*

No que concerne às abstrações reflexionantes, os tópicos envolvidos são apresentados em ordem decrescente na Figura 63, seguido dos respectivos elementos textuais.

Figura 63 - Tópicos relacionados às abstrações reflexionantes



Fonte: o autor

I- Comparação entre os valores dos amperímetros para justificar a lâmpada central apagada:

SUJEITO B: O sujeito aciona o interruptor da direita para testar sua hipótese. - O que aconteceu? *“O da direita foi para 2,5, o do meio ficou em zero, e o da esquerda - 2,5.”* - Aconteceu alguma coisa com as lâmpadas? *“Elas apagaram.”* - Estão totalmente apagadas? *“Não. A da esquerda e a da direita ainda estão vermelhas aqui, acho que ainda estão ligadas.”* - E a do meio? *“Essa aqui não tá, essa aqui está nula.”* - Por que ela tá nula? *“Por que as forças são opostas? É que aqui deu -2 (amperímetro da esquerda) e aqui deu mais 2 (amperímetro da direita) e aí os dois em vez de se juntar, como são opostos deu zero, os dois se diminuíram e ficou em zero, nulo.”*

SUJEITO C: - O que vai ocorrer quando o interruptor esquerdo for acionado? *“Ele vai vir para 2,5 positivo (corrente no amperímetro esquerdo).”* O sujeito liga o interruptor esquerdo para testar sua hipótese. *“Ele deu uma carga e foi para 2,5 aqui”* (corrente no amperímetro esquerdo). - E o que mais? *“Ligou as duas luzes aqui (lâmpadas esquerda e direita com filamento avermelhado), os dois resistores estão no máximo, Ah tá. Aqui tá no positivo e aqui tá no negativo”.* - E o amperímetro do meio? *“Zerado, tá no zero.”* - Por quê? *“Porque aqui tão diferentes (correntes com polaridades opostas) e aqui tá um zero no meio para fazer a mediação.”*

II- Inversão da polaridade da bateria não afeta as lâmpadas, somente o sentido da corrente:

SUJEITO D: - Por que esta marcando negativo? *“O valor absoluto é igual, tá marcando 7,5 né.”* - Se você abrir o interruptor e inverter a polaridade da bateria, o que ocorrerá com as lâmpadas? *“Vai continuar a mesma coisa.”* - E com a corrente? *“Só vai mudar o sentido.”*

III- A lâmpada central apaga devido a polarização invertida das baterias:

SUJEITO J: - Considerando o circuito da direita já fechado e ambos os resistores no seu valor máximo, se você fechar circuito da esquerda, o que ocorre? *“Acendem as três lâmpadas.”* - Por quê? *“As baterias vão fazer a carga circular toda...Se bem que talvez entre em curto, talvez. Porque as cargas viriam para cá (nó A) e como os polos estão diferentes aqui (baterias com os polos invertidos) eu acho que entra no curto.”* - O que entra em curto? *“O circuito todo.”* - Por quê? *“A bateria (esquerda) no caso tem polo positivo e negativo, o polo positivo e ia sair e ia vir para cá (nó B), só que no caso ele pode vir para cá (sai do nó B e vai até o polo negativo da bateria direita) só que por aqui (ramos central) ia bater com o polo positivo do outro (bateria direita)...Não...tá, talvez...talvez não (o sujeito começa a analisar o possível caminho da corrente*

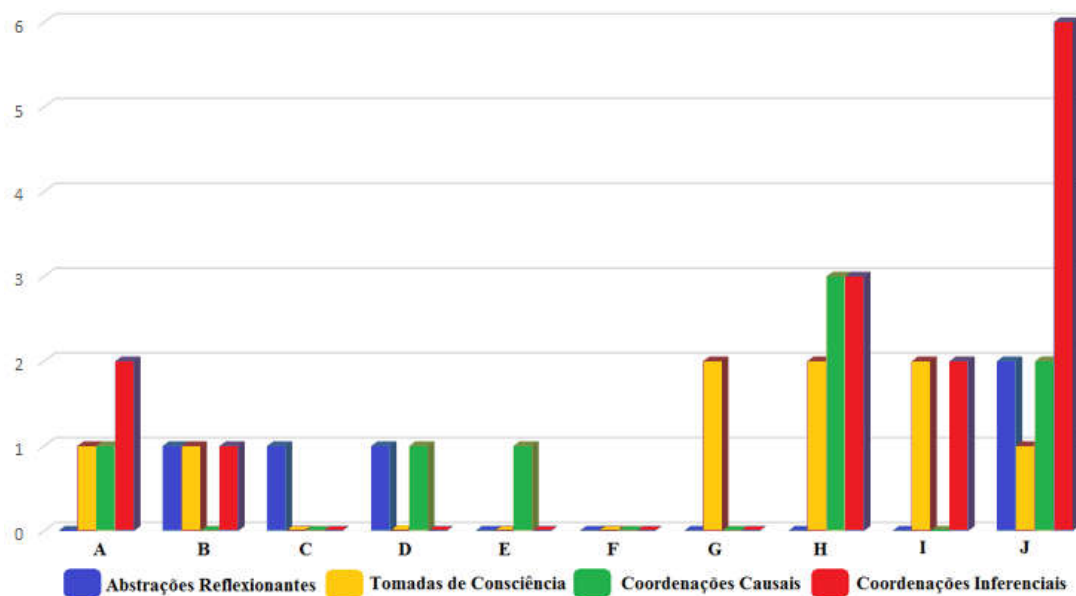
pela malha esquerda e pela malha direita até mudar de ideia). *Acho que funciona, pensando bem, eles estão em paralelo.*”

IV- Comparação entre os valores dos resistores, associada ao desligamento da lâmpada central:

SUJEITO J: - O que é preciso fazer para apagar a lâmpada central? *“Diminuir aqui (resistência direita) ou aumentar aqui (resistência esquerda).”* Para provar sua teoria o sujeito diminui o valor do resistor direito, até que esse seja igual ao do resistor esquerdo, quando então a lâmpada central apaga. - Por que a lâmpada apagou? *“As cargas se anulam aqui no meio de novo.”*

A Figura 64 apresenta um quadro geral das estruturas mobilizadas pelos sujeitos da investigação durante a simulação do experimento de Kirchhoff.

Figura 64 - Esforço cognitivo relacionado ao experimento de Kirchhoff



Fonte: o autor

Como a simulação do experimento de Kirchhoff não se mostrou tão intuitiva quanto a anterior (Ímãs) o esforço cognitivo dos sujeitos apresentou certa irregularidade na distribuição das estruturas pesquisadas. Com isso, as coordenações inferenciais e as tomadas de consciência apresentaram níveis maiores para os sujeitos que já haviam tido contato com a disciplina de Física III (eletromagnetismo). Por sua vez, as coordenações causais apresentaram uma

distribuição um pouco mais equânime, enquanto as abstrações reflexionantes não foram muito pronunciadas.

As coordenações inferenciais versaram mais enfaticamente os conceitos de “corrente elétrica no ramo central resulta das correntes nos ramos esquerdo e direito” e “as correntes nos ramos esquerdo e direito são independentes entre si”. A construção de uma lógica para explicar esses tópicos indicou a relevância dos observáveis projetados no circuito, indo ao encontro dos conceitos físicos sobre os quais o experimento foi elaborado. A maioria das coordenações causais abordou a “relação inversa entre a resistência elétrica e a intensidade da corrente e o brilho das lâmpadas nos ramos” e também o “desligamento da lâmpada da central ser fruto dos valores iguais de resistência elétrica”. Isto apontou para o êxito da ação reversível sobre o valor dos resistores e do *feedback* imediato dos resultados (leitura da corrente nos amperímetros e observação da intensidade luminosa das lâmpadas).

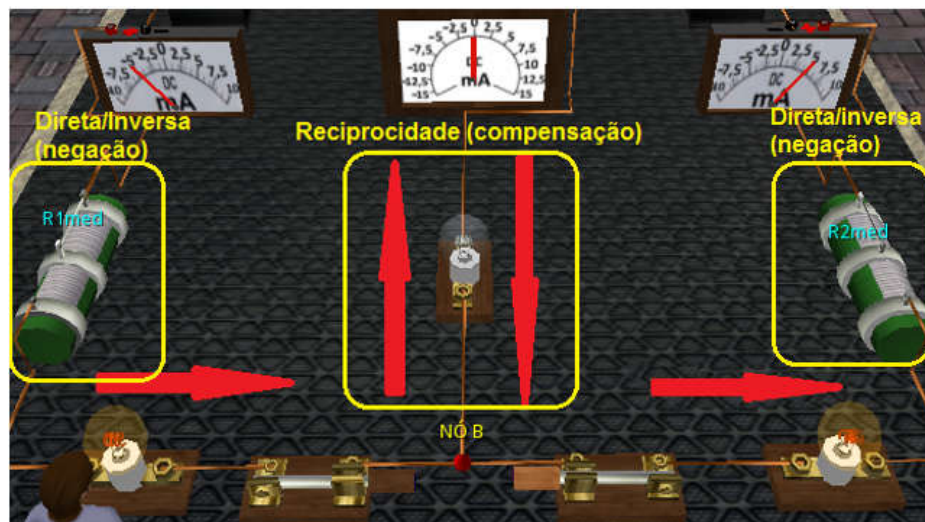
Apesar das estruturas cognitivas identificadas serem diferenciadas pelo seu caráter evolutivo, o material textual dos protocolos revelou conceituações similares entre elas, por exemplo: nas abstrações reflexionantes, tomadas de consciência e coordenações causais esteve presente a ideia dos “valores iguais de resistores influenciar no desligamento da lâmpada central”. A “inversão de polaridade das baterias não afetar o brilho das lâmpadas, mas somente o sentido da corrente elétrica” apareceu como abstração reflexionante e coordenação causal. A “relação inversa entre resistência e corrente elétricas” apareceu como tomada de consciência e coordenação causal. A “independência entre os ramos esquerdo e direito do circuito” surgiu como tomada de consciência e coordenação inferencial. Assim como, o fato de “cada malha possuir duas lâmpadas comandadas por apenas um interruptor” e “a variação da resistência afetar a intensidade da corrente elétrica e o brilho das lâmpadas” assumiram a forma de coordenação causal e inferencial. O fato de conceitos similares estarem presentes em estruturas diversas pareceu refletir diferentes patamares de entendimento dos observáveis pelos sujeitos.

Alguns relatos tangenciaram o raciocínio relativo à estrutura cognitiva de dupla reversibilidade do grupo INRC (Figura 65). As afirmações ocorreram no sentido de compreender o desligamento da lâmpada central através de uma “compensação” (operação de reciprocidade) entre as correntes elétricas provenientes das malhas esquerda e direita, cujos sentidos de circulação seriam opostos no ramo central.

As operações direta e inversa foram representadas pelas ações de incremento e decremento das resistências dos resistores esquerdo e direito, com a conseqüente variação na intensidade da corrente elétrica do respectivo ramo. A operação correlativa ocorreu quando as correntes

elétricas no ramo central, estivessem com o mesmo sentido de circulação, ocorrendo uma negação da ação de reciprocidade.

Figura 65 - Grupo INRC no experimento de Kirchoff



Fonte: o autor

SUJEITO H: Após algum tempo manipulando os valores dos resistores e observando as lâmpadas. *“Claro, se eu minimizo um deles (resistores) só, é sinal que tá passando pouca corrente no outro, então vai...a lâmpada do meio vai dar uma aquecida, vai passar corrente. Agora se eu minimizar os dois ela vai ter um ‘curto’ (lâmpada apagada).”* [COORDENAÇÃO CAUSAL]

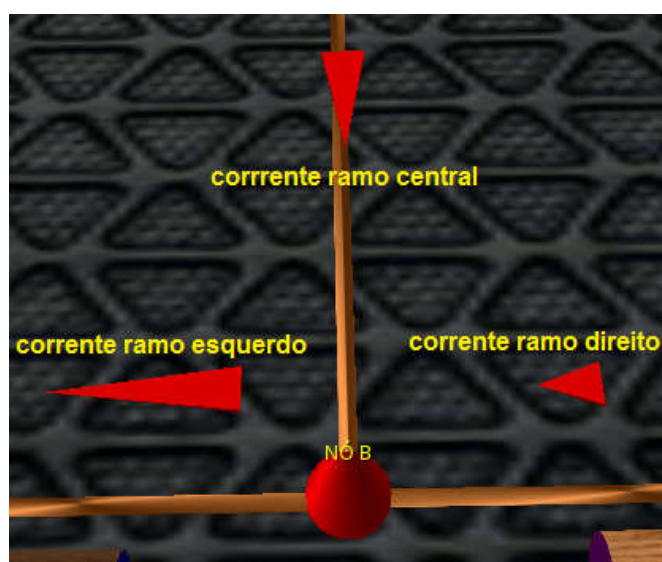
SUJEITO I: - Se você modificar as resistências o que ocorre com o circuito? *“Quando o resistor tá no mínimo e o outro no máximo, a corrente passa por aqui (ramo central) e se os dois estão iguais a corrente não passa, vai diminuindo.”* Em meio às modificações dos valores dos resistores o sujeito exclama: *“Eu não sei explicar mas, parece que essa (corrente da esquerda) menos essa (corrente da direita) gera a do meio (corrente no ramo central).”* [COORDENAÇÃO INFERENCIAL]

SUJEITO J: - O que é preciso fazer para apagar a lâmpada central? *“Diminuir aqui (resistência direita) ou aumentar aqui (resistência esquerda).”* Para provar sua teoria o sujeito diminui o valor do resistor direito, até que esse seja igual ao do resistor esquerdo, quando então a lâmpada central apaga. - Por que a lâmpada apagou? *“As cargas se anulam aqui no meio de novo.”* - Por quê? *“A mesma força negativa que entra por aqui (nó B para o ramo central), a positiva entra pelo outro lado (nó A para o ramo central) aí se anulam. Como a carga não se divide*

para cá (ramo central) essa aqui (lâmpada direita) acende com toda a força.” - É somente nesta posição dos resistores que a corrente se anula? O sujeito que vai manipulando os resistores e respondendo. “Basicamente quando os resistores forem iguais os dois lados estão com a mesma carga, o de cima positivo e o de baixo negativo, se as cargas forem iguais sempre se anulam.” [COORDENAÇÃO INFERENCIAL]

A modificação do experimento principal pelo acréscimo de observáveis relacionados ao nó B (Figura 66) auxiliou na compreensão do mecanismo de subtração de correntes e na função elétrica do nó, conforme as falas dos seguintes sujeitos:

Figura 66 - Dados de observação do nó B



Fonte: o autor

SUJEITO E: *“Quando eles (resistores) estão na mesma posição elas (corrente elétrica) não vão por três caminhos elas passam direto pela do meio (sem corrente no ramo central). Quando estão em posições diferentes, passa carga no meio.”* [ABSTRAÇÃO REFLEXIONANTE].

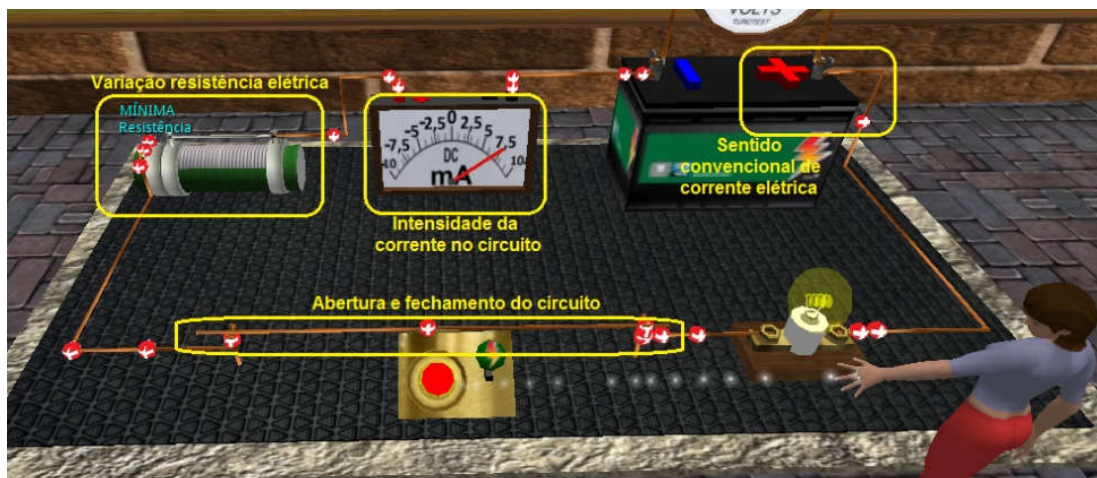
SUJEITO G: *“Quando eu tô mexendo somente na resistência da esquerda, a corrente entra no ramo central e acende a luz. Quando eu mexo na resistência da direita, boto ela pro médio e pro mínimo, para de passar corrente pro centro, passa só entre as duas malhas. Ó, eu diminuo a intensidade da corrente pra cá (ramo direito) e distribuo ela para cá (ramo central), ele (nó B) é tipo um distribuidor de corrente?”* [TOMADA DE CONSCIÊNCIA]

SUJEITO H: *“Se eu diminuo o valor da resistência o módulo da corrente está aumentando porque a flecha aumenta de tamanho.”* Houve também uma aproximação da função do nó B. -

A corrente do meio é mesma corrente da esquerda? “Não né.” - Por que não? “*Porque tem um nó aqui, dividiu a corrente né.*” [TOMADA DE CONSCIÊNCIA]

A simulação do circuito auxiliar (Figura 67) pareceu influenciar a experiência física e lógico-matemática dos sujeitos, contribuindo para a construção de inferências empregadas na assimilação do experimento principal.

Figura 67 - Dados de observação do experimento auxiliar



Fonte: o autor

Como exemplo, cita-se o caso do Sujeito D ao analisar o experimento de Kirchhoff: - Se o interruptor da esquerda for fechado o que acontece? “*Seu baixar aqui (interruptor) ele vai circular até aqui (lâmpada central) e aqui (lâmpada esquerda) essas duas lâmpadas né*”. Enquanto o sujeito fala, vai circulando a malha da esquerda com o cursor do mouse. “*Nesse aqui (malha esquerda) tu não pode botar os elétrons de bolinha? A gente tem a tendência de imaginar né. Agora já tô aprendendo, tu já tá me ‘adestrando’.*” A declaração denotou a consciência do sujeito sobre a evolução da sua capacidade de compreender o experimento.

4.3 Análise do experimento Oersted-Ampère

O experimento virtual imersivo de Oersted-Ampère (Figura 68) envolveu princípios básicos de eletromagnetismo clássico, como a geração de campo magnético em condutor percorrido por corrente elétrica e a atração ou repulsão entre os campos magnéticos ao redor de condutores paralelos.

Figura 68 - Simulação do experimento de Oersted-Ampère



Fonte: o autor

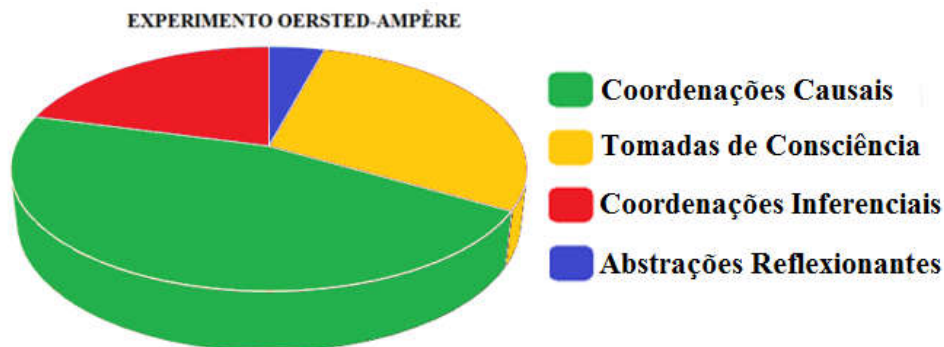
As ações reversíveis desenvolvidas no experimento foram:

- Abertura ou fechamento dos interruptores;
- Inversão na posição (polaridade) da bateria;

Entre os aspectos observáveis estavam o acendimento das lâmpadas, o valor da corrente circulante nos circuitos (mostrado nos amperímetros), a movimentação do ponteiro das bússolas e o afastamento ou aproximação entre os condutores paralelos (localizados no centro do aparato). Por outro lado, os elementos não-observáveis (endógenos) passíveis de serem obtidos por abstrações reflexionantes, o sentido de circulação da corrente elétrica (interpretação do sinal da corrente elétrica nos amperímetros e/ou polaridade das baterias), a existência e o sentido do campo magnético ao redor dos condutores (fornecido pela movimentação do ponteiro das bússolas) e a interação entre os campos magnéticos nos condutores paralelos (causando afastamento ou aproximação).

As estruturas cognitivas identificadas durante a simulação podem ser visualizadas na Figura 69, cuja divisão ocorreu de modo decrescente a partir das coordenações causais, tomadas de consciência, coordenações inferenciais, e abstrações reflexionantes.

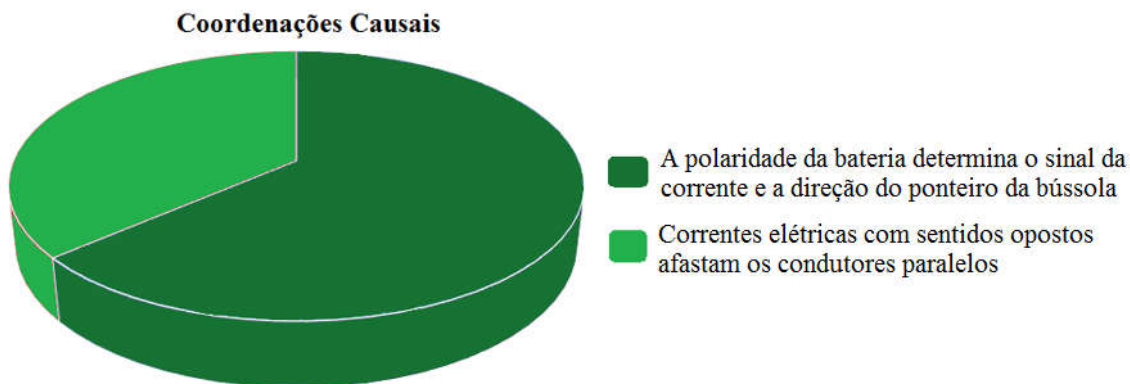
Figura 69 - Estruturas de pensamento do experimento de Oersted-Ampère



Fonte: o autor

Em relação às simulações anteriores, houve um crescimento das coordenações causais e tomadas de consciência, ao contrário das coordenações inferenciais e abstrações reflexionantes, as quais apresentaram substancial diminuição. A seguir, serão visualizadas as estruturas e os assuntos correlatos, começando pelas coordenações causais.

Figura 70 - Tópicos relacionados às coordenações causais



Fonte: o autor

Na sequência, são apresentados elementos textuais dos protocolos envolvidos nos tópicos da Figura 70.

I- A polaridade da bateria determina o sinal da corrente e a direção do ponteiro da bússola:

SUJEITO A: - O que faz o ponteiro da bússola se mexer? *“Por causa da energia, para que lado ela está no medidor (amperímetro).”* O sujeito não especifica a natureza da energia a qual

se refere, apenas que ela parece ter um sentido e um valor. *“Se ela tá menos que zero ela vai para esquerda, se ela tá mais, vai para direita.”*

SUJEITO D: - Se você inverter a bateria, o que acontece? *“Acredito que vai inverter, vai inverter a bússola também (o ponteiro).”* - Por que que vai inverter a bússola? *“Mudou a direção das cargas.”*

SUJEITO E: - Qual é o sentido da corrente no circuito da esquerda? *“Eu acho que ele é anti-horário. Vai passar na bússola de Sul para Norte.”* O sujeito liga o interruptor esquerdo e confere que se hipótese estava correta. - O que mais surgiu quando você acionou o interruptor? *“O campo magnético.”* - Qual foi a função deste campo magnético? O sujeito passa então a ligar e desligar o interruptor do circuito esquerdo observando o comportamento do ponteiro da bússola. *“Bom, ambos (campo magnético e corrente elétrica) a luz vai ligar (ocorrem quando a bateria é ligada).”* *“O sentido mudou.”* - Sentido do que? *“Sentido da corrente.”* - Mudou por quê? *“Porque eu invertei a bateria. Antes tava de Sul para Norte agora tá de Norte a Sul.”*

SUJEITO H: - O que acontece quando você inverte polaridade da bateria? *“Inverte o sentido da corrente, inverte o campo também e a agulha passa a apontar para o Oeste.”*

II- Correntes elétricas com sentidos opostos afastam os condutores paralelos:

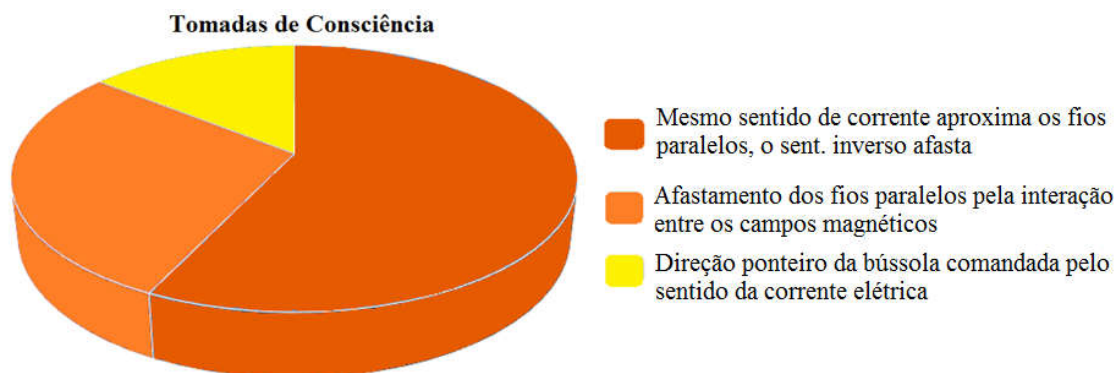
SUJEITO A: - Se você abrir os dois circuitos inverter as duas baterias o que vai ocorrer? *“Onde está positivo vai ficar negativo.”* - E os condutores paralelos? *“Vão ficar a mesma coisa (afastados).”* O sujeito é incentivado a realizar a ação para verificar a veracidade da hipótese. *“É, a mesma coisa.”*

SUJEITO E: - O que você deve fazer no circuito para que os condutores se afastem? *“Mudar o sentido da minha bateria, da minha carga (corrente elétrica). As baterias estão no mesmo sentido Ó. Se eu inverter alguma delas, a corrente passa em caminhos opostos o distanciamento é maior (repulsão).”* Se você desligar algum dos circuitos por que os condutores voltam a se aproximar? *“Porque deixou de passar corrente num deles.”*

SUJEITO F: - O que acontece para os condutores se afastarem? *“Se eles estiverem em sentidos opostos eles se afastam, se tiver mesmo sentido eles se aproximam.”* O sujeito está fazendo referência ao sentido de deslocamento da corrente elétrica nos condutores paralelos.

SUJEITO G: - Se você inverter a bateria do circuito direito, o que acontece? Sujeito executa a ação. *“Eles se aproximaram, porque os campos têm a mesma direção (sentido).”* *“As correntes estão gerando os campos, se estiverem na mesma direção ele se aproximam e se estiverem em direções opostas eles se afastam.”*

Figura 71 - Tópicos relacionados às tomadas de consciência



Fonte: o autor

Na sequência, são apresentados elementos textuais envolvidos nos tópicos da Figura 71, constantes no protocolo construído pela aplicação do método clínico.

I- Mesmo sentido de corrente aproxima os condutores paralelos, mas sentidos inversos os afasta:

SUJEITO A: - O que ocorre se você fechar novamente interruptor direito? *“Ele (condutor suspenso) vai ir para trás, vai ficar mais longe do outro fio.”* - Por quê? *“Porque vai ter uma energia puxando ele.”* - De onde vem essa energia? *“Da bateria.”* O sujeito aciona novamente o interruptor direito e os fios se afastam. *“Hum, quando uma positiva e outra negativa eles se afastam.”*

SUJEITO E: Quando o sujeito liga o circuito da direita os condutores se afastam. - Para ele se afastarem tem que acontecer o quê? *“As cargas precisam estar em sentidos diferentes. Daí os campos magnéticos vão ter diferentes sentidos. Quando for o mesmo sentido eles se aproximam, quando estão em sentidos opostos eles se separam.”*

SUJEITO H: Se você ligar os dois circuitos o que ocorre com os fios paralelos? *“Não faço ideia.”* O sujeito executa a ação e observa o resultado da mesma sobre os condutores paralelos. *“Ok eles se repeliram. A corrente está no sentido oposto...ah tá. (O sujeito conclui algo). As correntes estão em sentidos opostos, então as cargas estão em sentidos opostos.”*

SUJEITO H: - Se você inverter a bateria do circuito direito, o que acontece? *“Vai afastar, eu acho, de novo.”* Após executar o previsto: *“Não, puxou mais. Mesmo sentidos estão se atraindo.”*

II- Afastamento dos fios paralelos pela interação entre os campos magnéticos:

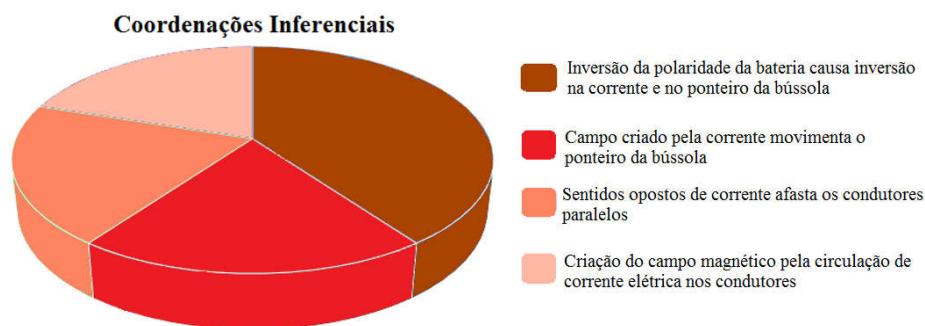
SUJEITO A: - Considerando esta mesma situação, as baterias dos circuitos com polaridades opostas, se você abrir interruptor da direita o que ocorre com os condutores paralelos? O sujeito abre e fecha o interruptor algumas vezes, observando o fenômeno resultante. *“Ah, se eu abro ele, o fio fica mais perto do outro fio.”* - O que ocorre se você fechar novamente interruptor direito? *“Ele (condutor suspenso) vai ir para trás, vai ficar mais longe do outro fio.”* - Por quê? *“Porque vai ter uma energia puxando ele.”* - De onde vem essa energia? *“Da bateria.”*

SUJEITO B: Com as baterias em “contra-frase” o sujeito liga os dois circuitos e observa os fios se afastando. - O que aconteceu? *“Nos condutores paralelos, um deles já ficou meio ‘elevadinho’ (afastou-se do outro), uma bússola aponta para o leste e outra para o Oeste.”* O sujeito desliga o circuito da direita e verifica os condutores se aproximam e quando volta a ligar o circuito eles se afastam novamente. *“Ele gerou um campo magnético.”*

III- Direção do ponteiro da bússola comandada pelo sentido da corrente elétrica:

SUJEITO E: Após mais algumas verificações o sujeito exclama: *“Tá diferente também, o sentido do campo também.”* - Qual o resultado disto para a agulha da bússola? *“Faz ela se mover de uma direção para outra.”* Após mais algumas manipulações e observações o sujeito conclui: *“Ela (ponteiro da bússola) vai ficar sempre de Oeste para Leste”* (a direção do ponteiro da bússola, o sentido ser alternado para leste ou para o Oeste.) - O que é necessário fazer então, para comandar o sentido do ponteiro da bússola? *“Depende da polaridade da bateria e do sentido da corrente.”*

Figura 72 - Tópicos relacionados às coordenações inferenciais



Fonte: o autor

Na sequência, são apresentados elementos textuais envolvidos nos tópicos da Figura 72, constantes no protocolo construído pela aplicação do método clínico.

I- Inversão na polaridade da bateria causa inversão no sentido da corrente elétrica e na posição do ponteiro da bússola:

SUJEITO D: - Se você inverter a bateria, o que acontece? *“Acredito que vai inverter, vai inverter a bússola também (o ponteiro).”* - Por que que vai inverter a bússola? *“Mudou a direção das cargas.”*

SUJEITO G: - Se você inverter a posição da bateria, ocorre algo com a agulha da bússola? *“Sim ela vai inverter.”* O sujeito então executa a inversão na busca da comprovação da hipótese criada. *“Ela foi para o lado contrário que estava antes.”* - Por quê? *“Porque agora a corrente está vindo desta posição (Sul para Norte) e antes vinha da outra” (Norte para o Sul).*

II- Campo magnético criado pela corrente elétrica movimentou o ponteiro da bússola:

SUJEITO H: O sujeito aciona o interruptor para testar sua hipótese. - Por que a bússola mexeu? *“Ele cria um campo uniforme e aí, no caso, empurra em 90 graus (agulha da bússola), no caso ficam as forças perpendiculares ao ponteiro da bússola.”*

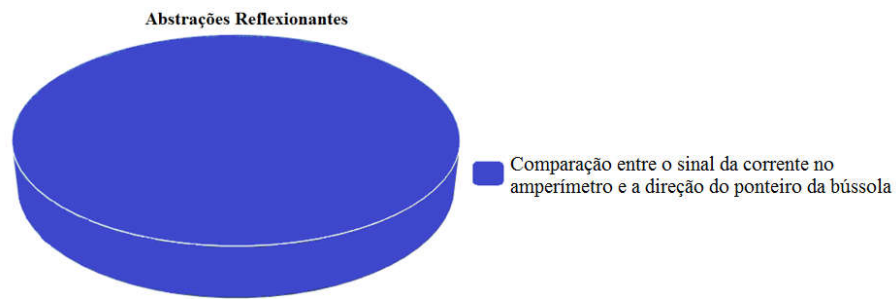
III- Sentidos opostos de corrente elétrica causa afastamento dos condutores paralelos:

SUJEITO B: - Por que os condutores se afastaram? *“Vai ter campo magnético na volta dos dois condutores daí eles vão tentar se afastar.”* - Em termos de sentido de corrente? *“Um tá no positivo outro no negativo, sentidos opostos, só que aí o campo (magnético) eu não me lembro mais.”*

IV - Circulação de corrente elétrica nos condutores origina campo magnético em volta dos mesmos:

SUJEITO D: O sujeito então, inverte a polaridade da bateria e aciona novamente o interruptor. - O que aconteceu? *“A bússola (o ponteiro) foi do Norte para o Oeste.”* - O que comanda o ponteiro da bússola? *“O campo magnético.”* - O que comanda o campo magnético? *“O campo elétrico?”* - O que está gerando o campo magnético? *“O campo elétrico porque quando eu ligo o interruptor, eu vou acender a lâmpada que acende a bateria. Então, eu acredito que sejam as cargas elétricas que vão passar pelo circuito.”*

Figura 73 - Tópicos relacionados às abstrações reflexionantes



Fonte: o autor

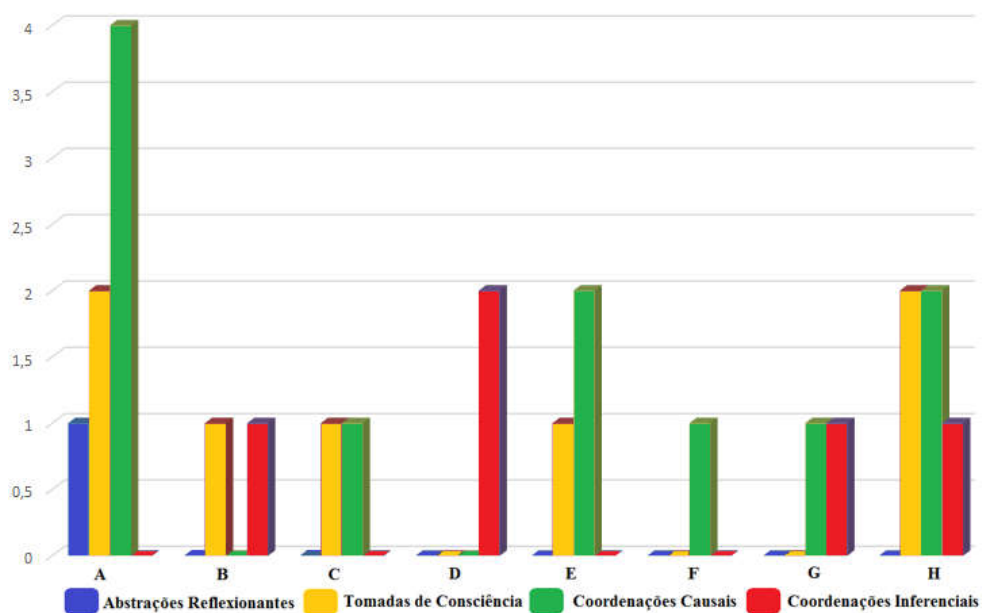
Na sequência, são apresentados elementos textuais envolvidos nos tópicos da Figura 73, constantes no protocolo construído pela aplicação do método clínico.

I - Comparação entre o sinal da corrente no amperímetro e a direção do ponteiro da bússola:

SUJEITO A: - Aproveitando o circuito esquerda já energizado, se você acionar também o circuito da direita, o que irá ocorrer? *“A lâmpada vai acender, a corrente vai ficar positiva e talvez essas energias se encontrem aqui no meio (algum tipo de interação nos condutores paralelos). Não sei se vão se somar as forças, ou não, a energia, só sei que isso aqui vai ficar positivo (corrente no amperímetro) e a bússola vai mexer.”*

O esforço cognitivo dos sujeitos, ao longo das simulações, pode ser visualizado na Figura 74.

Figura 74 - Esforço cognitivo relacionado ao experimento de Oersted-Ampère



Fonte: o autor

Com relação às estruturas cognitivas mobilizadas na simulação do experimento Oersted-Ampère, houve prevalência das coordenações causais e tomadas de consciência sobre as coordenações inferenciais e abstrações reflexionantes. Neste experimento, as construções de pensamento foram distribuídas de maneira mais igualitária, ou seja, grande parte dos sujeitos executaram coordenações causais, tomadas de consciência e coordenações inferenciais, não havendo concentração naqueles que já haviam cursado a disciplina de Física III.

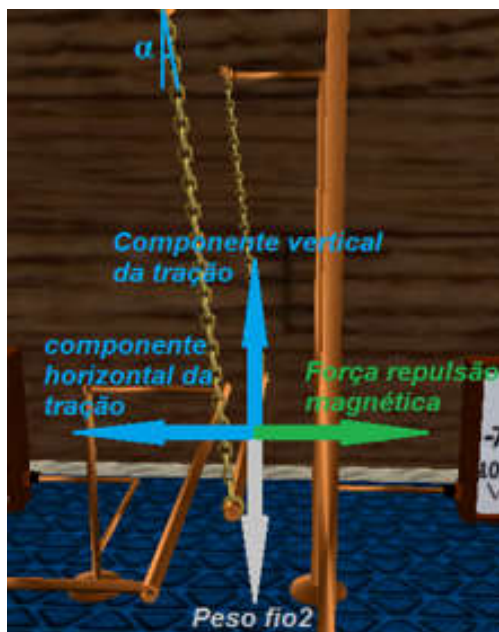
Similar ao ocorrido no experimento anterior (Kirchhoff), as estruturas identificadas apresentaram conceitos semelhantes entre si, por exemplo: “a relação entre o sinal da corrente elétrica mostrado no amperímetro e a direção de deflexão do ponteiro da bússola” apareceu como abstração reflexionante, tomada de consciência, coordenação causal e inferencial. Por sua vez, o conceito no qual “as correntes elétricas com sentidos opostos causavam afastamento entre os condutores paralelos” apareceu como coordenação causal e inferencial. Tais fatos pareceram indicar a relevância dos dados de observação terem sido projetados para atuar no sentido de “ações → efeitos” reversíveis.

A criação de uma lógica (coordenações diferenciais) capaz de esclarecer as coordenações causais ficou bastante restrita ao fato da inversão de polaridade da bateria inverter o sentido de circulação da corrente elétrica e da posição do ponteiro da bússola, sem avançar no sentido da interação magnética entre os condutores paralelos. Outra característica foi a maioria das tomadas de consciência relacionar-se à aproximação ou afastamento dos condutores paralelos de acordo com o sentido de corrente nos mesmos, mas não houve uma evolução deste conceito para as coordenações causais, as quais continuaram relacionando a polaridade da bateria ao sinal da corrente e à direção do ponteiro da bússola.

A simulação foi projetada para demonstrar a interação entre os campos magnéticos criados pela circulação de corrente elétrica nos condutores paralelos (aproximação ou afastamento). No entanto, poucos foram os elementos relacionados a esse conceito, presentes nas estruturas cognitivas identificadas. As escassas coordenações inferenciais abordando a interação magnética entre os condutores, indicaram uma limitação na criação de uma lógica capaz de explicar essas relações de causalidade. Isto apontou para a necessidade da aplicação futura de outras estratégias (maiores informações, mais tempo de simulação ou divisão do experimento principal em vários outros bem mais simples) visando a compreensão do objetivo experimental.

Um aspecto relevante da análise dos protocolos foi a não identificação de estruturas cognitivas abordando o raciocínio do grupo INRC atrelado ao equilíbrio do condutor paralelo pendurado por uma corrente metálica e afastado pela repulsão magnética (Figura 75). Tal fato merece especial atenção, no quesito de encontrar respostas para a não detecção dos dados de observação do sistema de forças responsável pelo equilíbrio do condutor suspenso.

Figura 75 - Forças que equilibram o condutor suspenso repelido

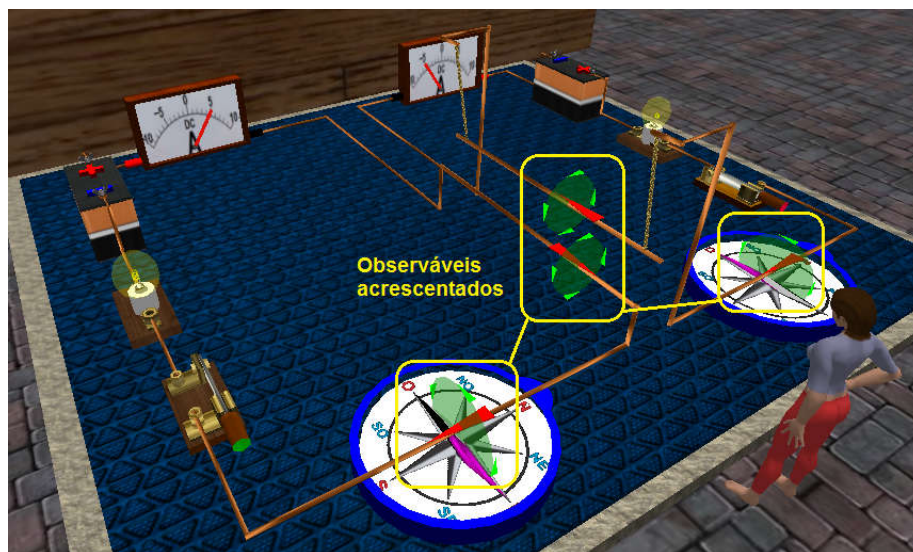


Fonte: o autor

Ao que pareceu os sujeitos não identificaram o efeito da força gravitacional sobre o condutor paralelo pendente, considerando apenas a força magnética. Isto remete à necessidade de remodelar o experimento e/ou elaborar um experimento auxiliar que apresente ações reversíveis relacionadas a dados de observação sobre o equilíbrio de corpos suspensos.

A implementação de observáveis (Figura 76) representando o sentido da corrente elétrica e o campo magnético nos condutores auxiliou no estabelecimento das relações causais envolvidas com esses conteúdos. Ademais, o fato da visibilidade desses observáveis estar sob o controle do pesquisador, para emprego somente em caso da não inferência dos mesmos foi bastante utilizada nas simulações.

Figura 76 – Observáveis de campo magnético e corrente elétrica



Fonte: o autor

Após as alterações, ficou mais acessível atribuir relações causais entre o movimento do ponteiro da bússola e o campo magnético gerado pela corrente elétrica (Figura 77).

Figura 77 - Campo magnético alterando o sentido do ponteiro da bússola



Fonte: o autor

SUJEITO D: - O que comanda o ponteiro da bússola? “*O campo magnético*”. - Se você inverter a bateria, o que vai acontecer? “*Acredito que vai inverter, vai inverter a bússola também (o ponteiro).*” - Por que vai ‘inverter’ a bússola? “*Mudou a direção das cargas (corrente elétrica mostrada no amperímetro).*”.

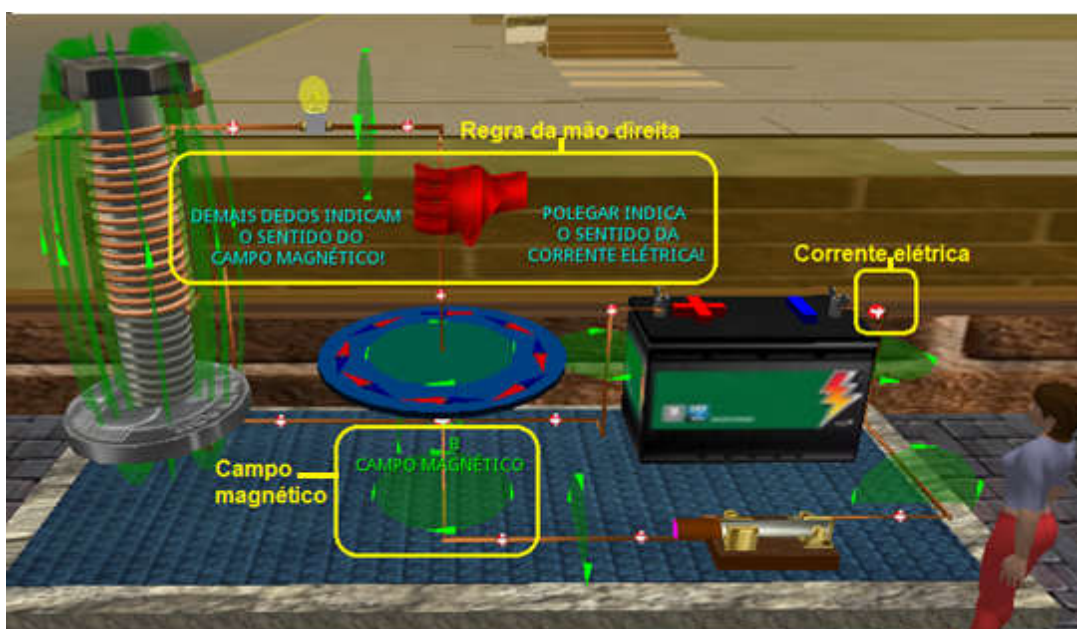
SUJEITO E: - O que mais surgiu quando você acionou o interruptor? *“O campo magnético.”*
“O sentido mudou.” - Sentido do que? *“Sentido da corrente.”* - Mudou por quê? *“Porque eu invertei a bateria. Antes tava de Sul para Norte agora tá de Norte a Sul.”* - E o campo magnético? *“Parece que continua o mesmo.”* Após mais algumas verificações o sujeito exclama: *“Tá diferente também, o sentido do campo também.”*

SUJEITO F: - Apareceu algo diferente? *“Apareceu o sentido da corrente em vermelho né. E esse verde aqui que é o campo magnético.”* - Se você inverter a posição da bateria, o que muda? *“O sentido da corrente e conseqüentemente o sentido do campo magnético.”* - Como você sabe? *“Ué só olhar aqui o vetor verdinho aqui ó!”*

SUJEITO H: - Por que a bússola mexeu? *“Ele cria um campo uniforme e aí, no caso, empurra em 90 graus (agulha da bússola), no caso, ficam as forças perpendiculares ao ponteiro da bússola.”*

O ensaio do experimento auxiliar (Figura 78) cumpriu sua função ao apresentar, de maneira mais simples, observáveis cujas relações causais foram empregadas posteriormente na simulação principal. Além de ter auxiliado alguns sujeitos na elaboração de estruturas cognitivas como a operação de inversão.

Figura 78 - Experimento auxiliar com observáveis importantes



Fonte: o autor

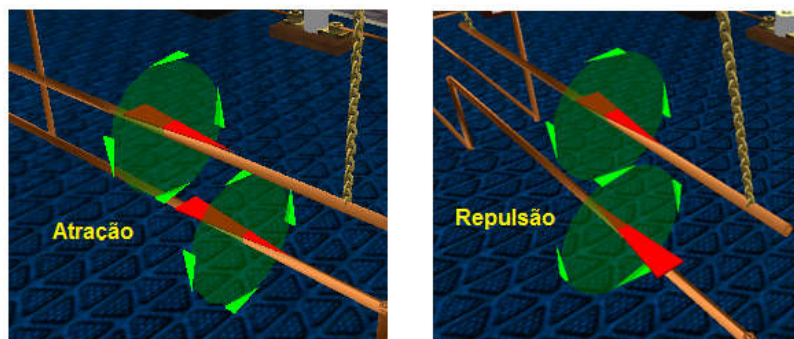
Os dados de observação foram os seguintes:

- a) Ação reversível sobre o interruptor (controle da passagem de corrente e geração do campo magnético);
- b) Ação reversível sobre a polaridade da bateria (controle do sentido da corrente e do campo magnético gerado);
- c) Sentido convencional da corrente elétrica (cargas saindo do polo positivo e chegando ao polo negativo da bateria);
- d) Sentido do campo magnético orientando várias agulhas de bússolas;
- e) Regra da mão direita (usada para determinar o sentido das linhas de campo magnético a partir do sentido da corrente elétrica).

Na sequência, são apresentados alguns resultados da análise das simulações envolvendo o experimento auxiliar e as modificações no experimento principal.

SUJEITO C: Apresentou evolução na compreensão do mecanismo de interação entre os condutores paralelos depois da visualização dos observáveis de corrente e campo magnético (Figura 79).

Figura 79 - Atração e repulsão entre os condutores paralelos



Fonte: o autor

Antes da visualização: - O que aconteceu? *“Eles (condutores paralelos) se afastaram.”* - Por quê? *“Porque as cargas são diferentes (sentidos)”*. Como o sujeito coordenou ações ao inverter as polaridades das baterias e comparou os valores de correntes nos amperímetros com o comportamento dos condutores paralelos, ocorreu uma abstração reflexionante.

Depois da visualização: - Para eles (condutores paralelos) se afastarem tem que acontecer o quê? *“As cargas precisam estar em sentidos diferentes. Daí os campos magnéticos vão ter*

diferentes sentidos. Quando for o mesmo sentido (de corrente elétrica) eles (condutores paralelos) se aproximam, quando estão em sentidos opostos eles se separam.” Agora, o sujeito elaborou uma lógica para explicar a atração e a repulsão entre os condutores paralelos, configurando então uma coordenação inferencial.

SUJEITO E: Associou sem problemas o afastamento entre os condutores paralelos aos sentidos opostos de corrente elétrica, *“Eles (condutores paralelos) se distanciaram porque as correntes estão opostas”*. - O que acontecerá se você abrir (desligar) um dos interruptores? *“Os fios voltam a ficar mais próximos”*. - Por que aconteceu isto? *“Porque... (o sujeito executa mais alguns desligamentos e religamentos) ... é por causa dos campos (magnéticos).”* As afirmações demonstraram a operação cognitiva realizada a partir da consciência da relação entre a corrente elétrica e seu efeito na posição dos condutores, levando o sujeito a antecipar a aproximação entre os condutores pelo desligamento de um dos circuitos.

A seguir, destaca-se o mesmo sujeito voltando-se para as próprias ações, quando solicitado a explicar o motivo do afastamento dos condutores - O que você deve fazer no circuito para que os condutores se afastem? *“Mudar o sentido da minha bateria, da minha carga (corrente elétrica). As baterias estão no mesmo sentido ó. Se eu inverter alguma delas, a corrente passa em caminhos opostos, o distanciamento é maior (repulsão)”*. Novamente houve o emprego de coordenações inferenciais, pois foi elaborada uma lógica para explicar a relação entre dois observáveis, a “ação” de inverter a polaridade de uma das baterias e o “efeito” de inversão no sentido de fluxo de corrente elétrica, ocasionando a repulsão entre os condutores.

SUJEITO H: Após simular os dois circuitos energizados ele reconheceu a repulsão entre os condutores: *“Ok, eles se repeliram”*. Estabeleceu uma relação causal entre a repulsão e os sentidos contrários de correntes elétricas: *“A corrente está no sentido oposto...ah tá.”* - Se você inverter a bateria do circuito direito, o que acontece? *“Vai afastar, eu acho, de novo”*. No entanto, após a simulação ele reformulou sua ideia: *“Não, puxou mais, mesmo sentidos, estão se atraindo”*. Para ele a repulsão entre os condutores pareceu estar em desacordo com sua ideia prévia: *“Sentidos opostos (de corrente elétrica) estão repelindo (condutores paralelos). Parece o oposto do que deveria ser.”* Aqui surgiu um exemplo de desequilíbrio cognitivo entre a concepção prévia do sujeito e os resultados da experimentação virtual, por entender a repulsão entre os condutores como provocada pelas correntes elétricas e não pelos campos magnéticos gerados.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O enfoque deste trabalho foi estudar as formas de pensamento elaboradas por estudantes universitários, ao longo de simulações virtuais imersivas 3D, abordando o eletromagnetismo clássico. A pesquisa procurou compreender o esforço cognitivo empregado para assimilar os dados de observação advindos dos experimentos principais.

Ao debruçar-se sobre os processos cognitivos de construção de conhecimento, enquanto “estrutura”, foi relegado para trabalhos futuros o enfoque sobre a elaboração de conhecimento enquanto “conteúdos de Física”. No entanto, vale ressaltar a precariedade apresentada pelos sujeitos sobre alguns conceitos básicos de Eletromagnetismo abordados nas simulações. Como por exemplo, o desconhecimento do “sentido convencional” de circulação de corrente elétrica, da “geração de campo magnético ao redor de um condutor energizado” entre outros, fato que não poderia passar despercebido ao autor deste trabalho, enquanto professor da área.

Os processos de “equilíbrio→desequilíbrio→reequilíbrio”, ocorridos durante as simulações, pareceram desenvolver-se no sentido dos aspectos gerais para os específicos, pois a elaboração das relações causais entre os observáveis dos experimentos esteve, geralmente, um pouco à frente da capacidade de antecipar e/ou explicar alguns questionamentos advindos da aplicação do método clínico. Por exemplo, no experimento com ímãs, foi mais acessível aos sujeitos descrever as causalidades envolvidas nas ações sobre as alavancas do painel de controle, do que explicar o mecanismo físico relacionado ao estado de equilíbrio do ímã superior. Isso pode estar relacionado com o fato das coordenações inferenciais não dependerem unicamente das coordenações causais, mas de todas as experiências cognitivas anteriores do sujeito, entre as quais se encontram os conhecimentos prévios de Física.

A opção pelo “corte temporal vertical” (único encontro por sujeito), devido a necessidade de simular os cinco (05) experimentos virtuais, pode ter influenciado no processo de interação entre sujeito e objeto de conhecimento, sob os seguintes aspectos:

- a) Talvez o período de ± 25 min, para cada simulação de cada um dos experimentos, não tenha sido suficiente para “todos” os sujeitos empregarem as coordenações de ações necessárias à compreensão de muitos atributos endógenos dos experimentos. No entanto, o intervalo de tempo pareceu adequado ao propósito da investigação, pois a avaliação de dados forneceu subsídios para validar os objetivos da pesquisa, como as inferências relacionadas ao Grupo INRC;
- b) O nível de complexidade dos experimentos principais pareceu ter contribuído para a dificuldade de compreensão de alguns aspectos não-observáveis, fato que parece ter

sido atenuado, em parte, pelo desenvolvimento dos experimentos auxiliares. No entanto, pretende-se, futuramente, dividir ainda mais os experimentos principais, criando uma série de outros experimentos secundários mais simples, os quais possam ser encadeados no sentido de empregar uma sequência de estruturas cognitivas com sentido crescente de complexidade;

- c) Notou-se que os sujeitos não estavam acostumados ao processo de experimentação mediante entrevista clínica, questionando seguidas vezes sobre a correção dos próprios procedimentos. Portanto, demorou algum tempo para eles se adaptarem à dinâmica do processo de investigação e aos aspectos emotivos (medo de expor seu conhecimento físico, por exemplo);

Com relação ao método de desenvolvimento dos experimentos, as abordagens de Jonassen (1995) e de Ferreira *et al.*, (2018) contribuíram para um delineamento claro, iniciando pelos conceitos iniciais, passando pelos objetivos e atividades e culminando em uma integração harmônica (tanto física quanto epistêmica) dos diversos dispositivos no mesmo experimento. Dessa forma, o estudo demonstrou a possibilidade de criar experimentos de eletromagnetismo a partir de premissas epistemológicas. Apontou também, para a relação benéfica (desenvolve no sujeito a noção da interação entre grandezas físicas distintas agindo no mesmo sistema) e próxima (presente na Hidrostática, Mecânica, Eletromagnetismo etc) entre as situações de equilíbrio físico e o pensamento formal do Grupo INRC.

A aplicação dos experimentos principais levou à necessidade de experimentos auxiliares, desenvolvidos a partir de um patamar epistemológico superior, por usar os conceitos físicos presentes nos circuitos como “fatores” para a construção de uma lógica combinatória em “rede” (típica do emprego do pensamento formal). Tal procedimento culminou na elaboração de questionamentos embasados nas “combinações possíveis” da tabela-verdade, cuja coerência das respostas somente poderia advir de uma lógica proposicional elaborada pelos sujeitos, indicando o uso do pensamento formal e qualificando, ainda mais, a aplicação do Método Clínico.

Com relação ao ambiente virtual imersivo, a plataforma *OpenSim* foi considerada adequada para a criação e programação dos experimentos virtuais e a estratégia de programar uma sequência de estados dentro dos *scripts*, permitiu simular comportamentos físicos capazes colaborar com o sentimento de imersão dos sujeitos. Entre os aspectos positivos cita-se a facilidade da realização de melhorias estéticas e/ou reparos de programação nos dispositivos dos experimentos, até mesmo no lapso temporal entre duas entrevistas. Isso permitiu a

programação de novas ações e/ou correção de dificuldades de percepção dos dados de observação, adaptando os experimentos às necessidades dos sujeitos construir relações causais entre ações e efeitos e elaborar uma lógica capaz de explicar os fenômenos em estudo, qualificando assim, os testes de hipóteses realizados durante as simulações. Entre os pontos negativos estiveram alguns *bugs* de programação (algumas funcionalidades deixaram de ocorrer, caso a plataforma ficasse alguns dias sem ser usada), diminuindo o nível de confiabilidade das funções programadas; outro problema foi a quantidade restrita de linhas de programação nos *scripts* (foi necessário implementar vários *scripts* em apenas um objeto para deixá-lo funcional), além da impossibilidade de exportar as simulações para outras plataformas alternativas como a *Android*.

Os experimentos virtuais demonstraram potencializar a experiência imersiva dos sujeitos, devido ao alto grau de integração entre elementos de realismo, interação e imersão, propiciando um maior envolvimento na execução das simulações. Ao longo da aplicação do método clínico foi possível observar um intenso engajamento dos sujeitos para compreender e explicar as questões propostas pelo pesquisador, demonstrando interesse em estar interagindo com o ambiente virtual. Uma característica técnica que influenciou positivamente no estabelecimento do estado de *Flow* foi o *feedback* imediato dos efeitos das ações dos sujeitos sobre os dispositivos, propiciado pela programação nos *scripts* dos dispositivos do experimento.

Quanto aos parâmetros balizadores do estado de *Flow*: ansiedade (ocasionada pelas dificuldades em executar e/ou compreender as simulações) e tédio (provocado por desafios inferiores à capacidade do sujeito), não houve verbalização por parte dos sujeitos, mas tão somente a observação da linguagem facial e corporal dos mesmos, como expressões de frustração com longas pausas para reflexão. Não foram captados indícios de tédio, indicando que os desafios propostos pelos experimentos foram superiores às habilidades dos sujeitos. Para trabalhos futuros deverão ser desenvolvidos e implementados instrumentos capazes de indicar com maior precisão os índices de frustração e tédio. Neste sentido, a divisão dos experimentos principais em vários experimentos auxiliares mais simples, pode ser uma alternativa para manter o sujeito entre o tédio e ansiedade, ampliando o potencial cognitivo do mesmo. Outro aspecto importante seria desenvolver simulações virtuais imersivas capazes de captar informações sobre o estado emocional do sujeito e ajustar automaticamente a complexidade dos dispositivos experimentais.

Embora tenham sido realizadas seriações, classificações e correspondências, em conjunto com abstrações empíricas, essas operações não foram objeto do estudo. O foco foi estabelecido nas estruturas relacionadas ao pensamento formal, ou seja, aquelas que remetem a elaboração de hipóteses. O quadro geral dos esforços cognitivos relacionados aos experimentos principais pode ser visualizado na Figura 80, a qual mostra as estruturas identificadas nos três experimentos, cuja estratégia de análise iniciou no experimento com Ímãs e terminou no de Oersted-Ampère.

Figura 80 – Comparação do esforço cognitivo nos experimentos principais



Fonte: o autor

A análise mostrou uma diminuição das coordenações inferenciais, o que pode significar um crescimento das dificuldades em ultrapassar o campo dos dados de observação e, mitigando a antecipação de situações e as explicações das relações causais. Como as abstrações inferenciais são construídas pelas estruturas progressas do sujeito e, pela observação do pesquisador, os conceitos de eletromagnetismo se mostraram incipientes ou até inexistentes, podem ter faltado elementos suficientes para elaborar uma lógica capaz de explicar grande parte das coordenações causais.

O espaço deixado pelas abstrações inferenciais foi ocupado pelas coordenações causais, indicando o empenho dos sujeitos em compreender as simulações e estabelecer causalidades entre dois tipos de observáveis presentes nas simulações, aqueles relacionados à ação sobre os dispositivos e os ligados aos efeitos destas. Tal aspecto assume especial relevância no projeto dos experimentos virtuais, pois com base em Piaget (1977), quanto mais coerentes e imediatas forem as respostas à ação do sujeito, melhores serão as condições para a tomada de consciência e o consequente estabelecimento de coordenações causais.

Com relação às tomadas de consciência, houve um avanço a partir do experimento com Ímãs, novamente indicando o comprometimento dos sujeitos em assimilar os experimentos de

maior complexidade, através da leitura dos dados de observação presentes nas simulações. Quanto às coordenações de ações, Piaget (1977) adverte que estas ultrapassam o plano abstrato, exigindo a delimitação do problema, daí a importância de projetar desafios claros nos experimentos. Elas também compõem a união de atos, correções e de regras e aspectos lógicos, impondo a necessidade de relações de ordem de simetrias e reciprocidades, de correspondências e de funções. Desse modo, o decréscimo dos elementos textuais classificados como abstrações reflexionantes, pareceu indicar um grau crescente de dificuldades em extrair os aspectos endógenos dos dados de observação oferecidos pelos experimentos virtuais.

O estudo dos protocolos deixou claro a existência do intercâmbio, apregoado por Piaget (1977), entre os dados de observação da ação do sujeito e o efeito sobre o objeto. Portanto, o projeto dos dispositivos virtuais necessita levar em conta a “permuta” entre as coordenações das ações (abstrações reflexionantes ou refletidas) e as coordenações causais, de modo a adequar a programação em função das coordenações advindas da ação e do efeito desejados para o experimento que esteja sendo desenvolvido.

Portanto, o desempenho dos sujeitos está atrelado ao avanço na direção das regiões centrais da ação e do objeto, partindo sempre da periferia que é o próprio fenômeno oferecido pelos experimentos. O movimento do conhecimento em direção às regiões centrais da ação e dos objetos pode ser percebido pela interiorização, relacionada à tomada de consciência e a conceituação das operações lógico-matemáticas e à exteriorização, conectada ao conhecimento experimental e as aplicações causais (PIAGET, 1977).

Em termos de legado para a sala de aula, espera-se que esse trabalho contribua para desmistificar a ideia de uma “boa tecnologia” corresponder a um “bom aprendizado”, pois não existe uma única circunstância para isso, mas sim um quadro de equilíbrio de fatores genéticos, sociais e de experiências físicas e lógico-matemáticas. Nesse sentido, é fundamental aos professores a compreensão da “ação” como “mola-mestra” do construtivismo, conectando a aprendizagem de Física à construção de estruturas cognitivas (das operações até as coordenações inferenciais).

Dessa feita, não basta aos licenciandos ou professores em exercício apenas conhecer os processos de pensamento como a Teoria da Abstração Reflexionante, mas esquematizar as aulas a partir do princípio do “fazer para compreender”, ensejando a tomada de consciência das próprias ações pelos alunos, no rumo da desejada construção conceitual.

Com relação a trabalhos futuros, essa pesquisa foi o passo inicial para a constituição de um laboratório construtivista de Eletromagnetismo, no qual os experimentos atuais serão aprimorados e agregados a outros construídos ao longo do trabalho e que não foram usados no estudo. Existe também a intenção de transferir os conhecimentos adquiridos na plataforma *OpenSim* para o ambiente *Unity*, objetivando exportar os experimentos para o ambiente *Android* e utilizá-los em celulares e *tablets*. Além disso, também estão nos planos, a oferta de uma disciplina de pós-graduação integrando a Epistemologia Genética às tecnologias de Ensino de Física, juntamente com uma formação continuada para professores das redes municipal e estadual da cidade de Bagé.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALAMY. Disponível em <https://www.alamy.com/stock-photo-hans-christian-oersted-1777-1851-german-physicist-discovering-that-57290178.html>. Acessado em: 16 jan. 2020.

ALARCÃO, I. **Escola reflexiva e desenvolvimento institucional. Que novas funções supervisivas?** In J. Oliveira-Formosinho (Org.), *A supervisão na formação de professores* (pp. 217-238). Porto: Porto Editora, 2002.

AMARAL, E.M.H., ÁVILA, B., TAROUÇO, L. (2013). **Implementação de Laboratórios Virtuais no metaverso OpenSim**. *Renote*. V11 n.1, p. 1-12, 2013.

BAMPI, M. A. M. **O método clínico experimental de Jean Piaget como referência para o conhecimento do pensamento infantil na avaliação psicopedagógica**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação da Universidade do Sul de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

BATTOCCHIO, D. **Breves Ensaio sobre Piaget**. Fortaleza: Edições Dezessete e Trinta, 1998.

BECKER, F. **Educação e Construção do Conhecimento**. Porto Alegre: Artmed, 2001.

BECKER, F. **A Origem do Conhecimento e a Aprendizagem Escolar**. Porto Alegre: Artmed, 2003.

BECKER, F. **Abstração pseudo-empírica e reflexionante: significado epistemológico e educacional**. *Schème, Revista Eletrônica de Psicologia e Epistemologia Genéticas*. Marília: UNESP, Vol. 6, 2014. p. 103-127.

BRANDFORD, J.D. **How people learn**. Washington, DC: National Academy Press, 1999.

BRASIL. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional – LDB nº 9394/1996**.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de educação média e tecnologia. **Parâmetros curriculares nacionais: Ensino Médio: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília: MEC/SEMTEC, 1999.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de educação básica. **PCN+ Ensino Médio - Física. Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais**. Brasília: MEC/SEMTEC, 2006.

BRASIL. **Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP). IDEB, Resultados e metas.** Disponível em: <<http://ideb.inep.gov.br/resultado/resultado/resultado.seam?cid=8133187>>. Acesso em: 18 de mar de 2019.

BOGUSEVSCHI, D., MUNTEAN, C. & MUNTEAN, G.M. **Teaching and Learning Physics using 3D Virtual Learning Environment: A Case Study of Combined Virtual Reality and Virtual Laboratory in Secondary School.** In K. Graziano (Ed.), *Proceedings of Society for Information Technology & Teacher Education International Conference* (pp. 721-728). Las Vegas, NV, United States: Association for the Advancement of Computing in Education (AACE), 2019. Retrieved April 26, 2019 from <https://www.learntechlib.org/primary/p/207721/>.

BOS, A. S., BERNARDI, G., MULLER, M.F., PRESTES, L.P., ZARO, M., PIZZATO, M. **Agentes Conversacionais: Desenvolvimento de uma Aplicação no Museu Virtual para o Ensino de Computação.** Braz. J. of Develop, Curitiba, v. 5, n. 4, p. 2747-2758, apr. 2019.

BOS, A. S.; PIZZATO, M.; FERREIRA, V. A.; SCHEIN, M.; ZARO, M. A.; TAROUÇO, L. **The Impact of Effective Communication between Users in 3D Collaborative Virtual Environments: the conversational agent use case.** INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED ENGINEERING RESEARCH AND SCIENCE. , v.6, p.45 - 51, 2019.

CAMSTUDIO. **CamStudio. Free Desktop Recorder Streaming Video Software.** Disponível em: <https://camstudio.org/>. Acesso em 10 Abr. 2019.

CARUSO F., OGURI, V., **Física Moderna: origens clássicas e fundamentos quânticos.** LTC, 2ªed. 2016.

CIRCUITOS ELÉTRICOS. **AULAS DE FÍSICA E QUÍMICA.** Disponível em: http://www.aulas-fisica-quimica.com/9e_02.html. Acesso em: 10 ago. 2019.

CLARK, R. C. **Evidence-Based Training Methods: A Guide for Training Professionals.** Alexandria: ASTD Press, 2010.

CSIKSZENTMIHALYI, M. **Flow: The Psychology of Optimal Experience.** Harper Collins Publishers, 1990.

CSIKSZENTMIHALYI, M. **Fluir (Flow). Una psicología de la felicidad.** Editorial Kairós: Barcelona. 1996.

CSIKSZENTMIHALYI, M. **Finding flow.** New York: Basic. 1997

CSIKSZENTMIHALYI, M.; ABUHAMDEH, S. e NAKAMURA, J. **Flow**. In: **Flow and the Foundations of Positive Psychology**. Cap. 15. Springer: Dordrecht. 2014.

CSIKSZENTMIHALYI, M. **Flow and Education**. In: **Applications of Flow in Human Development and Education**. Cap. 6. Springer: Dordrecht. 2014b.

COUTINHO, M.T. da C. **Psicologia da educação: um estudo dos processos psicológicos de desenvolvimento e aprendizagem humanos, voltado para a educação**. Belo Horizonte: Lê, 1992.

DEDE, C. **Immersive Interfaces for Engagement and Learning**. Science Magazine. V. 323, p. 66-69, Jan. 2009.

DEDE, C. **The Evolution of Constructivist Learning Environments: Immersion in Distributed, Virtual Worlds**. Ed. Education Technology, 1996 p. 165-175.

DELVAL, J. **Introdução à Prática do Método Clínico**, Ed. Artmed, 2002.

DELLACQUA, G. S.; MOTHÉ, R. S. S.; DA SILVA, W. B; DUTRA, J. C. S. **Desenvolvimento lógico-matemático no ensino de física com o software Scilab**. VII Encontro Científico de Física Aplicada, Serra-Espírito Santo, 2016.

DIMINOI. **Magnetismo**. Disponível em: <https://professordiminoi.comunidades.net/magnetismo>. Acesso em: 07 abr. 2019.

DOLLE, J. **Para compreender Jean Piaget**. Rio de Janeiro, Zahar, 1981. 202p.

DORON, R.; PAROT, F. (orgs.) **Psicologia Clínica: Dicionário de Psicologia**. Vol. I. São Paulo: Ática, 1998.

DUARTE, R. **Qualitative Research: reflections on field work**. Cad. Pesquisa. Mar. 2002, no.115, p.139-154. ISSN 0100-1574.

De SOUZA, L.K. **Tendências epistemológicas da Educação- reflexões sobre a prática docente**. CIENTIF - Revista Acadêmica do IFSul Charqueadas. Ed1, ano1, janeiro-2018.

EISBERG, R., RESNICK, R. **Física Quântica, Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas**, Editora Campus, 13ª edição, 1979.

ELECTROMAGNETISMO. **André-Marie Ampère**. Disponível em: <http://electromagnetismounexpo.blogspot.com/2011/10/andre-marie-ampere.html>. Acesso em: 10 mar. 2019.

FERNANDES, B., **Resumo de Física – Campo Magnético**. Disponível em: <http://blog.Professorbrunofernandes.com.br/resumo-de-fisica-campo-magnetico/>. Acesso em: 02 jul. 2019.

FERREIRA, V. A., BOS, A. S.; TAROUCO, L. M. R.; BECKER, F. **Operatoriedade cognitiva e experimentação virtual imersiva de Eletricidade**. RENOTE. REVISTA NOVAS TECNOLOGIAS NA EDUCAÇÃO, v.17, p.375 - 385, 2019.

FERREIRA, V. A.; NICOLETE, P. C.; TAROUCO, L. M. R.; BECKER, F. **A Epistemologia Genética em um Experimento Virtual Imersivo 3D de Magnetismo**. RENOTE. REVISTA NOVAS TECNOLOGIAS NA EDUCAÇÃO, v.16, p.1 - 11, 2018.

FERREIRO, E. **Atualidade de Jean Piaget**. Porto Alegre: Artmed, 2001.

FREZZA, J. S. **Construção de modelos e teorias físicas: da Mecânica Clássica de Newton à Mecânica Relativística de Einstein. Um estudo de Epistemologia Genética**. Tese de doutorado, universidade federal do Rio Grande do Sul, faculdade de educação, programa de pós-graduação em educação, porto alegre, BR-RS, 2015.

GASPAR, A. **Física, volume único**. 1. ed. São Paulo: Ática, 2005.

GERHARDT T. E. E SILVEIRA D. T.; **Métodos de pesquisa**. Coordenado pela Universidade Aberta do Brasil – UAB/UFRGS e pelo Curso de Graduação Tecnológica – Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural da SEAD/UFRGS. – Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GIANCOLI, D. C. **Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics**. Pearson Prentice Hall, 2007.

GIRVAN, C. **What is a virtual world? Definition and classification**. Educational Technology Research and Development. Volume 66, Issue 5, pp 1087–1100, October 2018.

GOMES, A. C. B.; KLEIN, A. Z. **O Desenvolvimento da Competência Para o Trabalho em Equipe a Distância com o uso do Metaverso Second Life**. In: Administração: Ensino e Pesquisa. V. 14. Nº 2. P. 343-375. 2013

GOURLART, I. B. **Piaget: experiências básicas para utilização pelo professor**. 21.ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2005.

GREIS, L. K. **Second Life: uma proposta de utilização pedagógica**, 2007. disponível em: <<http://pead.ucpel.tche.br/revistas/index.php/colabora/article/viewFile/96/82>>. Acesso em 10 de Marc. de 2018.

GREIS, L. K. **Mundos Virtuais na Educação: a Interatividade em Simulações de Fenômenos Físicos**. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre: UFRGS/FACED, 2012.

GRIMSHAW, M. **The Oxford Handbook of Virtuality**. OUP USA, 2014.

GUEDES, L. D. dos S. **Experimentos com materiais alternativos: sugestão para dinamizar a aprendizagem de eletromagnetismo**. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Goiás, Unidade Acadêmica Especial de Física e Química, Catalão, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Catalão, 2017.

HALLIDAY, D, RESNICK, R. WALKER, J. **Fundamentos de Física 3** - 10ª edição - Livros Técnicos e Científicos Editora S/A (LTC) - Rio de Janeiro, 2016.

HERPICH, F. **Recursos Educacionais em Realidade Aumentada para o desenvolvimento da habilidade de visualização espacial em Física**. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Centro de Estudos Interdisciplinares em Novas Tecnologias na Educação, Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação, Porto Alegre, RS, 2019.

HERPICH, F.; GUARESE, R. L. M.; TAROUCO, L.M.R. **Recursos de Virtualidade integrados com Realidade Aumentada em Dispositivos Móveis para auxiliar Estudantes na Aprendizagem de Física**. Anais dos Workshops do VI Congresso Brasileiro de Informática na Educação (WCBIE) 2017.

HERPICH, F., TAROUCO, L. **Engajamento de Usuário em Mundos Virtuais: uma análise teórico-prática**. Novas Tecnologias na Educação. V14 n.1, 2016.

HUVILA, I., UOTILA, K. **Taking excavation to a virtual world: importing archaeological spatial data to Second Life and OpenSim**. 40th Annual Conference of Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology, Working Paper, 2018.

ISTOCK. **MAGNETIC FIELD**. Disponível em: <https://www.istockphoto.com/br/vetor/ci%C3%A9ncia-da-f%C3%ADsica-sobre-o-movimento-de-campos-magn%C3%A9ticos-positivo-e-negativo-gm1133607686-300927879>. Acesso em: 17 out 2018.

INHELDER, B. BOVET, M. SINCLAIR H. **Aprendizagens e estruturas do conhecimento**, São Paulo SP, editora Saraiva, 1977.

JONASSEN, D., DAVIDSON M., COLLINS M. et. Al. **Constructivism and Computer Mediated Communication in Distance Education**. Disponível em <<http://www.c3l.uni-oldenburg.de/cde/media/readings/jonassen95.pdf>>. Acesso em 15 de Out. 2017.

JACKSON, R. L., FAGAN E. **Collaboration and Learning with Immersive Virtual Reality**. Disponível em <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=1E1562E86D554EC8ECAA118008FB5164?doi=10.1.1.578.7524&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em 15 de Set. 2017.

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

KÖCHE, J. C. **Fundamentos de metodologia científica: Teoria da ciência e iniciação à pesquisa**. 20. ed. atualizada. Petrópolis, RJ: Vozes, 1997.

KOLB, D. **Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development**. Prentice Hall, Englewood Cliffs. 1984.

LAMBERT, N. M, McCOMBS, B. L. **How students learn**. Washington, DC: American Psychological Association. 1998.

LEGO. **Caixa de Criatividade Verde – LEGO Classic 10708**. Disponível em: https://www.noybrinquedos.com.br/Meninos/Blocos-de-Montar/caixa-de-criatividade-verde-lego-classic-10708-10708__867451-SIT.html. Acesso em: 20 jan. 2020.

LIM, S., REEVES B., **Being in the Game: Effects of Avatar Choice and Point of View on Psychophysiological Responses During Play**. Disponível em <<http://www.tandfonline.Com/doi/abs/10.1080/15213260903287242>>. Acesso em 05 de Out. 2017.

LOUI, R. **In praise of scripting**. IEEE Computer, 2008. Consultado em 16 de janeiro de 2019.

LSL. **LSL Portal/pt**. Disponível em <http://wiki.secondlife.com/wiki/LSL_Portal/pt>. Acesso em 10 de Jan. 2020.

LUDUVICO, L. P. **NOÇÃO DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA E ENSINO DE FÍSICA NO ENSINO MÉDIO. Um estudo de Epistemologia Genética.** Tese de Doutorado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Faculdade de Educação, Programa de Pós-Graduação em Educação, Porto Alegre, RS, 2014.

LUZ, A. M. R. DA; ÁLVARES, B. A. - **FÍSICA Volume Único** - Editora Scipione Ltda. - 1ª Edição, 2000.

MACEDO, L. **Ensaio construtivistas.** São Paulo: Casa do Psicólogo, 1994.

MACEDO, S. H. LIMA, J.V. BIAZUS, M.C.V. **Reflexões sobre o processo de Ensino-Aprendizagem de Eletromagnetismo.** Novas Tecnologias e mediação pedagógica. Campinas: Papirus, 2000. p247-260.

MAGINA, S., CAMPOS, T., NUNES, T. E GITIRANA, V. **Repensando a Adição e a Subtração: contribuições da Teoria dos Campos Conceituais.** PROEM-PUC/SP-São Paulo, 2000.

MARCEL L. **A Teoria do Flow e como alcançar este estado da mente.** Disponível em: <https://www.marcelleal.com.br/teoria-do-flow-como-alcancar-este-estado-da-mente>. Acesso em 20 Jan. 2020.

MASLOW, A. **Toward a psychology of being.** Nova Iorque: Van Nostrand, 1968.

MATTAR, João. **O Uso do Second Life como ambiente de Aprendizagem.** Revista Fonte, 2008.

MARQUES, T. B. I. **Do egocentrismo à descentração: a docência no ensino superior.** Tese de Doutorado. Porto Alegre: UFRGS/FACED, 2005.

MEC. Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação. **Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio** - Resolução CEB/CNE N° 3, de 26 de junho de 1998.

MELO, A. C. S. **DE Transposição Didática do Modelo de Huygens: uma proposta para a física escolar.** Florianópolis, (2010). Disponível em: <<http://www.ppgeet.ufsc.br/base-dt/ufsc-ppgeet-teses2010-ana-melo-integra.pdf>>. Acesso em: 01 abril de 2017.

MELLO, S. E. C. DE, **Ambientes Virtuais Imersivos: A Perspectiva de Pesquisadores em relação à linguagem e à tecnologia**– Rio de Janeiro: UFRJ/ CLA/ Programa Interdisciplinar de Pós-Graduação em Linguística Aplicada, 2011.

MENTZ, L. **O uso da pesquisa para o ensino das ondas eletromagnéticas**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: IF, 2017.

MESTRE, D. R. **Immersion and Presence**. Mediterranean Virtual Reality Center. University of the Mediterranean. França. 2005. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/239553303_Immersion_and_Presence>. Acesso em: 10 jan. 2020.

MYLLER, N.; BEDNARIK, R.; SUTINEN, E. e BEN-ARI, M. **Extending the engagement taxonomy: Software visualization and collaborative learning**. In: ACM Transactions on Computing Education. Vol. 9, Iss. 1, Art. 7, pp. 7:1-7:27, 2009.

MORAES, C. J. C. **A apropriação da teoria de Jean Piaget no Ensino de Ciências**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Faculdade de Educação, Programa de Pós-Graduação em Educação, Goiânia, 2017.

MOREIRA, M. A.; KREY, I. **Dificuldades dos alunos na aprendizagem da lei de Gauss em nível de física geral**. II ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS. Florianópolis, 1998.

MOREIRA, M. A.; OSTERMANN, F. **A Física na Formação de Professores do Ensino Fundamental**. Porto Alegre: Ed. Universidade /UFRGS, 1999.

MOREIRA, M. A.; **A Teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula**. Brasília: Ed. Unb, 2006.

NELSON, B.C. ERLANDSON, B.E. **Design for Learning in Virtual Worlds: Interdisciplinary Approaches to Educational Technology**. New York: Routledge. 2012.

NETO, J.D; GONÇALVES, T.T. **Noção de Velocidade Segundo a Epistemologia Genética de Piaget**. Rev. Ens. Educ. Cienc. Human. Londrina, v. 17, n.4, p. 346-355, 2016.

NUNES, F. B. **Um método de ensino pautado na aprendizagem integrada aos Mundos Virtuais e princípios do Mastery Learning**. Tese de Doutorado – Universidade Federal do

Rio Grande do Sul (UFRGS), Centro de Estudos Interdisciplinares em Novas Tecnologias na Educação, Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação, Porto Alegre, RS, 2017.

OBANA, J.E.G. **A epistemologia e a psicologia de Jean Piaget e as neurociências uma revisão sistemática.** Dissertação de Mestrado, Universidade estadual paulista Júlio de Mesquita Filho, Programa de Pós-graduação em Educação, Marília, SP, 2015.

OLIVEIRA, V., VEIT, E.A., ARAÚJO, I. S., **Relato de experiência com os métodos ensino sob medida (just-in-time teaching) e Instrução pelos colegas (Peer Instruction) para o ensino de tópicos de eletromagnetismo no nível médio.** Caderno brasileiro de ensino de física, v32. N1, p180-206, abr 2015.

OPENSIM. **OpenSim.** Disponível: <http://opensimulator.org/>. Acesso em: 10 mai. 2018.

PARANÁ, D. N. S. **Física Volume Único;** Série Novo Ensino Médio - Editora Ática - 6 Edição - São Paulo 2006.

PAULA, H. de F; BORGES, A. T., **Avaliação e teste de explicações na Educação em Ciências.** Ciência & Educação, v. 13, n. 2, p. 175-192, 2007.

PAPPA, G., PAPADIMA-SOPHOCLEOUS, S. **A CALL for evolving teacher education through 3D microteaching,** CALL communities and culture – short papers Eurocall, 2016 (pp. 369-374). Research-publishing.net.<https://doi.org/10.14705/rpnet.2016.eurocall2016.590>

PIAGET, J. **Psicologia da Inteligência,** Editora Fundo de Cultura, Rio de Janeiro, 1958.

_____ **The mechanisms of perception,** Routledge & Kegan Paul, Londres, 1969.

_____ **Problemas de Psicologia Genética,** Editora Forense, Rio de Janeiro, 1973.

_____ **A construção do real na criança,** Zahar Editores, Rio de Janeiro, 1975.

_____ **O Desenvolvimento do Pensamento. Equilíbrio das Estruturas Cognitivas,** Publicações Dom Quixote, Lisboa, 1977a.

_____ **A tomada de consciência,** Melhoramentos, Ed. da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1977b.

_____ **Fazer e compreender,** Edições Melhoramentos- Editora da USP, São Paulo, 1978.

_____ **O nascimento da inteligência na criança,** Editora Guanabara, Rio de Janeiro, 1987.

_____ **A formação do Símbolo na Criança,** Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, 1990.

_____ **A representação do Mundo na criança**, Editora Record, 1994.

_____ **Abstração Reflexionante - Relações lógico-aritméticas e Ordem das Relações Espaciais**, Artes Médicas, Porto Alegre, 1995.

_____ **Biologia e Conhecimento**, Editora Vozes, Petrópolis, 1996.

_____ **A representação do espaço na criança**, Artes Médicas, Porto Alegre, 1993.

_____ **A imagem mental na criança**, Livraria Civilização – Editora Porto, 1977.

_____ **O juízo moral na criança**. 4 ed. São Paulo: Summus, 1994.

_____ **A representação do mundo na criança**. Rio de Janeiro: Difel, 1982.

PIAGET, J.; GRÉCO, P. **Aprendizagem e conhecimento**, Livraria Freitas Bastos, Rio de Janeiro, 1974.

PIAGET, J., INHELDER, B.; ZWART, H. S. **Memória e Inteligência**, Editora Artenova, Rio de Janeiro, 1979.

PIAGET, J., INHELDER, B. **Da lógica da criança à lógica do adolescente**, Livraria Pioneira Editora, São Paulo, 1976. PIAGET, J.; INHELDER, B. **A psicologia da criança**. Tradução de Octavio Mendes Cajado. 18ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002.

PINTEREST. Disponível em: <https://br.pinterest.com/pin/545568942344516886/?lp=true>. Acesso em: 18 fev. 2020.

PEREIRA, J., SIMÃO, J.P.S., SILVA, N.I., ALVEZ, J.B.M., SILVA, J.B., ALVEZ, G.R., BILESSIMO, S.M.S. **Implantação e Utilização do Laboratório Remoto VISIR em Instituições de Ensino Técnico, Tecnológico e Superior**. (SITED 2018) - VII– Simpósio Ibero-Americano de Tecnologias Educacionais, Revista Tecnologias na Educação; Vol.24, Jun-2018.

PORTAL DO PROFESSOR. Disponível em: <http://portaldoprofessor.mec.gov.br/> Acesso em: 20 dez. 2018.

POZO, J. I. **Teorias Cognitivas da Aprendizagem**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.

RIBEIRO, A. E. M. **Princípios do Método Clínico de Jean Piaget: uma análise dos protocolos de pesquisa entre 1920 e 1922.** Tese de Doutorado – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Letras. Assis, 2018.

ROGERS, B.; DENNY, D.; STICHBURY, J. **Towards Teaching Secondary School Physics in an Immersive 3D Game Environment.** GSTF Journal on Computing (JoC), v. 1, n. 1, 2018.

RODRIGUES, J. J. V. **O ensino de eletromagnetismo por meio da integração entre as atividades experimentais e computacionais: contribuições para o entendimento da indução eletromagnética.** Dissertação de mestrado, Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências Exatas, Centro Universitário Univates, 2016.

ROZA, M. P. da. **Processo de aprendizagem e auto(trans)formação docente em ambiente digital imersivo (ADI): convergência e novas coreografias no ensino superior.** Tese de Doutorado – Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Centro de Educação, Programa de Pós-Graduação em Educação, Santa Maria - RS, 2018.

SÁNCHEZ, N. F. **Entornos Virtuales de Aprendizaje. Instaurando un Mundo Virtual portable con OpenSim autónomo, en 24 horas.** Portal Educativo de las Américas Organización de los Estados Americanos, 2015. <http://recursos.Portaleducoas.Org/publicaciones/entornos-virtuales-de-aprendizaje-instaurando-un-mundo-virtual-portable-con-opensim>

SANTOS, J. V. C. **Aprendizagem do eletromagnetismo em cursos de engenharia: uma proposta da construção de laboratório virtual com abordagem de campos conceituais.** Dissertação de Mestrado - Universidade do Estado da Bahia. Departamento de Educação. Mestrado Profissional Gestão e Tecnologias Aplicadas a Educação - Salvador, 2016.

SANTAELLA, L. **Navegar no Ciberespaço - O Perfil Cognitivo do Leitor Imersivo.** São Paulo SP Editora: Paulus, 2009.

SECOND LIFE. **Second Life.** Disponível em: [http://wiki.secondlife.com/wiki/Main Page](http://wiki.secondlife.com/wiki/Main_Page). Acesso em 07 out. 2017.

SCHAF, F. M. **Arquitetura modular para ambientes virtuais de ensino de automação com suporte à realidade mista e colaboração.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Tese. 2011. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/28954.2011>>. Acesso em: 15 mar. 2017.

SHERMAN, W. R., CRAIG A. **Understanding Virtual Reality: Interface, Application, and Design**. San Francisco CA editora Morgan Kaufmann publishers, 2003.

SILVA, T. G. **Jogos Sérios em Mundos Virtuais: uma abordagem para ensino-aprendizagem de teste de software**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

SINGULARITY. **Singularity Viewer**. Disponível em: <<http://www.singularityviewer.org/>>. Acesso em 21 dez. 2018.

SKARREDGHOST. **The difference between presence and immersion**. The Ghost Howls. November. 2016. Disponível em:<<https://skarredghost.com/2016/11/09/thedifference-between-presence-and-immersion/>>. Acesso em: 10 jan. 2020.

SOARES, M. A. G., CRUZ, S. M. S. e CRUZ, F. A. de O. **Applets, apps e Química: a busca de ferramentas para construção do conhecimento**, Congresso Internacional de Educação e Tecnologias, Encontro de pesquisadores em Educação a Distância, 2018.

SCHWARTZMAN, S.; DURHAM, E. R. e GOLDEMBERG, J. **A Educação no Brasil em uma perspectiva de transformação**. Disponível em:<<http://www.schwartzman.org.br/simon/transform.htm>>. Acesso em: 19 de mar de 2016.

SOURIN A. **Case Study: Shared Virtual and Augmented Environments for Creative Applications. In: Research and Development in the Academy, Creative Industries and Applications**. Springer Briefs in Computer Science. Springer, 2017.

TAROUCO, L.; AMARAL, É.; ÁVILA, B.; ZEDNIK, H. **VEGA - Implementando um Laboratório Virtual Imersivo no OpenSim**. In: Revista Novas Tecnologias na Educação - RENOTE. Vol. 10, n. 1. 2012.

TAVARES, R. RODRIGUES, G. L. SANTOS, J. N. ANDRADE, M. **Eletromagnetismo: objetos de aprendizagem e a construção de significados baseados em um ambiente de múltiplas representações**. XIX SBIE, 2008.

TIBOLA, L. R. **Fatores ensejadores de engajamento em ambientes de mundos virtuais**. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Centro de Estudos

Interdisciplinares em Novas Tecnologias na Educação, Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação, Porto Alegre, RS, 2018.

TIBOLA, L. R. e TAROUÇO, L. M.R. **Rastreamento de Interações em Laboratórios Educacionais nos Mundos Virtuais 3D para Identificação de Engajamento.** In: Revista Novas Tecnologias na Educação - RENOTE, v.13, n.2, 2015.

TIPLER, P. A., LLEWELLYN, R. A. **Física Moderna.** LTC 6ªed. 2014.

UNESCO. **Relatório de Monitoramento Global de Educação Para Todos. Educação Para Todos 2000-2015:** Progressos e Desafios. Place de Fontenoy, 75352 Paris 07 SP, France, 2015.

UOL – EDUCAÇÃO. **Brasil é 57º do mundo em ranking de educação; veja evolução no Pisa desde 2000.** São Paulo 03/12/2019. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/educacao/2019/12/brasil-e-57o-do-mundo-em-ranking-de-educacao-veja-evolucao-no-pisa-desde-2000.shtml>. Acesso em: 23/12/2019.

UOL – EDUCAÇÃO. **Campo magnético – Lei de Ampère – Regra da mão direita e formulação matemática.** Disponível em: <https://educacao.uol.com.br/disciplinas/fisica/campo-magnetico---condutor-retilineo-aplicacoes-da-lei-de-ampere.htm>. Acesso em: 04 set. 2019.

VIEIRA V. COSTA A. GADELHA B. **Comparando as opiniões do professor e seus alunos sobre o uso de um laboratório virtual de robótica: um relato de experiência.** Anais do XXIV Workshop de Informática na Escola (WIE 2018). VII Congresso Brasileiro de Informática na Educação (CBIE 2018).

VILLANI, C.E.P., NASCIMENTO, S.S. do., **A argumentação e o ensino de ciências: uma atividade experimental no laboratório didático de física do ensino médio.** Investigações em Ensino de Ciências – V8 (3), pp. 187-209, 2003.

VOCENAELETRICA. Disponível em: <https://vocenaeletrica.com/aprenda-de-modo-facil-o-que-e-um-circuito-eletrico/> Acesso em: 20 Fev. 2020.

WALKER, J; HALLIDAY, D; RESNICK, R. **Fundamento de física, volume 3: eletromagnetismo.** 8ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

WARPEFELT, H. **The Non-Player Character: Exploring the believability of NPC presentation and behavior.** Doctoral thesis, Department of Computer and Systems Sciences, Stockholm University, 2016.

ZELTZER, D. **Autonomy, interaction, and presence**. Presence,1(1): p. 127-132. 1992.

FREEDMAN, R. A.; YOUNG, H. D. **Física III – Eletromagnetismo**. Pearson Universidades, 14ª Ed. 2016.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2001.

YILMAZ, R. M.; BAYDAS, O.; KARAKUS, T. e GOKTAS, Y. **An examination of interactions in a three-dimensional virtual world**. In: Computers & Education, Vol. 88, 2015, pp. 256 267, Disponível em <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036013151500130X>, Acesso em: 07 Ago.2017.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **FÍSICA III - Eletromagnetismo**. São Paulo: Pearson, 2016.

APÊNDICE I: ARTIGOS PUBLICADOS EM PERIÓDICOS

- 1- [doi>](#) PRESTES, L. P.; BOS, A. S.; **FERREIRA, V. A.**; HENRIQUES, R. VENTURA B.; ZARO, M. A.; AZEVEDO, D. F. G. DE; FAGUNDES, R. D. R. **Development of a Sound Simulator for inclusive Learning: The use of a Prototype in Teaching.** International Journal of Advanced Engineering Research and Science. , v.6, p.158 - 162, 2019.
- 2- **FERREIRA, V. A.**; BOS, A. S.; TAROUCO, L. M. R.; BECKER, F. **Operatoriedade cognitiva e experimentação virtual imersiva de Eletricidade.** RENOTE. Revista Novas Tecnologias na Educação. v.17, p.375 - , 2019.
- 3- [doi>](#) BOS, A. S.; PIZZATO, M.; **FERREIRA, V. A.**; SCHEIN, M.; ZARO, M. A.; TAROUCO, L. **The Impact of Effective Communication between Users in 3D Collaborative Virtual Environments: the conversational agent use case.** International Journal of Advanced Engineering Research and Science. , v.6, p.45 - 51, 2019.
- 4- **FERREIRA, V. A.**; NICOLETE, P. C.; TAROUCO, L. M. R.; BECKER, F. A **Epistemologia Genética em um Experimento Virtual Imersivo 3D de Magnetismo.** RENOTE. Revista Novas Tecnologias na Educação. v.16, p.1 - 11, 2018.
- 5- HERPICH, F.; FILHO, T. A. R.; TIBOLA, L. R.; **FERREIRA, V. A.**; TAROUCO, L. M. R.. **Learning Principles of Electricity Through Experiencing in Virtual Worlds** In: Communications in Computer and Information Science.01 ed.: Springer International Publishing, 2017, p. 229-242.

APÊNDICE II: PROTOCOLOS DAS ENTREVISTAS CLÍNICAS - EXPERIMENTO COM ÍMÃS

SUJEITO A:

O sujeito reconheceu e compreendeu a utilização dos elementos do painel de controle, o ímã superior e o objeto 1.

- 1) Com o ímã superior na posição inicial sem nada abaixo de si. - O que ocorrerá com o ímã superior quando ele for liberado pela alavanca um? *“Ele desce.”* - Como você sabe disso? *“Eu não sei, eu chutei. Eu acho que ele vai se afastar do peso, eu não sei.”* O sujeito demonstrou desconhecimento da influência da força gravitacional agindo sobre a massa do ímã para trazê-lo ao nível do piso do experimento. Após o acionamento da alavanca 1 o sujeito verificou que o ímã desceu livremente até o chão. - O que provocou a queda do ímã? *“Eu liberar (abrir) o gancho, mas o porquê de ter caído eu não sei.”*
- 2) O ímã inferior foi posicionado abaixo do ímã superior, ambos com os polos na mesma posição. - O que vai acontecer quando você liberar o ímã superior? *“Eu acho que eles vão se encostar.”* - Por que você acha isso? *“Porque eles são dois ímãs, e ímã com ímã se...”* A hipótese criada pelo sujeito aponta que o ímã superior somente irá descer devido à ação exercida pelo ímã inferior.
- 3) Após o acionamento da alavanca 1 e a liberação do ímã superior, este desce, porém permanece a certa distância do ímã inferior, devido às forças de repulsão exercidas pelos polos magnéticos de ambos ímãs (a hipótese do sujeito não foi bem-sucedida). -O que aconteceu? *“Ele desceu, mas não chegou a encostar, apenas desceu um pouco.”* - Por que os ímãs não se encostaram? *“Não sei, por causa do peso, não é?”* – Por que o ímã superior não caiu direto até o ímã inferior? *“Por causa do inferior que tá ali, tem alguma coisa ali no meio deles, mas eu não sei o nome.”*
- 4) - Nesta situação, se você colocar o objeto 1 sobre o ímã o que acontecerá? *“Ele vai descer mais, ele vai descer mais1 pouco, vai para perto do inferior.”* - O que mantém o ímã superior parado na posição em que está? *“O peso do objeto 1 é que tá mantendo ele ali, eu não faço a mínima ideia do porquê mas to vendo que é ele.”*
- 5) Após o acionamento da alavanca 2 o objeto 1 é posicionado sobre o ímã superior e ambos descem mais um pouco na direção do ímã inferior. - O que aconteceu? *“Desceu mais.”* - Por que desceu? *“Porque o peso (objeto um) fez força para ele descer.”* Observando o fato do ímã superior não encostar no ímã inferior o sujeito exclamou: *“Os*

ímãs, eles têm alguma coisa, alguma força, que faz eles não se encostarem, mas eu não sei o nome.”

- 6) - Se o objeto 1 for recolhido de cima do ímã superior, o que acontecerá? *“Ele (ímã superior) sobe mais um pouco.”* - Como você sabe disto? *“Por causa dessa força que tem entre os dois ímãs, que não deixa ele se encostarem. Ele vai sair, vai tirar o peso de cima do ímã e ele vai subir mais um pouco.”* Após o recolhimento do objeto 1 o sujeito observou que sua hipótese estava correta.
- 7) O ímã superior é recolhido para sua posição inicial. - E se a posição horizontal do ímã inferior for invertida, trocando os polos de posição, o que acontecerá quando o ímã superior foi liberado novamente? *“Eles vão se juntar.”* - Por quê? *“Por causa disso aqui (apontando para os polos do ímã inferior), é uma parte azul e uma parte vermelha, que se inverter vai ficar o contrário do outro e não vai fazer a mesma força que fez antes.”*
- 8) O ímã superior é liberado e atraído para os polos do ímã inferior. – Por que se juntaram agora? *“Não faço a mínima ideia, eu acho que é por causa disso que eu falei antes.”* - O que tem de diferente agora da situação anterior, onde o ímã superior não encostava no inferior? *“O ímã de baixo está invertido e as cores estão diferentes, então a força que faz eles se afastarem fica mais fraca.”*
- 9) O ímã superior voltou à posição inicial e o inferior foi novamente invertido horizontalmente com coincidência na posição dos polos. O objeto 2 é selecionado e apresenta dimensões maiores que o objeto um. - Quando o ímã superior for liberado que efeito fará sobre este, a liberação do objeto 2? *“O ímã superior vai descer de novo e com o objeto 2 provavelmente vai descer mais do que antes.”* - Por quê? *“Porque ele apresenta ser mais pesado do que o outro.”*

SUJEITO B:

O sujeito compreendeu o uso do painel de controle selecionado o ímã grande e o objeto 2, também reconheceu tanto o ímã quanto o objeto acima deste, assim como os botões e alavancas do painel de controle.

- 1) Quando o ímã superior for liberado pela alavanca número1 o que ocorrerá com este? *“Não sei, ele vira ao contrário para cima? Ou ele some e fica recolhido?”* (O sujeito não aventou a possibilidade da atuação da força gravitacional).

- 2) O sujeito clicou na alavanca número 1 e o ímã superior foi liberado caindo até o piso do experimento. - O que aconteceu com o ímã? *“Foi lá para o chão.”* - Por quê? *“Ué, não sei, isso aqui atraiu ele (apontando para o tapete que fica acima da base de pedra do experimento)? O chão atraiu ele? Porque ele parou de funcionar (para o sujeito algo no chão atraiu magneticamente o ímã para baixo).”* Após algumas manipulações da alavanca número 1, colocando o ímã na posição inicial e soltando o mesmo para descer até o chão, o sujeito exclamou: *“Antes ele tava sendo segurado (pelo braço do ímã), quando ele é solto a gravidade puxa ele (agora o sujeito dá-se conta da ação da força da gravidade).”*- Outro colega seu falou que o ímã iria subir quando fosse liberado, você concorda com ele? *“Não, sempre que eu libero ele cai.”*
- 3) O ímã inferior foi posicionado abaixo do ímã superior com coincidência de polos. - Se você clicar na alavanca 1 e o ímã superior foi liberado, o que vai acontecer com ele? *“Eu acho que se eu soltar isso aqui (alavanca 1) ou ele vai bater aqui (ímã inferior) ou eles vão ficar se puxando, eu acho. Os dois vão ficar se puxando e eles vão se topar aqui no meio”.* O sujeito faz alusão a atração mútua entre os ímãs causar uma movimentação simultânea que culminará no choque em uma posição mediana das hastes. Até o momento ele não demonstra ter conhecimento do conceito de repulsão magnética ocasionada pela posição dos polos dos ímãs.
- 4) Quando o ímã superior é solto o sujeito reconhece o comportamento diverso da hipótese criada: *“Ah! Ele não caiu por causa que eles estão se contraindo (atraindo), é a força entre eles, não é? Puxando um para o outro, por isso ele não caiu totalmente aqui. Ele fica na metade do caminho, não bate no chão nem encosta no ímã inferior (apresenta confusão entre os conceitos de atração e repulsão magnéticas).”*
- 5) – Por que o ímã superior fica parado nesta posição, sem encostar no de baixo? *“O caminho dele é bater no chão, ele não encostou no chão porque tem o ímã inferior no caminho. Ele não encostou no inferior, o porquê eu não sei.”* O sujeito insiste na força de atração, sem fazer qualquer menção à força de repulsão magnética entre os ímãs.
- 6) O ímã superior é recolhido e o inferior tem a posição dos seus polos invertida (alavanca 4). - O que aconteceu agora? *“Ele se virou”* - Qual será o efeito que o inferior terá sobre o superior? *“Os lados deles são opostos, são diferentes.”* - O que vai acontecer quando o ímã superior for solto? *“Eu acho que eles vão se bater.”* - Por quê? *“Porque os lados são diferentes, não são iguais, são opostos. Forças diferentes talvez.”*
- 7) A alavanca 1 é acionada e o ímã superior liberado. - O que aconteceu? *“É.. Se bateram porque as pontas não são iguais.”* (Faz alusão a confirmação da sua hipótese). - Qual é

o efeito então? *“É que não tem força em comum (o sujeito não consegue concluir que existe uma força magnética de atração entre os ímãs, mas simplesmente o ímã superior bateu no inferior porque este estava no caminho até o piso do experimento).”*

- 8) Recolheu-se o ímã superior e inverteu-se novamente a posição horizontal do inferior. – Se o ímã superior for liberado, o que acontecerá? *“Ele vai ficar no meio do caminho que nem antes”*. - Por quê? *“Porque agora com as pontas iguais eles têm a mesma força.”*
- 9) Com o objeto 2 selecionado. - Se o objeto 2 for posicionado em cima do ímã superior, o que acontecerá? *“Eu acho que vai forçar ele e o ímã vai descer.”* – Por que ele vai descer? *“Porque o objeto 2 está se sobrepondo ao ímã superior e o ímã superior vai descer por causa da força do objeto 2 (o sujeito reconhece a influência do peso do objeto 2 sobre o ímã superior) ”*
- 10) O objeto 2 é posicionado sobre o ímã superior. - O que aconteceu? *“O peso deste aqui faz abaixar um pouco, mas não foi o suficiente para ele se encostarem.”* - Por que o ímã superior baixou? *“Porque ele (objeto 2) botou a força dele sobre o outro (ímã superior). ”* - Por que não encostou então? *“Porque não foi pesado o suficiente.”*
- 11) - Se o objeto 2 for retirado o que acontecerá? *“O ímã superior vai voltar para onde ele estava”* - Por quê? *“Porque não vai ter mais peso em cima dele, não vai ter mais força em cima dele se juntando com a dele para levar para baixo (o sujeito reconhece o somatório o peso do objeto 2 com o do ímã superior).”*
- 12) - Há diferença entre o objeto 2 e o objeto 1? *“Sim objeto 1 é menor. ”* - Se este objeto 1 for colocado sobre o ímã superior, o que acontecerá? *“Ele (ímã superior) vai descer.”* - Descer mais ou menos? *“Menos porque objeto 1 é menor que o objeto 2. Precisaria de um objeto 3 maior pra fazer eles (os ímãs) se tocarem, estando com as pontas iguais (o sujeito elabora uma hipótese fruto de uma abstração reflexionante).”*
- 13) Quando o objeto 1 é posicionado sobre o ímã superior: - Aconteceu o que você previu? *“Sim, mas com o objeto 2 chegou mais perto.”*
- 14) - Se fosse possível inverter os polos do ímã superior e ele fosse liberado, o que aconteceria? *“Eu acho que ele ia cair, encostar no inferior”* - Por quê? *“Porque os polos estão trocados.”*

SUJEITO C:

- 1) - Se você clicar na alavanca 1 e liberar o ímã superior, o que ocorrerá? O sujeito não soube responder o que ocorreria por não compreender o mecanismo de movimentação do ímã superior.
- 2) Após clicar na alavanca 1 verificou que o ímã superior desceu até o chão. - O que aconteceu com o ímã superior? *“Ele desce.”* - Por quê? (O sujeito não consegue relacionar a queda do ímã com a atuação da força gravitacional).
- 3) Com o ímã inferior posicionado abaixo do ímã superior perguntou-se: quando o ímã superior foi liberado o que vai acontecer? *“Ele vai soltar para... sei lá, ligar com o ímã abaixo.”* - Ele vai bater no ímã de baixo? *“Ah não, está certo é ímã com ímã aqui”* (o sujeito aponta para as cores dos polos de ambos os ímãs, demonstrando que estão na mesma posição). *“Aqui é ímã com ímã e ele vai vir até aqui vai voltar de novo? Eu acho que sim, ele vem até aqui e volta”* (o sujeito demonstra ter uma ideia de que haverá repulsão entre os ímãs). - Por que isso? *“Porque aqui tem uma carga... tipo assim... ímã com ímã ele se opõe... não sei o quê, mas agora a força não vai deixar ele... vai jogar de volta.”*
- 4) Com o ímã superior repellido pelo ímã inferior. *“É... ele não chegou a grudar.”* - O que aconteceu? *“Ele foi, voltou, mas ficou naquele espaço onde está o eletromagnetismo”* - Por que isso aconteceu? *“Porque não poderia ser diferente contendo duas forças iguais aqui”* (apontando para a coincidência de cores dos polos dos dois ímãs).
- 5) - Por que o ímã superior desceu em vez de subir? *“Ele desceu porque aqui em cima ele não tinha... ele tinha força dele abaixo, aí ele ia descer.”* - Por que o ímã não encostou totalmente no outro? *“Por causa da força deste aqui que tá ativada* (apontando os polos do ímã inferior)”.
- 6) - Se for colocado o objeto 1 em cima do ímã superior o que vai acontecer? *“Hum...”* (sujeito pensativo) – Teve um colega seu que disse que o ímã superior vai subir, você concorda com isso? *“Bem aqui ele tá solto né?”* (Falando do estado do ímã superior). *“Colocando outro objeto em cima dele... ele vai subir? Hum...”*(sujeito refletindo sobre a proposição) *tenho dúvida em relação a isto.”*
- 7) O objeto 1 é liberado sobre o ímã superior. - O que aconteceu? *“Sim ele liberou, ele (objeto 1) jogou mais pra baixo (o ímã superior) com a força...hum...”*(sujeito retira e coloca o objeto 1 várias vezes sobre o ímã superior). – O que aconteceu quando o objeto 1 foi solto em cima do ímã superior? *“Pressionou com maior peso pra forçar...tipo se*

aproximar do ímã de baixo.” - Por quê? “Hum....se aproximou porque ele teve uma corrente de outro elemento...sei lá....(resposta inconclusiva).” Ao que parece, o sujeito imagina que o ímã superior tem alguma interação magnética com os elementos como hastes, os objetos 1 e 2 e até o tapete que está no chão do experimento.

- 8) - Por que quando você recolhe o objeto 1 o ímã sobe? *“Porque ele (ímã superior) não tá mais em contato com esse elemento desse material aqui (objeto 1).”* O sujeito não menciona a diminuição da força peso do conjunto ímã superior mais objeto 1, em relação à força de repulsão magnética.
- 9) - O que acontece se o ímã inferior tiver os polos invertidos e o superior for liberado? *“Vai alterar...ele vai ficar negativo com positivo...(não menciona polos magnéticos).”*
- Qual o efeito físico disto? *“Ele pode grudar, porque aí são outros elementos...forças diferentes.”* - Como você sabe disto? *“To imaginando isto, não tenho certeza.”*
- 10) Após a liberação do ímã superior e a conseqüente atração: *“Olha aí oh grudou, tá certo (referente a hipótese formulada).”* - Por que grudou? *“Porque é negativo com positivo... tem a ver? Eu não sei... o azul é positivo ou negativo? Eu não sei”.* (não menciona os polos norte ou sul magnéticos). *“Se essas coisas estão me dizendo alguma coisa, eu fui no senso comum de que grudaria.”* O sujeito apresenta indícios de que polos opostos se atraem e iguais se repelem, mas não possui os conceitos físicos construídos a ponto de utilizá-los coerentemente.

SUJEITO D:

Inicialmente o sujeito não compreendeu de maneira efetiva a função dos botões (seleção de ímãs e objetos 1 e 2) do painel de controle, outro aspecto é ter considerado os objetos 1 e 2 como metálicos, pensando que tais objetos iriam influenciar de alguma forma o ímã superior. Então, foi esclarecido que todos os materiais, exceto os dois ímãs, não são metálicos ou magnéticos.

- 1) Após clicar na alavanca 1 o ímã superior foi liberado e correu pelas hastes até o chão do experimento. - O que aconteceu? *“Abriu o cadeadinho e liberou as argolinhas que seguravam, daí o ímã correu pela haste.”* - Por que ele caiu? *“Porque....Norte...sul...(aspecto pensativo, não achou resposta ao questionamento).”* - Por que o ímã não subiu? *“Tá daí essa haste é de metal?”* O sujeito acreditava que as argolas eram de metal e poderiam influenciar na movimentação do ímã.

- 2) - Por que o ímã superior foi para baixo e não para cima? Em vez de responder, o sujeito procurou simular novamente o comportamento do ímã superior, clicou na alavanca 1 para recolher o ímã superior e para liberá-lo novamente, o qual caiu até o piso do experimento. – Por que ele foi para baixo? *“Tá mas aí foi por causa da força da gravidade.”* Ao que pareceu, o sujeito não estava considerando a força da gravidade como causadora da movimentação do ímã superior por ser algo óbvio demais para ele, procurando algum outro tipo de interação magnética entre o ímã e os materiais ao seu redor como hastes, objeto 1 e argolas. O sujeito só chegou na conclusão da influência da força da gravidade após descartar qualquer outro tipo de influência magnética com o ímã superior.
- 3) O ímã superior foi recolhido para sua posição inicial e o ímã inferior foi colocado abaixo dele com coincidência de polos. - O que vai acontecer quando o ímã superior for liberado? *“Ele vai cair também. Supondo assim, Polo Norte e Polo Sul (aponta para o ímã inferior), aqui eu estou com os mesmos polos (aponta para o ímã superior). Os polos opostos vão se atrair, aqui eu tenho os polos iguais.”* - O que você acha que vai acontecer? *“Ele vai cair graças a gravidade também né? Vai cair só (o sujeito não consegue incluir ou identificar a da força de repulsão entre os ímãs e sua influência na retenção da queda do ímã superior).”*
- 4) Quando o ímã superior foi liberado, desceu e foi repelido pelo ímã inferior, o sujeito observou: *“Hum...ele ficou com a força de repulsão ali, porque senão ele...”*(O sujeito não completa a explicação do fenômeno), - O que fez o ímã cair? *“Ah pera aí...tá... polos opostos se atraem, mas os mesmos polos vão se repelir.”* – Por que o ímã superior não encosta no ímã de baixo? *“Tem uma força magnética aí.”* - Existem forças físicas agindo no ímã superior? Quais? *“Tem, a gravidade...(sujeito pensando), se eu conseguisse virar aqui (inverter posição do ímã inferior) eles se atrairiam, ficariam grudadinhos.”*
- 5) O que você pode dizer do estado do ímã superior, ele está em equilíbrio ou não? *“Hum...ele não está em movimento né...mas as forçinhas dele, é como se tivesse uma para cima e outra para baixo. O ímã de cima tem uma força da gravidade que está se equilibrando com uma força magnética...de repulsão? É isso?”*
- 6) O que vai acontecer se o objeto 1 for colocado sobre o ímã superior? *“Ele vai ter uma força peso...”* (o sujeito não soube dizer o que esta força peso causaria no ímã superior). Então, o objeto 1 é posicionado sobre o ímã superior fazendo-o descer um pouco. – Por que isto aconteceu? *“No caso, ele aumentou a massa e em consequência o peso, aí ele*

aproximou do ímã de baixo.” - Por que o ímã superior desceu? “Porque ele ficou com a massa maior.” - Por que ele ainda não encostou no ímã inferior? “Porque agora... pois é... (sujeito pensando em alguma explicação). É um teste de raciocínio mesmo, porque a gente fica pensando lá na teoria que aprendeu lá atrás.”

- 7) - Quando o objeto 1 for recolhido o que acontecerá com o ímã superior? *“Ele vai subir de novo e daí vai ficar com a massa anterior e aí vai mexer no resultado das forças.” - Como você sabe disso? “Eu imagino que sim.”* Ao ver o objeto 1 ser retirado de cima do ímã superior e este subir até a posição que estava antes do objeto 1 ser adicionado, o sujeito exclamou: *“Ah tá...”* – Por que ele subiu? *“Ele subiu como ele estava antes né? Tem a força peso dele, tem a força magnética que o outro exerce, deve estar a força peso dele igual a força magnética, ele está em equilíbrio aqui. E antes, a força peso dele aumentou, ele chegou até um certo ponto.”*
- 8) Trabalhando com objeto 2 na situação de repulsão entre os ímãs. - O que ocorrerá quando o objeto 2 for liberado sobre o ímã superior? *“Ele tem maior massa então o ímã vai descer mais”* – Por que vai descer mais? *“Maior força peso, mas talvez o ímã superior não encoste ainda.”* Após a liberação do objeto 2 sobre o ímã superior, o sujeito demonstra contentamento pela confirmação da hipótese: *“Ele baixou mais, mas ainda tem a força magnética de repulsão ali né, atuando.”*
- 9) - Se você pudesse colocar o dedo em cima do objeto 2 e fosse empurrando ele para baixo, o que ia acontecer? Por quê? *“Eu imagino enquanto eu tiver exercendo uma força maior talvez ele possa se aproximar, mas ele sempre vai tentar exercer uma força em cima (contra) da minha mão.”*
- 10) Após ocorreu o recolhimento do objeto 2 e do ímã superior para posterior inversão na posição horizontal do ímã inferior. - Se o ímã superior foi liberado agora, o que acontecerá? *“Eles vão se atrair.”* - Por quê? *“Os polos dos ímãs são opostos.”*

SUJEITO E:

- 1) - Se o ímã superior for liberado o que acontece com ele? *“Ele vai cair.”* - Por quê? *“Porque não tem nenhuma força puxando ele para cima (estava se referindo abertura do gancho que segura o ímã superior). Ele vai cair porque a força tá puxando aí para baixo”* - Que força? *“A força gravitacional tá puxando ele para baixo.”*
- 2) O ímã inferior é liberado e posicionado abaixo do superior, em posição de repulsão. - Se você liberar o ímã superior o que irá acontecer? *“Ele vai se manter na mesma*

posição.” - Por que isso vai acontecer? *“Porque o outro ímã está funcionando, então eles não se juntam, vão ter forças contrárias.”* - Como você sabe disso? *“Porque eles se repelem.”* - Como você sabe disso? *“Porque tem a mesma carga, são os dois positivos eu poderia dizer”*. Após o ímã superior ser liberado. - O que aconteceu? *“Ele baixou um pouco, mas não ficou junto porque as forças se repelem.”*

- 3) - E se o objeto 1 for colocado em cima do ímã superior, o que vai acontecer? *“Ele vai subir, o objeto 1 vai puxar o ímã.”* - O objeto não é metálico. *“Então ele vai ficar em cima do ímã.”* (aparente desconhecimento do efeito da força peso do objeto 1 sobre o ímã superior). *“O ímã vai ficar na mesma posição.... Não, pera aí, eles vão se juntar, pelo peso do objeto 1.”* O que vai se juntar? *“Os ímãs.”*
- 4) O objeto 1 foi liberado e posicionado em cima do ímã superior. - O que aconteceu? *“Eles se aproximaram, mas não se juntaram.”* - Por que não se juntaram? *“Pelos forças que fazem eles se repelirem, o peso do objeto não foi suficiente para unir os dois ímãs.”*
- 5) - Quais são as forças que agem sobre o ímã superior? *“Tem a força gravitacional que está sendo aplicada aqui (aponta para o centro do ímã superior), a força que é aplicada para cima do ímã, para o objeto 1.”* - O ímã superior está em repouso? *“Sim está em repouso.”* - Por quê? *“O porquê depende do referencial né? Em relação ao ímã superior, porque ele não está variando a distância entre o ímã de baixo”*.
- 6) - Se for colocado sobre o ímã superior um objeto com uma massa maior que a do objeto 1, o que acontecerá? *“Se for de maior massa ele vai se aproximar, mesmo assim ele (ímã superior) não vai se juntar”* - Por que não vai se juntar? *“Porque a força dos ímãs não deixa eles se juntarem.”*
- 7) Objeto 1 é retirado. - O que aconteceu com o ímã superior? *“Como não tinha o peso do objeto 1 ele só se manteve na distância que um consegue se manter mais separado que o outro.”* - Antes o ímã superior estava mais embaixo ou mais em cima? *“Com o objeto 1 ele fica mais baixo”* - Com a retirada do objeto 1, o que aconteceu? *“Ele voltou a ficar mais distante, porque sem o objeto 1 essa é distância que eles se repelem”*.
- 8) - O que significa o ímã superior estar em repouso, em termos de forças? *“Porque ele está parado, está em repouso, está em equilíbrio.”* O sujeito não soube relacionar o diagrama de forças envolvendo a força peso do ímã superior e a força magnética de repulsão.
- 9) Os polos do ímã inferior são invertidos em relação ao do ímã superior. - O que acontece agora se o ímã superior for liberado? *“Vai acontecer a mesma coisa, eles vão se juntar.”* - O que aconteceu? *“Sim, eles estão com cargas diferentes”* - No caso, as cores ali dos

extremos dos ímãs? *“Sim, agora eles se uniram, antes ele tinha uma distância com o objeto, essa distância diminuiu. Pela massa do objeto ele fez uma pressão e fez diminuir a distância, mas mesmo assim eles não se encontravam. Agora que inverteu os polos, ele se juntaram”*.

SUJEITO F:

- 01) - O que fez o ímã superior descer? *“É a gravidade mesmo.”* - Qual a direção e o sentido da gravidade? *“Direção vertical e sentido para baixo”* (os letreiros mudando de cor facilitaram ao sujeito identificar, pela cor, qual dispositivo estava liberado ou bloqueado).
- 02) - Com o ímã inferior posicionado abaixo do superior, o que vai acontecer quando ele for liberado? *“Ele vai ser solto, vai descer, vai bater no outro e vai parar por isso né?”*
- 03) O ímã superior foi liberado e repellido pelo ímã inferior: *“Ah é, ele não parou ali.”* - Por que isso aconteceu? *“Por que tem uma força aqui então né?”* Apontando para a distância entre os dois ímãs. *“Deve ter uma força de mesmo sentido aqui, porque elas estão se repelindo.”*
- 04) - O ímã superior está em equilíbrio? *“Eu acho que sim, porque se estivesse em desequilíbrio ele estaria em ‘desnível’, um lado mais alto e outro mais baixo, seria isso?”*
- 05) - Você tem alguma ideia das forças que estão agindo sobre ele? *“Ele tá solto aqui né, tem uma força da gravidade para baixo aqui, essa outra força que tá agindo aqui deve ser uma força eletromagnética então (não definiu verbalmente a direção e sentido desta força)”*.
- 06) - Se colocarmos o objeto 1 em cima do ímã superior, o que vai acontecer? *“Vai ter uma força que vai agir do objeto com o ímã, uma força pra baixo, se essa força for maior que a força de repulsão, o ímã vai descer né?”*
- 07) - Quando o objeto 1 foi posicionado sobre o ímã superior, o que aconteceu? *“O ímã desceu por isso”* - Por quê? *“A força peso do objeto 1, que tem sentido para baixo, venceu a força de repulsão entre eles né, por isso ele desceu.”* - Como você sabe disto? *“Porque é a resultante das forças né.”* – Teve um colega seu afirmando que com o objeto 1 em cima do ímã, ele iria subir em vez de descer, você concorda com isso? *“Não, porque não tá imantado aqui (mostrando o objeto 1), não ia subir não.”*

- 08) O objeto 1 foi retirado do ímã superior. - Por que o ímã subiu? *“Não sei, não vi.”* O sujeito manipulou várias vezes a alavanca 2 para verificar a descida e a subida do ímã superior. *“Ah quando colocou, a força peso venceu a força de repulsão ali e aí ele desceu, quando tirou, a força de repulsão entre os dois foi maior, por isso que ele subiu.”*
- 09) - Se a posição dos polos do ímã inferior for invertida, o que ocorre? *“Ah tá, agora ele vai descer né, vai grudar”* - Por que grudou? *“Porque agora não tem mais uma força de repulsão ali né, eu entendo que o azul e o vermelho tem polaridades diferentes né. Então não tem mais força de repulsão de mesma polaridade”* - Ainda existe alguma força no sistema? *“Tinha a força da gravidade porque ele tava caindo e como não tinha a força de repulsão, ele grudou (não citou a força de atração magnética).”*
- 10) - Selecionado o objeto 2, o que ocorrerá se o mesmo for posicionado sobre o ímã superior? *“Eu não me lembro pra fazer a comparação. Não, ele desceu a mesma coisa”* - Tem umas marcações nas hastes. *“ (sujeito observa as hastes por onde desce o ímã superior) Ah... ele desceu um pouco mais”* – Por que ele desceu mais? *“Se o ímã desceu mais a massa do objeto 2 tem de ser diferente do objeto 1, porque a gravidade se mantém, então ele tem de ser mais pesado.”*
- 11) - Por que o ímã superior ainda não encostou? *“Porque ainda tem aquelas forças de repulsão ali.”* - Se você retirar o objeto 2 do ímã o que ocorre? *“O ímã vai subir.”* - Por quê? *“Vai subir porque não vai ter mais a força peso agindo pra baixo, então a força de repulsão vai ser maior.”*

SUJEITO G:

- 1) - Se você clicar na alavanca 1 e liberar o ímã superior, o que vai acontecer? *“Ele vai cair.”* - Por quê? *“Por causa da gravidade.”* Após o acionamento da alavanca 1. - O que aconteceu? *“Ele caiu.”* (o sujeito compreendeu perfeitamente ação da força da gravidade sobre o ímã superior.)
- 2) O ímã inferior foi posicionado abaixo do ímã superior, com coincidência de polos. - O que vai acontecer quando o ímã superior for liberado? *“Se eu soltar o ímã de cima?”* - Sim. *“E aqui é um ímã também? (referente ao ímã inferior)”* - Sim. *“Ele vai cair, só que não vai encostar no ímã, no outro ímã ali totalmente.”* - Por quê? *“Porque são polos iguais... eles... eu não lembro a palavra exata agora, do que eu estudei... mas eles não se encostam.”*

- 3) O ímã superior é liberado. - O que aconteceu? *“É...ele caiu e manteve uma certa distância.”* - Por que isso? *“É porque os polos são os mesmos, são iguais assim...”*
- 4) - Quais são as forças que agem no ímã superior? *“Eu acho que o ímã de baixo age contra ele para ele não cair totalmente, não sei como seria a força...Não me lembro... seria eletromagnética...O campo magnético ali (entre os ímãs) não deixa ele encostar totalmente ali embaixo no outro ímã né. Ele caiu até aqui por causa da gravidade.”*
- 5) - Se for colocado um objeto 1 em cima do ímã superior o que acontecerá? *“Fica no mesmo lugar, o ímã não move não se mexe.”* O sujeito clica na alavanca 2 e o objeto 1 é sobreposto ao ímã superior. - O que aconteceu? *“Se mexeu um pouquinho, foi um pouquinho para baixo.”* - Por quê? *“Por causa do peso do objeto.”* - O ímã não encostou no outro por quê? *“Porque o campo é mais forte que o peso total.”*
- 6) Quando o objeto 1 for retirado de cima do ímã superior, o que acontecerá? *“Ele volta para o lugar que tava antes, sobe um pouquinho de novo.”* - Por quê? *“Por que daí não vai ter o peso em cima do ímã né? E a força que esse de baixo gera vai fazer ele voltar para posição que ele estava antes.”* O objeto 1 é retirado de cima do ímã. - Aconteceu o que você tinha pensado? *“Sim.”*
- 7) - Se o ímã superior for recolhido à sua posição inicial e o ímã inferior tiver os polos invertidos e o ímã superior for solto, o que ocorre? *“Ele encosta, os ímãs se encostam.”* - Por quê? *“Porque eles são polos diferentes.”* A alavanca 4 é acionada e inverte os polos do ímã inferior, em seguida o ímã superior é liberado. - Aconteceu o que você tinha pensado? *“Sim”*. - Qual a diferença da situação atual para situação anterior de liberação do ímã? *“É que agora eles se encostaram porque os polos são diferentes.”*

SUJEITO H:

- 1) Se você liberar o ímã superior o que vai acontecer? *“Ele vai cair só.”* - Por quê? *“A gravidade vai ser a única força sobre ele.”*
- 2) O ímã inferior é posicionado abaixo do ímã superior. - Se o ímã superior for liberado, o que acontecerá? *“Ele vai subir.”* - Por quê? *“Se eu suponho que as cores são as polaridades, as polaridades estão alinhadas com as mesmas, ‘mais com mais’, ‘menos com menos’ e polaridades iguais se repelem (o sujeito acredita que haverá uma repulsão e o ímã superior está preso apenas para não se afastar do ímã inferior).”*
- 3) O ímã superior é liberado. - O que aconteceu? *“Hum...a distância... tá. Ele caiu um pouco, mas continuou repelindo. A força dos ímãs, ela é tão forte que faria ele subir.”*

- 4) - Quais são as forças que estão agindo sobre o ímã superior nesse momento? *“A força gravitacional e a força magnética.”* Como você representaria estas forças? *“Mesma direção sentidos opostos.”* E o módulo das forças é o mesmo? *“Atualmente sim.”* - Por quê? *“Porque ele (ímã superior) tá parado, uma tá empurrando para cima e outra para baixo. O único modo dele ficar parado é que as forças tivessem o mesmo módulo.”*
- 5) - Se você colocar o objeto 1 em cima do ímã superior, o que vai acontecer? *“Ele ia descer um pouco mais, ou muito mais, não sei.”* Após acionar a alavanca 2 e liberar o objeto um. - O que aconteceu? *“Adicionou uma força peso nele.”* - E aí? *“Aumentou a força que vem de cima, porque o peso gravitacional aumenta com a massa e consequentemente aumentou a força magnética para compensar essa força gravitacional.”*
- 6) - No caso do objeto 1 ser retirado de cima do ímã superior, o que acontece? *“Ele (ímã superior) vai de volta para posição anterior.”* - Por quê? *“Porque assim que tirasse o peso, a força de baixo, de repulsão, seria mais forte que somente a força peso do ímã. Aí a força magnética ia mover o ímã para cima até o ponto que iria equilibrar com a força peso dele.”* - Aconteceu o que você esperava? *“Sim”.*
- 7) - Com o ímã superior na sua posição inicial, se o inferior tiver sua posição invertida horizontalmente, o que acontecerá quando o ímã superior for liberado? *“Eles vão se atrair.”* Então, a alavanca 4 é acionada, o ímã inferior tem a posição dos polos invertida e o ímã superior é liberado. Aconteceu o que você tinha previsto? *“Sim.”*

Sujeitos	Experimento com Ímãs								Total
	A	B	C	D	E	F	G	H	
Abstrações Reflexionantes	1	1	0	1	2	2	2	1	10
Tomadas de consciência	1	1	0	0	1	0	1	0	4
Coordenações Causais	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Coordenações Inferenciais	1	1	1	4	1	3	2	2	15

Abstrações Reflexionantes	
Sobreposição dos objetos 1 ou 2 no ímã superior	4
Recolhimento dos objetos 1 ou 2 de cima do ímã superior	3
Posições dos polos magnéticos dos ímãs superior e inferior	2
Forças envolvidas no equilíbrio do ímã superior	1

Localização das Abstrações Reflexionantes no protocolo = (sujeito; item)

(A; 9), (B; 12), (D; 8), (E; 4), (E; 5), (F; 6), (F; 8), (G; 5), (G; 7), (H; 2)

Tomadas de consciência

Inversão entre os polos dos ímãs superior e inferior causando atração	2
Não-inversão entre os polos dos ímãs superior e inferior causando repulsão	1
Oposição entre as forças gravitacional e de repulsão magnética	1

Localização das Tomadas de consciência no protocolo = (sujeito; item)

(B; 8), (B; 14), (E; 9), (H; 3)

Coordenações Causais

Aumento do peso do conjunto objeto + ímã superior e aproximação do ímã inferior	1
---	---

Localização das Coordenações Causais no protocolo = (sujeito; item)

(D; 6)

Coordenações Inferenciais

Atração e repulsão entre os ímãs devido a posição dos polos magnéticos	4
Sobreposição ou retirada dos objetos 1 e 2 do ímã superior	8
Ação das forças para equilibrar o ímã superior	2
Ação da força da gravidade sobre o ímã superior solto	1

Localização das Coordenações Inferenciais no protocolo = (sujeito; item)

(A; 7), (B; 9), (C; 3), (D; 5), (D; 7), (D; 8), (D; 9), (E; 6), (F; 7)

(F; 9), (F; 10), (G; 1), (G; 2), (H; 4), (H; 5)

APÊNDICE III: PROTOCOLOS ENTREVISTAS CLÍNICAS - EXPERIMENTO LEI DE KIRCHHOFF

SUJEITO A:

- 1) O sujeito reconheceu apenas as baterias e as lâmpadas.
- 2) - Se você clicar do interruptor da esquerda o que irá acontecer? *“Eu acho que a lâmpada vai acender.”* - Quais lâmpadas vão acender? *“Essa.”* (aponta para lâmpada da esquerda); - Acontece mais alguma coisa? *“Provavelmente aqui vai se mexer (ponteiro do amperímetro), mas eu não sei para onde.”*
- 3) O sujeito clica no interruptor, acendem as lâmpadas da esquerda e central e os respectivos amperímetros marcam o mesmo valor de corrente elétrica (2,5mA). - O que aconteceu? *“Acendeu a da esquerda e a do meio.”* - O que mais aconteceu no circuito? *“Mexeu o ponteiro para 2,5.”*
- 4) - O que acontecerá se você alterar a posição do anel central do resistor da esquerda? *“Provavelmente vai diminuir o valor no ponteiro, mas as lâmpadas vão continuar ligadas.”* - Como você sabe disto? *“Eu não sei, sei lá... eu deduzi isto. Porque vai tá diminuindo a potência (resistência elétrica) mas não vai desligar as luzes. Elas podem ficar mais fracas talvez mas não vai desligar.”* - Não vai desligar por quê? *“Porque ela não tá desligada, ela tá ligada, só tá diminuindo a potência.”* (O sujeito faz menção ao fato do filamento da lâmpada estar avermelhado, indicando que a mesma não está em acendimento pleno.)
- 5) O resistor da esquerda é acionado para modificar seu valor para metade da sua resistência. - O que aconteceu? *“Ela (lâmpada) ligou... Ela ficou amarela, isso significa que ela tá ligada? E o ponteiro (amperímetro) também aumentou.”* - Como é que você faz para desligar as lâmpadas? *“Eu clico aqui”* (sujeito aponta para o interruptor). Em seguida, o sujeito executa o desligamento e o acionamento das lâmpadas através do interruptor.
- 6) - O que aconteceu com o valor da corrente elétrica? *“Aumentou em 2,5 (foi de 2,5 para 5mA). Pois é, diminuiu a potência e aumentou... (não cita a resistência elétrica). Não entendi.”* O sujeito não consegue relacionar a diminuição da resistência elétrica com o aumento na corrente que circula pela malha.
- 7) Se você clicar novamente no resistor o que deve ocorrer? *“Agora eu acho que deve aumentar mais. Posso clicar?”* - Claro. O sujeito então, diminui ainda mais o valor da resistência elétrica do resistor da esquerda (Rmin). - O que aconteceu? *“Aumentou*

mais o ponteiro, mais 2,5 (não fala em aumento da corrente elétrica).” - Por que isto aconteceu? “Não sei, eu achava que ia diminuir.” - O que se faz para diminuir o valor que está sendo mostrado no amperímetro? “ Tem que botar o ‘coisa’ (resistor) no máximo.” O sujeito então executa o aumento de resistência do resistor da esquerda e visualiza a diminuição da corrente elétrica mostrada nos amperímetros. “E as lâmpadas se apagaram, estão vermelhas.”

- 8) - Existe alguma relação entre o valor do resistor e os valores mostrados nos amperímetros? *“Não eu acho. Quando ele tá no máximo (resistor), ele fica menor (corrente no amperímetro). Quando ele tá no mínimo ele fica maior.”* O sujeito não consegue estabelecer plenamente uma relação de causa e efeito entre resistência e corrente elétricas.
- 9) - Dá para acender só a lâmpada da esquerda? *“Consegue, mas... deixa eu pensar como.”* Sujeito permanece em silêncio por um tempo. *“Mudando a bateria de lado?”* - O que acontece se você inverter a polaridade da bateria? *“Vai acender só da esquerda.(formulação de hipótese)”* - Só isso que vai acontecer? *“Eu acho.”*
- 10) O sujeito desliga o circuito e inverte o sentido da bateria. *“Posso ligar?”* - Sim. *“Ah”(desapontamento).* - O que aconteceu? *“Ligou as duas (lâmpadas) e ficou negativo.”* (corrente no amperímetro) - Por que ficou negativo? *“Porque eu mudei a bateria de lado.”* - Se você clicar no resistor vai ocorrer o mesmo de antes? (variação da corrente mostrada no amperímetro) *“Vai, só que vai para o lado negativo. (hipótese formulada)”* O sujeito manipula o resistor e verifica que sua hipótese estava correta.
- 11) - Se você desligar o circuito da esquerda e ligar o da direita, o que acontece? *“Vai ligar essas duas lâmpadas.”* (do centro e da direita) - E vai marcar quanto no amperímetro? *“2,5...não, -2,5, porque ‘essa aqui’ (polaridade da bateria da direita) também tá igual a ‘essa’ (polaridade da bateria da esquerda), ela já tá invertida.”* Hipótese formulada. Então ocorre o teste e a obtenção do êxito na hipótese formulada. *“Certo, e aqui também (manipulando o resistor da direita e observando o comportamento de lâmpadas e amperímetros)”* - Se você novamente inverter a polaridade da bateria o que ocorre? *“Vai ligar positivo, as duas lâmpadas vão ligar e o ponteiro vai ficar positivo.”* A hipótese foi testada e confirmada.
- 12) Com a bateria da esquerda negativa e o resistor da esquerda na mínima resistência, juntamente com a bateria da direita positiva e o resistor da direita na posição de resistência máxima, se você ligar os dois circuitos juntos o que ocorrerá? *“Eu acho que vai ligar as três lâmpadas, antes eu tava achando que ia ligar só do meio, mas agora*

eu acho que vai ligar as três lâmpadas...Não, a do meio não vai ligar, vai ligar essa aqui negativa (esquerda), essa aqui positivo (direita) e a do meio não vai ligar porque vai ligar uma positiva e uma negativa. Como quando eu clico numa (esquerda ou direita), sempre liga a do meio, como uma vai estar positiva e outra negativa, quando eu ligar as duas, a do meio não vai ligar.” A hipótese formulada pelo sujeito apresenta um antagonismo de correntes circulando pelo ramo central, devido as polaridades contrárias das baterias e supondo uma subtração de correntes. A lógica da hipótese está correta, se ambos resistores estivessem com o mesmo valor de resistência a lâmpada do meio não acenderia, no entanto, o sujeito não observou a diferença de resistência e a consequência diferença de correntes circulando nas malhas esquerda e direita.

- 13) Quando os interruptores são ligados, acendem amarelas as lâmpadas da esquerda e do meio e a da direita fica com o filamento vermelho. O sujeito observa e exclama *“Errei.”* - Por que não aconteceu do jeito que você pensou? *“Eu não sei.”* - Está tudo igual nos dois circuitos? *“Não, esse aqui da esquerda está negativo alto (-7,5mA) e o da direita positivo baixo (2,5mA).* Embora o sujeito aponte a diferença nas correntes marcadas pelos amperímetros dos ramos da esquerda e da direita, ele não consegue vincular essa corrente a diferença de valor de resistência elétrica dos respectivos resistores.
- 14) - Se você comparar componente a componente os ramos da esquerda da direita, nota mais alguma diferença? *“Sim, as baterias estão invertidas e o resistor da esquerda está no valor mínimo e o da direita no valor máximo.”* - Se os dois resistores forem colocados na mesma posição, o que vai acontecer? *“Vai ficar com a mesma medida eu acho.”* O sujeito ajusta ambos os resistores para máxima resistência e liga novamente os dois circuitos. - O que aconteceu? *“Ficou com a mesma medida e a lâmpada do meio não acendeu.”* - Por que da primeira vez não ficou do jeito que você pensou? *“Por causa do resistor.”* - Então para que a lâmpada do meio não acenda o que tem que acontecer? *“Tem que estar com as baterias diferentes e os resistores iguais.”*

SUJEITO B:

- 1) O sujeito reconheceu as baterias, as lâmpadas, os amperímetros foram chamados de ‘relógio medidor’, os interruptores foram reconhecidos como alavancas.
- 2) O que acontecerá se você clicar no interruptor do circuito da esquerda? *“Vai acender talvez, a lâmpada,”* - *Eu não sei se esse aqui (interruptor da esquerda) vai para esse aqui (lâmpada da esquerda) ou se esse aqui (interruptor da esquerda) vai para esse aqui*

(lâmpada central). O sujeito não compreende se o interruptor vai comandar (permitir a passagem de corrente elétrica) no ramo da esquerda ou no ramo central. *“Porque se o interruptor acender a lâmpada do meio, então vai contar corrente aqui.”* O sujeito dá a entender que o amperímetro central vai marcar a corrente elétrica que flui pelo respectivo ramo. O sujeito não apresenta uma noção de malha elétrica, formada pela junção dos ramos esquerdo e central.

- 3) Sujeito acionou o interruptor da esquerda. - O que aconteceu? *“O medidor do meio e da esquerda foram para -2,5”* - E o medidor da direita? *“Tá em zero.”* - Por quê? *“Por que esse aqui (interruptor da direita) não tá ligado.”* *“Esse aqui (interruptor da esquerda) só consegue chegar na esquerda e no meio.”*
- 4) O sujeito manipula várias vezes o terminal central do resistor esquerdo, alterando sua resistência do máximo até o mínimo, enquanto observa os ponteiros dos amperímetros central e esquerdo. - O que aconteceu? *“A corrente diminuiu ou aumentou para o lado negativo.”*
- 5) Para a corrente ficar positiva o que é necessário fazer? O sujeito altera Mas algumas vezes o valor da resistência elétrica e exclama: *“Nem no valor máximo do resistor ela fica positiva.”* Neste caso, ele está desconsiderando a inversão na posição da bateria. *“Eu acho que só clicando no interruptor da direita.”* Ao que parece, como o sujeito observou correntes negativas acionadas pelo interruptor da esquerda, se o da direita for acionado irá gerar uma corrente positiva. Esta parece ser a hipótese criada.
- 6) O sujeito aciona o interruptor da direita para testar sua hipótese. - O que aconteceu? *“O da direita foi para 2,5, o do meio ficou em zero, e o da esquerda - 2,5.”* - Aconteceu alguma coisa com as lâmpadas? *“Elas apagaram.”* - Estão totalmente apagadas? *“Não. A da esquerda e a da direita ainda estão vermelhas aqui, acho que ainda estão ligadas.”* - E a do meio? *“Essa aqui não tá, essa aqui está nula.”* - Por que ela tá nula? *“Por que as forças são opostas? É que aqui deu -2 (amperímetro da esquerda) e aqui deu mais 2 (amperímetro da direita) e aí os dois em vez de se juntar, como são opostos deu zero, os dois se diminuíram e ficou em zero, nulo.”* Apesar da hipótese criada pelo sujeito estar basicamente correta, ele ainda não domina o conceito de inversão do sentido de circulação de corrente pela inversão da polaridade da bateria, estando tal hipótese baseada mais na experiência lógico-matemática do que na experiência física. - E se você abrir o interruptor da direita? *“É... aí não tem força positiva, o do meio (amperímetro) fica igual ao da esquerda.”*

- 7) - A corrente que circula na esquerda é a mesma que circula no centro do circuito? *“Não.”* - Por que não? *“Esse aqui tá pro lado negativo (ramo esquerdo possui uma bateria com polaridade negativa), esse aqui tá para o lado positivo (ramo direito possui uma bateria com polaridade positiva) e aqui não tem uma bateria só para ele (ramo central não possui bateria).”* Com isso o sujeito apresenta desconhecer a necessidade de um circuito fechado para a corrente elétrica circular do terminal positivo da bateria até o seu terminal negativo.
- 8) - Se você abrir o interruptor da direita e inverter a posição da bateria deste ramo o que ocorrerá? *“Eu acho que ele vai começar a ser positivo, em vez de negativo.”* O sujeito refere-se ao sinal da corrente mostrada pelo amperímetro direito. O sujeito então, realizou várias inversões na posição da bateria do ramo direito e, para cada inversão, ligava o circuito observando o respectivo sinal do valor de corrente mostrado pelo amperímetro. - A corrente está de que tipo agora? *“Positiva.”* - Por quê? *“Não sei, aqui é negativo e vai ficar positivo?”* (referindo-se ao terminal negativo da bateria encontrar com o amperímetro, raciocínio do sujeito confunde o sinal da corrente mostrada no amperímetro com a polaridade do terminal da bateria que está ligado ao mesmo). Na realidade, como o amperímetro mede corrente contínua, ele é polarizado e o sinal da corrente mostrada pelo mesmo dependerá de como a bateria está conectada aos terminais do mesmo (corrente positiva para polarização direta ou negativa para polarização inversa).
- 9) Se a corrente da malha esquerda for negativa e a da direita positiva, o que ocorrerá com o circuito quando os dois interruptores forem ligados? *“O medidor da esquerda ficou negativo, o medidor da direita ficou positivo e o medidor do meio ficou nulo.”* - Se você clicar no resistor da direita o que vai acontecer? *“O da direita ele vai aumentar mais ainda o número positivo e a lâmpada do meio vai acender. A corrente do meio vai ficar positiva vai passar para 2,5 e a lâmpada vai ficar vermelha talvez.”* - E a lâmpada da esquerda? *“A da esquerda... não vai acontecer nada.”* - Como sabe disto? *“Porque esse aqui (resistor) não afeta o lado da esquerda e o da esquerda não afeta o lado da direita, só afeta o meio.”*
- 10) Um colega seu falou que, nessa mesma situação, se for clicado no resistor da direita, as três lâmpadas vão acender em amarelo, você concorda com ele? *“As três ao mesmo tempo, quando eu baixar ele para o médio?”* (valor médio de resistência elétrica). *“Hum... Só se a força da direita passar para a esquerda.”* - Mas você concorda com ele? *“Não.”* - Por que não? *“Eu acho que não porque se esse aqui que é positivo*

afetasse o lado que é negativo, esse aqui (ramo esquerdo) não teria energia seria zero, nulo, esse aqui (ramo central) teria mais energia e esse outro aqui (ramo direito) teria mais também. O da direita ficaria com mais, o do meio ficaria com um pouco mais e o da esquerda ficaria nulo.” No caso, o sujeito reforça sua convicção ao não concordar com a falsa premissa apresentada, mas elabora uma hipótese para tentar justificar a situação apresentada.

SUJEITO C:

- 1) O sujeito reconheceu os elementos como baterias e ‘marcador de amperagem’.
- 2) Se você clicar no interruptor da esquerda o que acontece com circuito? *“Quando eu clicar na alavanca aqui vai dar carga.”* - E aí? *“Vai girar? Não? Quando eu acionar aqui vai dar carga para ligar a lâmpada. Isso? Eu acho.”*
- 3) O sujeito aciona o interruptor da esquerda. - O que aconteceu? *“Ligou, ligou né? Essa luz vermelha aqui é de ligado? Ligou essa (lâmpada esquerda) e essa (lâmpada central).”* - O que mais você tem para observar? *“Aqui tá em 2,5, 2,5 e 0”*(valores apresentados pelos amperímetros esquerdo, central e direito) - Por que este tá marcando zero? O sujeito reflete durante alguns minutos, mas não chega a uma conclusão definitiva, nem elabora uma hipótese para explicar a situação.
- 4) - Se você clicar novamente no resistor da esquerda o que ocorre com o circuito? *“Hum...meio, mediano, ele vai baixar a luz.”* - O que vai baixar? *“A luz, vai ficar mais fraca.”* O sujeito testa a hipótese, a qual se mostra falha. *“Ah não, ficou mais... clara. O que é esse amarelo? Do vermelho pra o Amarelo.”* O sujeito relaciona de maneira direta (erroneamente) a resistência e a corrente elétricas. A relação fisicamente coerente é em termos inversamente proporcionais. *“No máximo (máxima resistência) ele tá em 2,5 e no mínimo ele tá em 7,5. No máximo ele baixa aqui (diminui o valor da corrente mostrada pelo amperímetro) mas aqui ele não altera (brilho da lâmpada) quer dizer alterar para mais fraco, mas aqui ele tá baixando de 2,5 pra 5 e pra 7,5.”* Novamente o sujeito está confundindo a diminuição da resistência com a diminuição da corrente, transparecendo que este conceito não está construído pelo mesmo.
- 5) - Se você inverter a bateria da esquerda ocorrerá algo de diferente no circuito? *“Vai fazer alguma coisa de diferente, ah vai vir para cá.”* O sujeito aponta para o ponteiro do amperímetro, apontando que este irá para valores com sinal contrário dos que são mostrados agora. A teoria foi testada com sucesso no circuito. *“É foi pro negativo.”*

- 6) - Por que os dois amperímetros (da esquerda e do meio) marcam o mesmo valor? O sujeito pensativo questiona a si próprio: *“É a mesma carga aqui? Por ser da mesma bateria?”* Embora a teorização do sujeito esteja basicamente correta, ele não possui base teórica suficiente para corroborá-la, ficando em situação de dúvida.
- 7) - Se você desligar o circuito da esquerda e ligar o circuito da direita, o que vai ocorrer? *“As duas lâmpadas vão acender.”* - De que cor? *“Vermelha.”* Hipótese correta. - Por que vermelho? *“Por que vai marcar 2,5 no amperímetro.”* - Por quê? O sujeito não tomou consciência de que o valor de 2,5mA é devido ao resistor da direita estar selecionado para a posição de resistência máxima.
- 8) - Com o circuito da esquerda desligado, o da direita ligado e marcando em ambos amperímetros 5mA. O que deve ser feito para os amperímetros marcarem -2,5mA? *“Eu tenho que botar aqui no máximo (resistor), desligar aqui (interruptor) e virar lá (inverter posição da bateria).”* A hipótese foi testada e mostrou-se correta.
- 9) - Se você considerar a bateria da esquerda positiva e o interruptor aberto, juntamente com a bateria da direita negativa e o interruptor fechado, assim como ambos os resistores na posição de resistência máxima, o que vai ocorrer quando o interruptor esquerdo for acionado? *“Ele vai vir para 2,5 positivo (corrente no amperímetro esquerdo).”* - Mais alguma coisa? *“Não, só.”* O sujeito liga o interruptor esquerdo para testar sua hipótese. *“Ele deu uma carga e foi para 2,5 aqui”* (corrente no amperímetro esquerdo). - E o que mais? *“Ligou as duas luzes aqui (lâmpadas esquerda e direita com filamento avermelhado), os dois resistores estão no máximo, Ah tá. Aqui tá no positivo e aqui tá no negativo”*. Observando os amperímetros esquerdo e direito, visualizando mas não citando a leitura do amperímetro central.
- 10) - E o amperímetro do meio? *“Zerado, tá no zero.”* - Por quê? *“Porque aqui tão diferentes (correntes com polaridades opostas) e aqui tá um zero no meio para fazer a mediação.”* - E a lâmpada do meio? *“Por que não tá ligada?”* O sujeito não consegue encontrar uma resposta plausível para o desligamento da lâmpada apesar de, em termos básicos, descobrir porque o amperímetro central está zerado.
- 11) Se você passar o resistor da esquerda para seu valor médio de resistência o que ocorre no circuito? *“Ele vai para o 5(mA) e vai ligar essa luz e essa luz (apontando para as lâmpadas esquerda e central).* -Por que a lâmpada do meio vai ligar? *“Porque ela vai estar com carga média pra ligar.”* O sujeito manipula o resistor esquerdo para testar sua hipótese, ao modificar a resistência do resistor da esquerda as três lâmpadas acenderam, a hipótese formulada não era verdadeira.

12) - Por que o amperímetro central não está mais no zero? *“Ah é, ele saiu do zero aqui.”*

O sujeito não consegue elaborar uma hipótese que envolva a subtração de correntes no ramo central. - Agora se o resistor da direita foi colocado no seu valor médio o que ocorre com o circuito? *“Hum...de 2,5 vai para os 5 aqui.”* A previsão está errada pois a corrente medida será de -5mA. O sujeito tem muitas dificuldades em estabelecer uma relação causal entre a variação da resistência dos resistores, a corrente mostrada nos amperímetros e o acendimento das lâmpadas. Após o teste da hipótese: *“Ele voltou no zero, desligou essa (lâmpada do meio) e foi para o 5 negativo.”*

SUJEITO D:

- 1) O sujeito reconheceu as baterias, os resistores, as lâmpadas, os interruptores e amperímetros.
- 2) Quantas malhas temos no circuito? *“Ele tá em paralelo, três malhas né.”* - Se o interruptor da esquerda for fechado o que acontece? *“Seu baixar aqui (interruptor) ele vai circular até aqui (lâmpada central) e aqui (lâmpada esquerda) essas duas lâmpadas né”.* Enquanto o sujeito fala, vai circulando a malha da esquerda com o cursor do mouse. - Você tem ideia do sentido da corrente que vai circular? *“Ah, puxa vida. Não lembro mais.”*
- 3) - Se o interruptor for fechado, quantas lâmpadas vão acender? *“Vai acender só uma porque o circuito vai estar fechado aqui. Opa quer dizer uma não. Vai acender essas duas aqui (lâmpadas esquerda e central)”.*
- 4) O sujeito fecha o interruptor. *“As lâmpadas vão ficar como se fosse o filamento superaquecido por efeito joule e não energia luminosa.”* *“Tá se eu mexer aqui...”* Sujeito começa a variar a resistência esquerda. *“Nesse aqui tu não pode botar os elétrons de bolinha? A gente tem a tendência de imaginar né.”* Obs.: Esse recurso não foi empregado no circuito para que fosse uma forma de uma ‘resistência’ do objeto à assimilação, cujo desequilíbrio pudesse estimular a acomodação dos esquemas de ação do sujeito. *“Agora ele tá com a mínima resistência e tá marcando 7,5 negativo. Tá saindo daqui do positivo (o sujeito segue o fio do polo positivo da bateria até o polo negativo do amperímetro) e tá marcando aqui negativo né... (apresenta uma certa dúvida a respeito da polaridade apresentada no amperímetro).”*
- 5) - Por que tá marcando negativo? (Obs: A resposta física é porque o polo positivo da bateria está ligado no negativo do amperímetro, se fosse o polo negativo da bateria

ligado no negativo do amperímetro, este estaria marcando corrente positiva) “*O valor absoluto é igual, tá marcando 7,5 né.*” - Se você abrir o interruptor e inverter a polaridade da bateria o que ocorre com as lâmpadas? “*Vai continuar a mesma coisa.*” - E o que acontece com a corrente? “*Só vai mudar o sentido.*” - Você pode testar isto? “*Sim.*” Então, enquanto o sujeito, autonomamente, desliga o circuito, inverte o sentido da bateria e liga o circuito novamente, exclama: “*Agora já tô aprendendo, tu já tá me ‘adestrando’.*” Isso denota a consciência do sujeito sobre a evolução da sua capacidade de operar o experimento, fruto do processo de equilíbrio.

- 6) Após religar o circuito, o sujeito observa a marcação de uma corrente positiva no amperímetro. “*Ó agora tá saindo positivo, tá saindo do negativo (corrente elétrica saindo do polo da bateria esquerda).*” O Sujeito ainda não tomou consciência que o sinal positivo da corrente no amperímetro é devido a coincidência de polaridades entre amperímetro e bateria.
- 7) - Considerando a corrente elétrica da esquerda negativa e a da direita positiva, assim como ambos os resistores na posição de resistência máxima, o que vai ocorrer quando os dois interruptores forem acionados? “*Bom aí vai...(refletindo).*” - Quais lâmpadas vão acender? “*Todas as três.*” O sujeito então, aciona os dois interruptores. - O que aconteceu? “*Tá...essa aqui não funcionou (notou a lâmpada central desligada).* - Por que não acendeu? “*A corrente não tá passando...(sujeito refletindo e observando o experimento em busca de uma explicação).*” “*A resistência da máxima posso botar mínima?*” - Pode. O sujeito inicia a manipulação da resistência de ambos resistores, observando o comportamento das lâmpadas e das correntes mostradas nos amperímetros. Após alguns instantes: “*Ah... tá. Então eu tenho que botar uma máxima e uma mínima?*” Esta hipótese é elaborada e, em seguida, testada pelo sujeito. “*É mas aí ficou duas acesas (cor amarela) e essa aqui ficou só um pouquinho (lâmpada esquerda com filamento vermelho).*” O sujeito verifica que o teste da hipótese falhou.
- 8) - Quantas correntes têm o circuito? “*Tem três.*” - Com os resistores na mínima resistência o que aconteceu com a lâmpada do meio? “*Apagou.*” - Por quê? “*Hummm...(sujeito refletindo) Tô sentindo falta das...cada vez tu tira mais a corrente, o sentido da corrente.*” O sujeito sente falta de aspectos observáveis relativos a circulação de corrente elétrica, em especial na interação com os nós do circuito. “*É pra que a gente possa abstrair né?*” O sujeito não conseguiu chegar a conclusão que o desligamento da lâmpada central se dá pela interação das correntes com sentidos contrários no ramo central.

SUJEITO E:

- 1) Esse sujeito já tem acesso as modificações feitas no circuito no âmbito de oferecer observáveis a respeito de ramos e malhas e também com relação as correntes que fluem pelo nó B.
- 2) - Se você fechar o interruptor da esquerda qual lâmpada vai acender? “*Vai acender só essa aqui (lâmpada esquerda)*” - Por quê? “*Porque essa aqui tem os três...(sujeito referindo-se existe a diferença de componentes entre o ramo da esquerda e ramo central, não apresenta o conceito de malha elétrica sedimentado).*”
- 3) Sujeito executa o teste da hipótese. - O que aconteceu com as lâmpadas? “*Essas duas quiseram acender.*” As lâmpadas esquerda e central apresentam filamento avermelhado.
- 4) - O que as flechas próximas do nó B representam? “*Estão onde as cargas estão se direcionando?*” O sujeito não faz menção de relacionar as setas com a leitura dos amperímetros.
- 5) - Como fazer para aumentar o valor da corrente circulando? “*Vou precisar do resistor.*” O sujeito começa a variar a resistência do resistor da esquerda. - O que aconteceu? “*Quando na potência (resistência) média dele as duas acenderam (lâmpadas esquerda e do meio na cor amarela)*”. - Qual a influência do resistor no circuito? O sujeito modifica a resistência esquerda e observa o comportamento das setas: “*A setinha tá mostrando que aqui estão se movendo com mais né.*” O sujeito agora está relacionando a variação da resistência as dimensões das flechas próximas ao nó B. - E o valor delas é o mesmo ou é diferente? “*Não, é diferente.*” - Como você sabe? “*Porque quando eu mudo o resistor muda as setinhas.*” - Sendo uma em relação a outra nesta posição (ambos amperímetros apontando - 7,5mA), as duas estão marcando o mesmo valor? “*As duas setinhas estão.*” - Como você sabe disso? “*Porque é um resistor só que tá funcionando aqui. Esse aí funciona para todo sistema.*”
- 6) - Tem alguma relação entre valor do resistor e valor da corrente elétrica? “*Tem.*” - Qual é? “*Que ele tá passando menos a corrente elétrica que passa é menor.*” O resistor está na resistência mínima então corrente elétrica é maior, mas o sujeito não se dá conta disto. Depois de manipular o resistor o sujeito exclama: “*Ele precisaria de outra bateria.*” - Para quê? “*Para acender as duas lâmpadas (quando na máxima resistência).*”

- 7) - Se você desligar o circuito da esquerda e ligar o da direita, o funcionamento será o mesmo? *“Sim.”* O sujeito manipula o resistor da direita de forma a certificar-se e o funcionamento é análogo ao da malha esquerda.
- 8) - Considerando a malha esquerda com corrente negativa e a malha direita com corrente positiva, o que você acha que vai ocorrer quando os dois interruptores foram fechados? O sujeito reflete por um tempo. *“Todo sistema acende?”* O sujeito não tem certeza da sua hipótese.
- 9) O sujeito aciona os dois interruptores para testar a hipótese . - O que aconteceu? *“A lâmpada da central foi a única que não acendeu.”* - Qual é o comportamento das correntes do nó B? *“Que as cargas não estão passando pelo centro.”* - Os valores das correntes são iguais ou diferentes? *“Iguais.”*
- 10) - Você consegue deixar as lâmpadas esquerda e direita amarelas e a lâmpada do meio apagada? O sujeito coloca os dois resistores na posição de resistência média obtendo sucesso no acendimento proposto pela pergunta. - O que aconteceu? *“As duas do canto acenderam.”* - E a do meio? *“Tá apagada.”* - Por quê? *“Porque as cargas não estão passando por ela. Ela precisaria de um resistor conectado nela”* - Por que não passa carga na lâmpada do meio? *“Os disjuntores estão ambos fechados.”* O sujeito acredita que o acionamento dos dois interruptores impeça a passagem de corrente pela lâmpada central.
- 11) Pede-se ao sujeito que modifique a resistência da esquerda. - O que aconteceu? *“Tá passando corrente no meio.”* - Por quê? O sujeito fica um tempo refletindo, mas não consegue elaborar uma hipótese para responder ao questionamento. Após modificar várias vezes as resistências de ambos resistores e visualizar o efeito nas lâmpadas o sujeito conclui: *“Quando elas estão na mesma posição (mesmo valor de resistência em ambos os resistores) elas não vão por três caminhos (sem corrente no ramo central) elas passam direto pela do meio. Quando estão em posições diferentes passa carga no meio.”* Embora o sujeito tenha tomado consciência da influência dos resistores sobre a corrente que passa no ramo central, não foi citado que as correntes irão se subtrair por estarem com sentidos opostos.

SUJEITO F:

- 1) - Se você ligar o interruptor da esquerda o que ocorrerá com o circuito? *“Não sei se vai acender porque esses dois aqui, os resistores, estão ligados? Acredito que vai ficar só*

com a bolinha (filamento) vermelha não vai ter energia suficiente para passar.” - Em qual lâmpada? Sujeito reflete um tempo e fala *“Acho que a da esquerda.”* Sujeito clica no interruptor para aferir a hipótese. - O que aconteceu? *“Ficou duas (lâmpadas acesas).”* - Por quê? *“Fechou esse circuito aqui?”* Observa o interruptor da direita, o qual está aberto. *“Não, não fechou.”* O sujeito procura alguma influência do circuito da direita no acendimento da lâmpada central.

- 2) - O circuito da direita e da esquerda são dependentes ou independentes? *“Olha são dependentes um do outro porque eles são paralelos aqui.”* - As setinhas perto do nó B representam o quê? *“Tá passando energia é o movimento da energia.”* - Os valores são das setas são iguais ou são diferentes? *“São iguais, 2,5 e 2,5.”*
- 3) - Se você alterar o valor do resistor esquerdo o que acontece? O sujeito altera o valor do resistor para o valor médio de resistência elétrica. *“Já ligou a luzinha (lâmpadas esquerda e do meio) menos essa aqui (lâmpada direita) porque o circuito aqui tá fechado para este.”* - E as correntes são as mesmas? *“Sim porque tá aparecendo aqui dois e meio e dois e meio (valores de corrente mostrados nos amperímetros).”*
- 4) - E a variação da resistência influencia nas setas do nó B? *“Parece que aumentaram um pouquinho.”* Após modificar novamente a resistência elétrica: *“Parece que alargou as setas.”* - As duas são iguais? *“Parece do mesmo tamanho, visivelmente assim parece.”*
- 5) - Se você desligar o circuito da esquerda e ligar o da direita, o que ocorre? *“Vai acontecer que os da direita vai ligar e os da esquerda não.”* O sujeito aciona o interruptor da direita: *“Tá passando energia, mas não o suficiente para ligar as duas (lâmpadas direita e central).”*
- 6) - Quando você altera o valor do resistor o que ele está controlando? *“A passagem de energia.”* O sujeito manipula várias vezes o resistor da direita. - O que está acontecendo? *“Aumentou a setinha de novo, aumentou a intensidade das luzes.”*
- 7) - Estando com circuito da direita energizado, se você fechar o interruptor da esquerda o que acontece? *“As três vão começar a ficar nesse mesmo...vai passar energia, mas não vai ter o suficiente para ligar elas (lâmpadas).* O sujeito então, aciona o interruptor da esquerda para testar a teoria. - O que aconteceu? *“O do meio aqui não ligou (lâmpada central), só os dois da direita da esquerda.”*
- 8) - Tem corrente na lâmpada do meio? *“Não, não tem corrente na lâmpada o marcador tá zerado.”* O sujeito leva o resistor esquerdo para o seu valor médio. - O que aconteceu? *“Olhando as flechas, parece que aqui a flecha maior (esquerda) tem mais energia. Aqui não tem, quase não tem energia (flecha do meio), aqui tão iguais” (flecha da direita).* -

E os valores das Flechas? *“Aqui tem mais, do lado esquerdo é 5, aqui tu já tem 2,5 (flecha do meio), a mesma intensidade da direita.”*

- 9) - O que tem de acontecer para a lâmpada do meio apagar? O sujeito manipula então diversas vezes os resistores esquerdo e direito, mas não chega a encontrar um padrão ou elaborar uma hipótese para o desligamento da lâmpada central.

SUJEITO G:

- 1) O experimento inicia com o interruptor da esquerda fechado e o sujeito manipulando o valor do resistor esquerdo. *“O tamanho da flechinha aumenta na medida que eu mexo na resistência também”*. Então quer dizer que quando aumenta passa mais energia? *“Eu entendo que sim. Se eu mexer aqui aumentou a corrente (sujeito observa a corrente mostrada pela amperímetro), aumentou a seta também.”*
- 2) - Considerando as condições da malha esquerda (negativa), da malha direita (positiva) e os resistores na posição de máxima resistência, o que vai ocorrer com o circuito quando os dois interruptores forem fechados? *“Eu acho que todas (lâmpadas) acendem.”* Então o sujeito aciona os interruptores para verificar sua hipótese. - O que aconteceu? *“Só teve um brilho (filamento avermelhado) os ramos (lâmpadas) da esquerda e da direita.”* - E a lâmpada do meio? *“Não, não aconteceu nada.”* - Tem corrente na lâmpada do meio? *“Nada.”* - Por quê? *“Porque não tem nenhuma setinha aqui e o amperímetro tá no zero.”*
- 3) O Sujeito modifica a resistência esquerda para o valor médio. - O que aconteceu? *“A lâmpada da esquerda brilhou”* (alaranjado). - E a lâmpada do meio? *“Brilhou mas não igual, na mesma intensidade (filamento avermelhado), mas já tem corrente aqui (mostra a setinha presente no ramo central) negativa ó (mostra a corrente no amperímetro).”* - Por que já tem corrente no ramo central? O sujeito refletiu por alguns instantes. *“Tem a ver com esse resistor (da esquerda).”* O sujeito efetua diversas manipulações nos resistores. *“Quando eu tô mexendo somente na resistência da esquerda a corrente entra no ramo central e acende a luz. Quando eu mexo na resistência da direita, boto ela pro médio e pro mínimo, para de passar corrente pro centro passa só entre as duas malhas.”* - Qual a função do nó B? *“Ele interrompe ou diminui a passagem para corrente do centro.”*
- 4) - O que tem que acontecer para lâmpada acender na cor laranja? *“Aumentar a resistência direita, aí a lâmpada direita vai apagar e a corrente está indo para esse*

lado vai toda para o centro, aí então eu consigo acender.” Para testar sua hipótese o sujeito leva o resistor direito do seu valor mínimo para médio e ao verificar que a lâmpada do meio ainda não está na cor laranja, modifica novamente a resistência para o valor máximo atingindo o êxito pretendido. *“Ó eu diminuo a intensidade da corrente para cá (ramo direito) e distribuo ela para cá (ramo central), ele é tipo um distribuidor de corrente?”*

- 5) - Qual informação está sendo dada pelos amperímetros? *“Ele (corrente elétrica) passa de - 7,5 para -5 e para 2,5. Então quando ele tá negativo ele acende.”*
- 6) - Quando você altera a corrente de um ramo ela altera a corrente do outro? *“Sim.”* - A modificação da corrente causada pelo resistor da direita altera a corrente ocasionada pelo resistor da esquerda? *“Não, só no centro.”* O sujeito então manipula várias vezes os resistores observando as correntes apresentadas nos amperímetros. *“Ambos mexem com o centro mas não entre um e outro.”*

SUJEITO H:

- 1) - Se você fechar o interruptor da esquerda o que acontece? *“Eu acho que acende a da esquerda e a do meio.”* - Como você sabe disso? *“Porque a corrente vai passar na chave aqui (interruptor), aqui (nó B) ela vai se dividir vai acender a lâmpada, ela ia seguir pela direita, mas como tá aberto ela não vai.”*
- 2) - O que são essas setas próximas do nó B? *“É a corrente.”* - Você pode dizer o valor da corrente? *“Sim 2,5 e 2,5 (esqueceu o sinal negativo) e 0 lá no outro porque não tem corrente.”*
- 3) - Se você alterar o valor do resistor da esquerda o que acontece? O sujeito manipula várias vezes resistores esquerdo, observando o que ocorre no circuito. *“Se eu diminuir a resistência, em módulo, a corrente aumenta. Quando eu aumentei a resistência, a corrente diminuiu e a lâmpada diminuiu o brilho.”*
- 4) - Se você abrir o circuito da esquerda e fechar o da direita o que acontece? *“Vai acender a lâmpada da direita e a do meio.”* O sujeito executa então o acionamento da direita conseguindo êxito na hipótese formulada.
- 5) - Considerando o circuito da direita já acionado, se você fechar o circuito da esquerda o que acontece? *“Se eu fechar o da esquerda... Ah tá, a lâmpada do meio não vai acender. Eu acho que vai acender as duas lâmpadas da ponta.”* - Por quê? *“Vai ter um curto-”*

circuito aqui no meio, porque a corrente vindo aqui da esquerda (sujeito movimenta o cursor da lâmpada esquerda em direção ao nó B, indicando o sentido da corrente). ”

- 6) O interruptor da esquerda é fechado para testar a hipótese. *“Ninguém acendeu.” Ah tá, mas é porque a resistência tá no máximo né (referência ao filamento avermelhado das lâmpadas das pontas). Eu tô sempre considerando a resistência a mínima entendeu?”*
- 7) - Se você variar a resistência de ambos os resistores qual será o comportamento do circuito? Após algum tempo manipulando os valores dos resistores e observando as lâmpadas. *“Claro, se eu minimizo um deles (resistores) só, é sinal que tá passando pouca corrente no outro, então vai...a lâmpada do meio vai dar uma aquecida, vai passar corrente. Agora se eu minimizar os dois ela vai ter um ‘curto’ (lâmpada apagada).”*
- 8) - O resistor da esquerda influencia na corrente da direita? *“Não.”* - Por que não? *“Por que eles estão em paralelo, não tão?”* - Você pode provar isso na prática? O sujeito manipula o resistor esquerdo observando o brilho da lâmpada direita: *“Não influencia.”*
- E o resistor da direita influencia na corrente esquerda? O sujeito varia o resistor direito observando o brilho da lâmpada esquerda: *“Também não.”*
- 9) - Existem outras condições nas quais a lâmpada do meio fica apagada? *“Se a resistência aumentar aqui quando a corrente tá chegando na lâmpada (lâmpada direita) ela (lâmpada central) não acende né.”* - Observando o nó B e as três correntes, você consegue visualizar algum tipo de padrão? *“Se eu diminuo o valor da resistência o módulo da corrente está aumentando porque a flecha aumenta de tamanho.”* - Quem controla o acendimento da lâmpada do meio? *“O acendimento da lâmpada do meio, é o esquerdo. Se a resistência esquerda...onde está chegando a corrente, porque na outra ela tá saindo né. É que no nó B, quando eu diminuo lá a resistência esquerda, a corrente está chegando, então ele acende.”* (lâmpada do meio). Agora, o resistor da direita, ele não tem nada a ver, porque a corrente já tá saindo aqui no nó B. - A corrente do meio é mesma corrente da esquerda? *“Não né.”* - Por que não? *“Porque tem um nó aqui, dividiu a corrente né.”*

SUJEITO I:

- 1) - Se você fechar o interruptor da esquerda qual lâmpada irá acender? *“A da esquerda e a da direita, só essa aqui e essa aqui.”* - Por quê? *“Tem que fechar a corrente para passar por aqui (ramo direito).”* Embora o interruptor proposto tenha sido da esquerda

o sujeito acredita que isso fará com que a lâmpada da direita acenda, sem apresentar uma razão plausível para isto.

- 2) O sujeito aciona o interruptor da esquerda para testar sua hipótese. *“Ah tá, eu confundi o interruptor, agora ele permitiu a corrente passar. Foi a da esquerda que acendeu.”* - Por que você tem certeza que há corrente circulando? *“Por causa das duas lâmpadas e dos amperímetros.”*
- 3) - Se você variar o resistor da esquerda o que acontece? *“A corrente fica mais forte.”* - Por quê? *“Porque o resistor ficou menor, a resistência dele.”* O sujeito altera a resistência para o valor mínimo: *“Ficou mais forte ainda.”*
- 4) - Se você abrir o da esquerda e fechar o interruptor da direita, o que acontece? *“Vai acender aqui (lâmpada central) e aqui (lâmpada direita).”* - Por que a da esquerda não acendeu? *“Porque não vai passar corrente para esse lado aqui (ramo esquerdo).”*
- 5) - Estando o interruptor da direita acionado, o que acontecerá se você acionar o da esquerda também? *“Daí ficam as três lâmpadas ligadas, com a mesma corrente.”* O sujeito aciona o interruptor da esquerda para testar a hipótese. *“A do meio não tá ligada.”* - Por quê? *“Porque pelo perímetro não tá passando nenhuma corrente ali.”*
- 6) - Se há corrente na esquerda e na direita, por que no meio não tem corrente? *“Não sei.”* O sujeito não faz qualquer relação com a polaridade das baterias e por consequência das correntes que passam no ramo central.
- 7) - Se você modificar as resistências o que ocorre com o circuito? *“Quando o resistor tá no mínimo e o outro no máximo, a corrente passa por aqui (ramo central) e se os dois estão iguais a corrente não passa, vai diminuindo.”* - Por que isto? *“Não sei.”*
- 8) - A variação do resistor da esquerda consegue modificar a corrente no ramo direito? *“Acho que não.”* O sujeito então põe-se a verificar tal proposição. *“Não modifica nada.”* - Como você sabe disto? *“Por causa do amperímetro aqui, ele tá na mesma coisa (valor de corrente não varia). - O resistor da direita consegue modificar a corrente na esquerda? “Não, acredito que seja a mesma coisa.”* O sujeito efetua nova verificação. *“É só modifica a do meio (corrente no ramo central).”* Em meio às modificações dos valores dos resistores o sujeito exclama: *“Eu não sei explicar mas, parece que essa (corrente da esquerda) menos essa (corrente da direita) gera a do meio (corrente no ramo central).”*

SUJEITO J:

- 1) - Se você fechar o interruptor da esquerda, qual lâmpada irá acender? *“A do meio e a da esquerda.”* - Por quê? *“Porque é onde fecha o circuito, ia entrar uma das cargas mas não ia até a outra. Ia entrar positivo mas não teria como chegar até o negativo.”* o sujeito da existência de conhecimento sobre o conceito da necessidade de um circuito fechado (malha) para que haja circulação de corrente.
- 2) O sujeito manipula o interruptor da esquerda para testar a hipótese. - As setas que surgiram próximas do nó B, representam o quê? *“O sentido da corrente elétrica,”* - A corrente nas duas lâmpadas é a mesma? *“Sim.”*
- 3) - Se você variar o resistor da esquerda qual será o efeito? *“Ele aumenta corrente, tá diminuindo a resistência corrente aumenta.”*
- 4) - Se você ligar o interruptor da direita, o que ocorre? *“Vai acender a do meio e a da direita (referência às lâmpadas).”* O sujeito então liga o interruptor direito para testar a hipótese. - Se você variar o resistor da direita, o que ocorre? *“Aumenta a corrente e o brilho das lâmpadas.”*
- 5) - Considerando o circuito da direita já fechado e ambos os resistores no seu valor máximo, se você fechar circuito da esquerda, o que ocorre? *“Acendem as três lâmpadas.”* - Por quê? *“As baterias vão fazer a carga circular toda...Se bem que talvez entre em curto, talvez. Porque as cargas viriam para cá (nó A) e como os polos estão diferentes aqui (baterias com os polos invertidos) eu acho que entra no curto.”* - O que entra em curto? *“O circuito todo.”* - Por quê? *“A bateria (esquerda) no caso tem polo positivo e negativo, o polo positivo e ia sair e ia vir para cá (nó B), só que no caso ele pode vir para cá (sai do nó B e vai até o polo negativo da bateria direita) só que por aqui (ramos central) ia bater com o polo positivo do outro (bateria direita)...Não tá, talvez...talvez, não (o sujeito começa a analisar o possível caminho da corrente pela malha esquerda e pela malha direita até mudar de ideia). Acho que funciona, pensando bem, eles estão em paralelo.”* - Teve um colega seu que falou que nenhuma das lâmpadas irá acender você concorda? *“Hum...acho que acende.”*
- 6) O sujeito efetua o acionamento do interruptor esquerdo para testar a hipótese. - O que aconteceu? *“A do meio (lâmpada) deu curto, não... ah tá (concluiu algo). O positivo leva ao negativo (apontou o caminho do positivo da bateria da esquerda até o negativo da bateria da direita) e o positivo (bateria da direita) ao negativo (bateria da esquerda). Como aqui no meio (ramo central) positivo 2,5 e negativo 2,5 as correntes se anulam*

aqui no meio aí essa (lâmpada central) aqui não acende.” Com sua explicação o sujeito entende que a corrente irá circular pela malha externa, não circulando pelo ramo central. Observando que haverá antagonismo de sentidos de circulação no ramo central, produzindo uma corrente nula devido aos módulos das correntes parciais serem iguais.

- 7) - Se você alterar a resistência do resistor esquerdo, o que acontece? *“Essa aqui (lâmpada da central) acende porque vai ter carga a mais, produzindo uma corrente que não se anula. E essas daqui (lâmpadas esquerda e direita) ficam mais fortes eu diria.”* - O resistor da direita influencia na corrente da esquerda? *“Influencia.”* O sujeito então, modifica o valor do resistor esquerdo buscando testar a hipótese formulada. - O que aconteceu? *“Essa aqui acendeu (lâmpada do meio), essa aqui ficou mais forte (lâmpada da esquerda) e essa aqui não (a lâmpada direita não se altera, permanecendo com o filamento avermelhado). Ah tá... beleza! (concluiu algo)”* - O que aconteceu? *“O excesso de corrente é que acendeu essa aqui (lâmpada central) então a corrente dividiu em duas, daí essa aqui não aumentou (corrente do ramo direito), faz sentido.”*
- 8) - O que é preciso fazer para apagar a lâmpada central? *“Diminuir aqui (resistência direita) ou aumentar aqui (resistência esquerda).”* Para provar sua teoria o sujeito diminui o valor do resistor direito, até que esse seja igual ao do resistor esquerdo, quando então a lâmpada central apaga. - Por que a lâmpada apagou? *“As cargas se anulam aqui no meio de novo.”* - Por quê? *“A mesma força negativa que entra por aqui (nó B para o ramo central), a positiva entra pelo outro lado (nó A para o ramo central) aí se anulam. Como a carga não se divide para cá (ramo central) essa aqui (lâmpada direita) acende com toda a força.”* - É somente nesta posição dos resistores que a corrente se anula? O sujeito que vai manipulando os resistores e respondendo. *“Basicamente quando os resistores forem iguais os dois lados estão com a mesma carga, o de cima positivo e o de baixo negativo, se as cargas forem iguais sempre se anulam.”*

Sujeitos	Experimento Lei de Kirchhoff										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Total
Abstrações Reflexionantes	0	1	1	1	0	0	0	0	0	2	5
Tomadas de consciência	1	1	0	0	0	0	2	2	2	1	9
Coordenações Causais	1	0	0	1	1	0	0	3	0	2	8
Coordenações Inferenciais	2	1	0	0	0	0	0	3	2	6	14

Abstrações Reflexionantes	
Comparação entre os valores dos amperímetros para justificar a lâmpada central apagada	2
Inversão da polaridade da bateria não afeta as lâmpadas, somente o sentido da corrente	1
Lâmpada central apaga devido a polarização invertida das baterias	1
Comparação entre os valores dos resistores associado ao desligamento da lâmpada central	1

Localização das Abstrações Reflexionantes no protocolo = (sujeito; item)
(B; 6), (C; 10), (D; 5), (J; 5), (J; 8)

Tomadas de consciência	
Resistores na máxima resistência implica nos filamentos avermelhados	1
Lâmpada central apaga com baterias invertidas e resistores de mesmo valor	2
Nó atuando como divisor de corrente elétrica	2
Independência entre os ramos esquerdo e direito	3
Diminuição do valor do resistor aumenta o valor da corrente elétrica	1

Localização das Tomadas de consciência no protocolo = (sujeito; item)
(A; 14), (B; 9), (G; 4), (G; 6), (H; 6), (H; 9), (I; 3), (I; 8), (J; 8)

Coordenações Causais	
Relação inversa entre a variação do resistor e o valor de corrente no ramo	2
Sinal da corrente medida relacionado à polaridade da bateria	1
Diminuição de valor do resistor causa aumento na corrente e no brilho das lâmpadas	2
Resistores com o mesmo valor provoca o desligamento da lâmpada central	2
Cada interruptor comanda o acendimento de duas lâmpadas	1

Localização das Coordenações Causais no protocolo = (sujeito; item)
(A; 11), (D; 2), (E; 11), (H; 3), (H; 7), (H; 9), (J; 3), (J; 4)

Coordenações Inferenciais	
Variação de resistência acendendo a lp central e alterando o brilho das demais lps	2
Independência da corrente no ramo esquerdo, em relação ao direito e vice-versa	4
A corrente no ramo central resulta do somatório das correntes dos ramos esq. e dir.	4

O circuito não entra em “curto” devido às baterias estarem com polaridades opostas	1
Circuitos das malhas abrange duas lâmpadas (esq. ou dir. e central)	3

Localização das Coordenações Inferenciais no protocolo = (sujeito; item)

(A; 4), (A; 12), (B; 10), (H; 1), (H; 5), (H; 8), (I; 3), (I; 4), (I; 8),

(J; 1), (J; 5), (J; 6), (J; 7), (J; 8)

APÊNDICE IV: PROTOCOLOS ENTREVISTAS CLÍNICAS - EXPERIMENTO LEI DE AMPÉRE

SUJEITO A:

- 1) O sujeito reconheceu as baterias, as lâmpadas, os medidores, os disjuntores e as bússolas.
- 2) Foi difícil para o sujeito reconhecer a necessidade de dois fios paralelos ao centro do experimento, sendo que estes são os artefatos mais importantes. Com vistas a este fator, o experimento foi remodelado e os condutores paralelos trazidos mais para a frente do experimento.
- 3) - Ao centro do experimento existem dois fios, qual a posição de um em relação ao outro? *“Estão paralelos.”* - Quantos circuitos elétricos temos neste experimento? *“Dois, não tenho certeza.”*
- 4) - O que acontece se você fechar o circuito na direita? *“Medidor da direita vai ficar negativo, a lâmpada vai ficar vermelha e a bússola talvez vai mexer.”* - Para que lado o ponteiro vermelho da bússola vai apontar? *“Para direita?”* - Por que para a direita? *“Por que a força vai estar para a direita. Ela vai ser puxada para direita”*. O sentido dado pelo sujeito é o do campo magnético criado pela corrente elétrica no condutor está acima da bússola direita.
- 5) O sujeito aciona o interruptor da direita para testar a hipótese. - O que aconteceu? *“A lâmpada acendeu, o medidor ficou negativo e a bússola mexeu.”* - O ponteiro da bússola apontou para qual direção? *“Foi para esquerda.”* - Por quê? *“Por que tá negativo (corrente mostrada no amperímetro) a energia está negativa.”* O sujeito não faz menção de uma relação causal entre o sentido da corrente e o sentido do ponteiro da bússola orientado pelo campo magnético.
- 6) - O que deve ser feito para que o ponteiro a bússola aponte para a direita? *“Se eu virar bateria, deixar positivo, negativa no caso. Aí o número no medidor vai ficar positivo.”* O sujeito menciona a inversão da polaridade da bateria como causador da mudança de sentido do ponteiro da bússola. No entanto, não faz referência a que o valor mostrado pelo amperímetro indica que houve inversão no sentido da corrente.
- 7) O sujeito executa a ação de teste da hipótese. *“É, é isso.”* - O circuito da direita influenciou alguma coisa no circuito da esquerda? *“Não.”* - Aconteceu alguma coisa com os fios paralelos? *“Eu acho que não. Não aconteceu nada.”*

- 8) - Se você ligar o circuito da esquerda, para qual direção irá apontar ponteiro da bússola? *“Vai virar para direita.”* - E a corrente elétrica? *“Vai ficar positiva.”* O sujeito executa o acionamento do interruptor buscando comprovar a hipótese formulada. Nesse momento, vale ressaltar uma possível tomada de consciência do sujeito com relação a posição da polaridade da bateria e seus efeitos sobre a corrente mostrada no amperímetro e a direção apontada pelo ponteiro da bússola. O sujeito comparou o circuito esquerdo com o direito, o que permitiu antecipar corretamente o sinal da corrente mostrada no perímetro e a direção do ponteiro da bússola. No entanto, ele ainda não antecipou o sentido de deslocamento da corrente elétrica no condutor. Para circuitos posteriores será interessante deixá-los assimétricos, para que o sujeito não execute uma simples cópia de posições de um circuito para o outro e com isso seja ampliado o grau de desequilíbrio e resistência oferecidos pelo objeto. Outro aspecto importante é também simular a circulação de corrente pelos circuitos e ter um botão invisível de modo a comandar momento propício para o sujeito ter acesso a tal visualização.
- 9) - Aproveitando o circuito esquerda já energizado, se você acionar também o circuito da direita, o que irá ocorrer? *“A lâmpada vai acender, a corrente vai ficar positiva e talvez essas energias se encontrem aqui no meio (algum tipo de interação nos condutores paralelos). Não sei se vão se somar as forças, ou não, a energia, só sei que isso aqui vai ficar positivo (corrente no amperímetro) e a bússola vai mexer.”* Apesar de citar e talvez ocorra algum tipo de interação entre os dois circuitos energizados, o sujeito não sabe a natureza física dessa interação, nem suas relações causais.
- 10) O sujeito energiza o circuito da direita, as duas baterias estão com a mesma polaridade o que faz com que a corrente circule no mesmo sentido pelos condutores paralelos e estes se atraem mutuamente. - O que aconteceu? *“Tá, as energias se encontraram.”* - As bússolas estão apontadas para onde? *“Pro leste.”* - Por quê? *“Porque as duas (baterias) estão positivas.”*
- 11) - Se a bateria da direita tiver sua polaridade invertida o que ocorre? Antes de responder o sujeito automaticamente efetua a ação. - O que aconteceu? *“Ficou o medidor negativo e a bússola aponta para o leste.”* - E os condutores paralelos? *“A energia não ficou como da última vez.”* O sujeito não faz menção ao fato dos condutores terem se afastado nem a causa disto.
- 12) Dessa forma, o examinador procura verificar a noção do sujeito sobre campo magnético criado por corrente elétrica. - O que faz o ponteiro da bússola se mexer? *“Por causa da*

energia, para que lado ela está no medidor (amperímetro).” O sujeito não especifica a natureza da energia a qual se refere, apenas que ela parece ter um sentido e um valor. *“Se ela tá menos que zero ela vai para esquerda, se ela tá mais, vai para direita.”* A ‘energia’ citada pelo sujeito parece referir-se à corrente elétrica, mas sem que o mesmo tenha consciência disso, muito menos de que a corrente produz um campo magnético e este sim irá orientar o ponteiro da bússola.

- 13) - Considerando esta mesma situação, as baterias dos circuitos com polaridades opostas, se você abrir interruptor da direita o que ocorre com os condutores paralelos? O sujeito abre e fecha o interruptor algumas vezes, observando o fenômeno resultante. *“Ah, se eu abro ele, o fio fica mais perto do outro fio.”* - Por quê? *“Porque ela (corrente de sustentação) não tá fazendo força?”* Sujeito não mostra certeza na sua afirmação. - O que ocorre se você fechar novamente interruptor direito? *“Ele (condutor suspenso) vai ir para trás, vai ficar mais longe do outro fio.”* - Por quê? *“Porque vai ter uma energia puxando ele.”* - De onde vem essa energia? *“Da bateria.”* O sujeito aciona novamente o interruptor direito e os fios se afastam. *“Hum, quando uma positiva e outra negativa eles se afastam.”* O sujeito descobre que quando a leitura dos amperímetros possui sinais contrários, os fios se afastam. No entanto, não toma iniciativa de abrir um dos circuitos e inverter a outra bateria para ver o efeito desta ação.
- 14) - Se você abrir os dois circuitos inverter as duas baterias o que vai ocorrer? *“Onde está positivo vai ficar negativo.”* - E os condutores paralelos? *“Vão ficar a mesma coisa (afastados).”* O sujeito é exortado a realizar a ação para verificar a veracidade da hipótese. *“É, a mesma coisa.”*

SUJEITO B:

- 1) - O que você acha que vai ocorrer com a bússola esquerda quando você fechar o interruptor? *“Com corrente circulando estou com campo magnético em volta dos fios...Tinha a ver quando era para o norte ou para o sul eu não lembro mais.”*
- 2) Sem ter uma teoria para explicar o possível funcionamento o sujeito fecha o interruptor esquerdo. *“Acendeu a lâmpada, movimentou a bússola e aqui (condutores paralelos) continua a mesma coisa.”* - O que acontece com a bússola se você inverter a polaridade da bateria? *“Vai virar, vai passar para o leste.”* O sujeito então executa a inversão na posição da bateria e observa a mudança na orientação do ponteiro da bússola como havia sido referido. - Por que aconteceu isto? *“Inverteu a corrente, antes era negativo agora*

tá positivo.” - O que significa esse negativo ou positivo da corrente? *“Ah não lembro mais.”* - Este fator influenciou no sentido do ponteiro da bússola? *“É no sentido do campo magnético.”* O sujeito não consegue definir a direção e o sentido do campo magnético, mas sabe que ele é formado ao longo dos condutores pela corrente elétrica.

- 3) - Por que a bússola foi sensibilizada? *“Pela troca de sentido da corrente.”* O sujeito desliga o circuito da esquerda e passa a manipular o circuito da direita, ligando e desligando mesmo para ver o efeito e também invertendo o sentido da bateria. Apesar disto ele não formula uma explicação plausível para explicar a inversão do sentido do ponteiro da bússola.
- 4) Com as baterias em contra-frase o sujeito liga os dois circuitos e observa os fios se afastando. - O que aconteceu? *“Nos condutores paralelos, um deles já ficou meio elevadinho (afastou-se do outro), uma bússola aponta para o leste e outra para o Oeste.”* O sujeito desliga o circuito da direita e verifica os condutores se aproximam e quando volta a ligar o circuito eles se afastam novamente. *“Ele gerou um campo magnético.”*
- 5) - Por que os condutores se afastaram? *“Vai ter campo magnético na volta dos dois condutores daí eles vão tentar se afastar.”* - Em termos de sentido de corrente? *“Um tá no positivo outro no negativo, sentidos opostos, só que aí o campo (magnético) eu não me lembro mais.”* - O sentido da corrente, tá passando de onde para onde? *“Eu também não me lembro mais.”*
- 6) - Se o sentido da bateria esquerda for invertido, o que ocorre? *“Mexeu, ficou um balancinho, tentou atrair,”* - Antes qual era a situação dos condutores paralelos? *“Repulsão.”* O sujeito menciona a dificuldade de visualizar tanto campo magnético quanto o sentido da corrente elétrica, seria interessante o experimento possuir tais recursos.

SUJEITO C:

- 1) O sujeito aciona o interruptor esquerdo, o que aconteceu? *“A lâmpada acendeu e a bússola mexeu.”* - Por que a bússola aponta para um determinado sentido e não para outro? O sujeito pede para manipular novamente o interruptor, abrindo e fechando algumas vezes, enquanto observa o comportamento da bússola. *“A corrente (no condutor sobre a bússola) vai do Norte para o Sul.”* O sentido correto seria do Sul para

o Norte, segundo a utilização do sentido convencional circulação de corrente elétrica, seria do polo positivo para o negativo da bateria.

- 2) - O campo magnético está orientado de que maneira? O sujeito não consegue fornecer nenhuma informação a respeito disto. Então, utilizou-se um recurso de melhoria do experimento, que é uma representação do sentido da corrente elétrica e do campo magnético, localizado sobre a bússola e sobre os condutores paralelos e acionado pelo entrevistador quando necessário.
- 3) Após o sujeito religar o circuito da esquerda. - Apareceu alguma coisa diferente? “ *O campo elétrico (magnético, no caso).* ” - Qual é o sentido do campo? O sujeito não consegue definir. - A corrente está apontando para qual sentido? “ *A corrente tá apontando para o outro sistema.* ” Na realidade, a corrente está apontando do Sul para o norte da bússola esquerda.
- 4) - O que ocorrerá se você inverter a polaridade da bateria esquerda? “ *A bússola vai se virar para o outro lado, pro sentido contrário do que ela estava. O campo elétrico (magnético) também vai mudar de sentido.* ” O sujeito aciona o interruptor para verificar a veracidade da hipótese. - O que aconteceu? “ *Mudou o sentido do campo elétrico (magnético), a bússola também mudou (inverteu o sentido da posição do ponteiro).* ” - Por que mudou? “ *Porque eu mudei as cargas (polaridade) da bateria.* ”
- 5) - Qual a grandeza física que comanda a agulha da bússola? “ *Quem faz ela se mexer são as cargas (elétricas).* ”
- 6) Os dois circuitos são ligados, estando as baterias com a polaridade invertida uma em relação a outra. - O que aconteceu? “ *Eles (condutores paralelos) se afastaram.* ” - Por quê? “ *Porque as cargas são diferentes.* ” Devido a imprecisão das respostas do sujeito, foi acionado o recurso de representar o campo magnético e o sentido da corrente elétrica nos condutores paralelos.
- 7) Quando o sujeito liga o circuito da direita os condutores se afastam. - Para ele se afastarem tem que acontecer o quê? “ *As cargas precisam estar em sentidos diferentes. Daí os campos magnéticos vão ter diferentes sentidos. Quando for o mesmo sentido eles se aproximam, quando estão em sentidos opostos eles se separam.* ”

SUJEITO D:

- 1) - Se você fechar o circuito da esquerda, o que acontece com a bússola? *“Acho que vai se mexer.”* - Para qual lado? O sujeito não soube responder. - Qual o sentido da corrente que vai passar no fio acima da bússola? O sujeito não soube responder. Em vista disto, foi solicitado que o sujeito acionasse o interruptor para interpretar os fenômenos resultantes. *“A Bússola mexeu, foi para o leste.”* Ponteiro da bússola.
- 2) Como sujeito ainda não consegue elaborar relação causal que explique a movimentação do ponteiro da bússola, foi utilizada uma representação do campo magnético sobre a bússola e do sentido da corrente elétrica. - A seta vermelha representa qual grandeza física? *“A seta vermelha representa para onde está indo a energia (corrente elétrica) saiu daqui e veio para cá (sentido norte-sul).”* - E o campo magnético, tem sentido também? *“O campo estava no norte e passou para o leste.”* Essa percepção do sujeito não procede, ele está considerando a movimentação do campo de maneira igual a que ocorre com o ponteiro da bússola, sendo que este criado a partir do momento em que a corrente circula e cujo sentido pode ser descoberto pela regra da mão direita. O sujeito ainda não percebeu a representação do sentido do campo simbolizada por setas nas bordas do círculo verde surgido a partir do momento em que o interruptor é acionado.
- 3) - Se você inverter a bateria, o que acontece? *“Acredito que vai inverter, vai inverter a bússola também (o ponteiro).”* - Por que que vai inverter a bússola? *“Mudou a direção das cargas.”* O sujeito está confundindo a posição de repouso do ponteiro da bússola com o sentido de circulação da corrente no condutor sobre a bússola.
- 4) O sujeito então inverte a polaridade da bateria e aciona novamente o interruptor. - O que aconteceu? *“A bússola (o ponteiro) foi do Norte para o Oeste.”* - O que comanda o ponteiro da bússola? *“O campo magnético.”* - O que comanda o campo magnético? *“O campo elétrico?”* - O que está gerando o campo magnético? *“O campo elétrico porque quando eu ligo o interruptor, eu vou acender a lâmpada que acende a bateria. Então, eu acredito que sejam as cargas elétricas que vão passar pelo circuito.”*
- 5) - Se você abrir o interruptor da esquerda e fechar o da direita ocorre algo com a bússola direita? *“Sim só que aí vai ser outro campo, não é o da esquerda que tá influenciando.”*
- 6) - Se você fechar os dois interruptores, o que acontece? *“Os dois ligaram só que um (ponteiro da bússola) tá apontando para Leste e o outro para o Oeste.”*
- 7) - Se você desligar da esquerda em manter a bateria dele, o que ocorre? *“As duas bússola ficaram com mesmo sentido.”* O foco do sujeito ainda continua sendo o ponteiro das

bússolas e não o sentido da corrente e do campo magnético criado. O sujeito ainda não observou a mudança que ocorre pela aproximação ou afastamento dos condutores paralelos.

- 8) - Olha esses dois interruptores paralelos, desliga o serviço da esquerda e liga novamente, acontece alguma coisa com eles? *“Hum...mexeram.”* Neste momento foi liberado o aparecimento da representação de campo magnético e sentido de corrente elétrica nos condutores paralelos, como tentativa de oferecer aspectos observáveis relacionados ao afastamento e aproximação dos condutores.
- 9) Os dois circuitos são novamente energizados. - O que está acontecendo? *“Eu posso dizer que eu campo da esquerda é a barrinha mais embaixo.”* - Se você inverter a bateria do circuito da esquerda o que acontece? *“Parece que ficou mais junto (corrente com o mesmo sentido implica em condutores atraídos).”* O sujeito liga e desliga várias vezes os circuitos buscando encontrar algum padrão que explique o funcionamento da atração e repulsão entre os condutores. *“Parece que aumentou a distância entre eles na hora que eu virei os dois (inverteu o sentido das baterias de ambos os circuitos as deixando em contra-fase, sentido antagônico de corrente nos dois condutores paralelos).”*
- 10) - O que faz os condutores paralelos se afastarem? *“Quando as cargas forem iguais (mesmo sentido de corrente nos condutores) quando as cargas forem diferentes eles vão se aproximar (sentido decorrente opostos).”* O sujeito formulou a hipótese exatamente contrária ao que é mostrado no experimento. - Você pode provar isso na prática? Sujeito executou várias inversões de polaridade baterias dos circuitos. *“Posso concluir quando o polo a bateria tá invertido, muda a carga (sentido da corrente) e muda o sentido do campo.”* - O que faz os condutores se aproximarem ou se afastarem? *“A interação entre as cargas, entre os polos.”* - Entre os polos do quê? *“Os polos não, entre as cargas da carga elétrica, do campo elétrico.”* O sujeito não conseguiu construir relações de causa e efeito capazes de justificar os movimentos de atração e repulsão entre os condutores paralelos do experimento. O conceito de criação de campo magnético pela circulação de corrente elétrica não foi plenamente construído, nem a interação entre os campos magnéticos nos condutores.

SUJEITO E:

- 1) - Qual é o sentido da corrente no circuito da esquerda? *“Eu acho que ele é anti-horário. Vai passar na bússola de Sul para Norte.”* O sujeito liga o interruptor esquerdo e confere que se hipótese estava correta. - O que mais surgiu quando você acionou o interruptor? *“O campo magnético.”* - Qual foi a função deste campo magnético? O sujeito passa então a ligar e desligar o interruptor do circuito esquerdo observando o comportamento do ponteiro da bússola. *“Bom, ambos (campo magnético e corrente elétrica) a luz vai ligar (ocorrem quando a bateria é ligada).”* *“O sentido mudou.”* - Sentido do que? *“Sentido da corrente.”* - Mudou por quê? *“Porque eu inverti a bateria. Antes tava de Sul para Norte agora tá de Norte a Sul.”*
- 2) - E o campo magnético? *“Parece que continua o mesmo.”* O sujeito ainda não identifica o sentido das linhas de campo magnético, as quais são concêntricas ao condutor e cujo sentido pode ser dado pela regra da mão direita e é representado no experimento por pequenas setas ao lado do círculo transparente que representa o conjunto total das linhas de campo. O sujeito parece presumir que sofra algum tipo de rotação em sua direção, similar a que ocorre com o ponteiro da bússola.
- 3) Após mais algumas verificações o sujeito exclama: *“Tá diferente também, o sentido do campo também.”* - Qual o resultado disto para a agulha da bússola? *“Faz ela se mover de uma direção para outra.”* Após mais algumas manipulações e observações o sujeito conclui: *“Ela (ponteiro da bússola) vai ficar sempre de Oeste para Leste”* (a direção do ponteiro da bússola, o sentido ser alternado para leste ou para o Oeste.) - O que é necessário fazer então, para comandar o sentido do ponteiro da bússola? *“Depende da polaridade da bateria e do sentido da corrente.”*
- 4) - Se você observar o circuito da direita, em qual direção irá apontar a agulha da bússola? Neste caso, as observações do sujeito foram feitas por antecipação. *“A corrente eu entendo que ela vai passar de Norte para Sul (de Sul para Norte, pois o sujeito não está usando o sentido convencional de circulação de corrente).”* - A bússola vai apontar para qual sentido? *“Vai apontar para o Sul...será? (sujeito não tem certeza).”*
- 5) O sujeito aciona o interruptor direito para verificar a hipótese. - Aconteceu o que você previu? *“Não. Agulha da bússola está apontando para o Oeste.”* - Como fazer para que ela aponte para Leste? *“Tem de inverter o sentido da bateria.”* O sujeito efetua a inversão de polaridade da bateria e verifica que o sentido da agulha da bússola realmente posiciona-se para Oeste. - O sentido do campo magnético muda? *“Sim, de Norte a Sul.”*

O sujeito está confundindo o sentido do campo magnético com sentido de circulação da corrente elétrica, este sim, no caso, de Norte a Sul.

- 6) - Se os dois interruptores forem acionados, o que ocorrerá com os condutores paralelos no centro do experimento? O sujeito então, aciona os dois interruptores. *“Eles (condutores paralelos) se distanciaram porque as correntes estão opostas.”* - O que acontece se você abrir um dos interruptores? *“Os fios voltam a ficar mais próximos.”* O sujeito executa o teste de hipótese com sucesso. - Por que aconteceu isto? *“Porque...(o sujeito executa mais alguns desligamentos e religamentos)... é por causa dos campos (magnéticos).”* - Se você inverter uma das baterias, o que acontece? O sujeito executa inversão na bateria direita. *“As correntes estão no mesmo sentido, ocorrendo uma pequena repulsão.”* O que o sujeito chama de pequena repulsão é na realidade o efeito da atração entre os dois condutores que produz um pequeno movimento de balanço do condutor suspenso.
- 7) - O que você deve fazer no circuito para que os condutores se afastem? *“Mudar o sentido da minha bateria, da minha carga (corrente elétrica). As baterias estão no mesmo sentido Ó. Se eu inverter alguma delas, a corrente passa em caminhos opostos o distanciamento é maior (repulsão).”* Se você desligar algum dos circuitos por que os condutores voltam a se aproximar? *“Porque deixou de passar corrente num deles.”*
- 8) Apesar da explicação do sujeito para repulsão entre os condutores possua algum grau de coerência, ela ainda está muito focada na questão da comparação dos sentidos das correntes elétricas nos condutores, sem pormenorizar os aspectos de interação entre os campos magnéticos gerados pelas correntes, os quais são os responsáveis pelo afastamento dos condutores.

SUJEITO F:

- 1) - Se você fechar o interruptor da esquerda o que ocorrerá com o circuito? *“Essa bússola aqui da esquerda vai mover.”* - Qual o sentido da corrente neste circuito? *“Ela tá vindo do...é anti-horário.”* - Qual a modificação que vai ocorrer na bússola? *“Ele (circuito esquerdo) tem alguma coisa magnética aqui? Uma bobina sei lá...”* O sujeito questiona se o circuito possui algum dispositivo especificamente magnético para interferir na agulha da bússola, mostrando desconhecimento do fenômeno em questão no experimento. - O experimento só têm fio reto. *“Ah não, então eu acho que não vai*

mexer a bússola.” - Por que você acha que ela não vai mexer? *“Onde é que vai ter um campo magnético aí (no circuito)? Só o da Terra.”*

- 2) O sujeito então efetua o acionamento do interruptor esquerdo. *“Mexeu, foi pro zero (confundiu Oeste com o número zero).”* - Se você inverter a bateria que acontece com o ponteiro da bússola? O sujeito não encontra uma resposta plausível e prefere inverter a polaridade da bateria e acionar um interruptor. *“Ela foi pro outro lado né. Por quê? ... não sei.”*
- 3) O recurso de visualização do campo magnético e da corrente elétrica é disponibilizado. O sujeito aciona interruptor novamente. - Apareceu algo diferente? *“Apareceu o sentido da corrente em vermelho né. E esse verde aqui que é o campo magnético.”* O sujeito ficou integrado com o aparecimento o sujeito ficou intrigado com o aparecimento do campo magnético sobre a bússola. *“O que é campo magnético aí, é o campo magnético da Terra?”* O sujeito não consegue vincular esse campo magnético com o campo magnético do experimento anterior. Provavelmente deve pensar campo magnético nos condutores retos do experimento anterior era devido ao eletroímã, talvez por isso tenha perguntado se existia alguma bobina neste experimento.
- 4) - Se você inverter a posição da bateria, o que muda? *“O sentido da corrente e consequentemente o sentido do campo magnético,”* - Como você sabe disto? *“Ué só olhar aqui o vetor verdinho aqui ó.”* O sujeito aponta para a flecha que está na periferia do círculo verde transparente que representa o sentido das linhas de campo magnético.
- 5) - O que acontece com os condutores paralelos se os dois interruptores foram fechados? O sujeito executa a ação. *“Eles se afastaram.”* - Por quê? *“Por causa do campo?”*
- 6) - O que acontece para os condutores se afastarem? *“Se eles estiverem em sentidos opostos eles se afastam, se tiver mesmo sentido eles se aproximam.”* O sujeito está fazendo referência ao sentido de deslocamento da corrente elétrica nos condutores paralelos. Embora afirmação esteja correta, o sujeito não consegue encontrar uma explicação física que leve em conta a interação entre os campos magnéticos criados pelas correntes nos condutores paralelos, a qual é responsável pela aproximação ou afastamento dos mesmos.

SUJEITO G:

- 1) - Se você acionar o interruptor esquerdo o que ocorre com a bússola? *“Agulha deve ir no sentido da direção da corrente.”* - Agulha da bússola vai apontar para onde? *“Acho*

que vai inverter vai apontar para outra direção.” O sujeito aciona o interruptor buscando corroborar a hipótese criada. - O que apareceu no experimento? “Os campos magnéticos.” - As setas em vermelho representam o quê? “A direção da corrente elétrica (direção e sentido).”

- 2) - Por que a agulha está orientada nesta posição específica? O sujeito não consegue vincular a direção do campo magnético à orientação da agulha da bússola.
- 3) - Se você inverter a posição da bateria, ocorre algo com a agulha da bússola? *“Sim ela vai inverter.”* O sujeito então executa a inversão na busca da comprovação da hipótese criada. *“Ela foi para o lado contrário que estava antes.”* - Por quê? *“Porque agora a corrente está vindo desta posição (Sul para Norte) e antes vinha da outra” (Norte para o Sul).*
- 4) - Abordando agora o circuito da direita, qual o sentido da corrente no mesmo? *“Ela tá passando em cima da bússola da direita para esquerda (sentido norte-sul).”* - Com base nisso a bússola irá apontar para onde? *“Vai apontar para cá para direita (Leste).”* - Por quê? *“Por causa da corrente, da direção da corrente.”* Novamente o sujeito testa sua hipótese. Apesar do sentido apontado pelo seu jeito está correto ele ainda não consegue vincular a movimentação do ponteiro da bússola ao sentido do campo magnético criado pela corrente. - Quem comanda o movimento da agulha da bússola? *“É a direção da corrente.”*
- 5) Se você fechar os dois interruptores o que acontece com os fios paralelos no centro do experimento? *“Provavelmente irá gerar um outro campo no fio.”* O sujeito aciona os dois interruptores e como sentidos de corrente nos condutores paralelos é o mesmo eles se atraem, fato que não desperta a curiosidade do sujeito.
- 6) - Se você inverter a bateria do circuito esquerdo, o que deve ocorrer? *“Eu acho que eles vão se anular, os campos.”* O sujeito executa a ação. - O que aconteceu? *“Eles se afastam.”* - Se você desligar o circuito o que acontece? *“Eles se aproximam de novo.”* *“Quando eu ligo aqui (interruptor) eles (fios paralelos) geram um campo em direções opostas, daí então eles se afastam.”*
- 7) - Se você agora desligar o circuito da direita o que ocorre? *“Eles se aproximam de novo.”* - Por quê? *“Porque não vai passar corrente, não vai ter campo.”*
- 8) - Se você inverter a bateria do circuito direito, o que acontece? Sujeito executa a ação. *“Eles se aproximaram, porque os campos têm a mesma direção (sentido).”* *“As correntes estão gerando os campos, se estiverem na mesma direção ele se aproximam e se estiverem em direções opostas eles se afastam.”*

SUJEITO H:

- 1) Qual o sentido da corrente no circuito da esquerda? *“Sentido horário.”* - Qual o sentido da corrente no fio que passa por cima da bússola? *“Do Norte para o Sul.”* - Se você fechar você fica esquerdo a agulha da bússola vai se mexer ou fica parada? *“Ela fica parada.”* - Por quê? *“É atraída pelo polo positivo da bateria.”*
- 2) O sujeito aciona o interruptor para testar sua hipótese. - Por que a bússola mexeu? *“Ele cria um campo uniforme e aí, no caso, empurra em 90 graus (agulha da bússola), no caso ficam as forças perpendiculares ao ponteiro da bússola.”* Ao fim, o sujeito complementa: *“Agora, porquê ela foi para o leste, aí eu não sei.”*
- 3) A visualização do sentido da corrente elétrica e do campo magnético criado sobre o ponteiro da bússola é habilitada. - O que acontece quando você inverte polaridade da bateria? *“Inverte o sentido da corrente, inverte o campo também e a agulha passa a apontar para o Oeste.”* O sujeito executa a ação e comprova a veracidade da hipótese.
- 4) Se você fechar só o circuito da direita agora, qual o sentido da agulha da bússola? *“Agulha vai apontar para Oeste... não, Leste.”* O sujeito executa e novamente comprova o sucesso da hipótese. *“Isto.”*
- 5) - Se você ligar os dois circuitos o que ocorre com os fios paralelos? *“Não faço ideia.”* O sujeito executa a ação e observa o resultado da mesma sobre os condutores paralelos. *“Ok eles se repeliram.”* *“A corrente está no sentido oposto...ah tá. (O sujeito conclui algo). As correntes estão em sentidos opostos, então as cargas estão em sentidos opostos.”* Sujeito ainda não consegue exprimir uma relação causal que explique o afastamento entre os fios.
- 6) - Se você desligar o circuito da direita, o que acontece com os fios paralelos? *“Ele ia voltar a posição inicial só.”* Após a execução da ação ocorre como o sujeito previra.
- 7) - Se você inverter a bateria do circuito direito, o que acontece? *“Vai afastar, eu acho, de novo.”* Após executar o previsto: *“Não, puxou mais. Mesmo sentidos estão se atraindo.”*
- 8) A bateria é novamente invertida e o circuito ligado: *“Sentidos opostos (de corrente elétrica) estão repelindo (condutores paralelos). Parece o oposto do que deveria ser.”* Essa observação do sujeito diz respeito aos sentidos opostos das correntes, visto que ele está considerando tais sentidos para a atração ou repulsão dos paralelos e não a interação entre os campos magnéticos criados. Para que haja repulsão ou atração dos condutores é importante levar em conta o sentido dos campos magnéticos criados pelas correntes.

Campos com o mesmo sentido (correntes opostas) causarão repulsão, com sentidos opostos (correntes com sentidos iguais) causarão atração entre os fios.

Sujeitos	Experimento Oersted-Ampère								Total
	A	B	C	D	E	F	G	H	
Abstrações Reflexionantes	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Tomadas de consciência	2	1	1	0	1	0	0	2	7
Coordenações Causais	3	0	1	0	2	1	1	2	10
Coordenações Inferenciais	0	1	0	2	0	0	1	1	5

Abstrações Reflexionantes

Comparação entre o sinal da corrente no amperímetro e a direção do ponteiro da bússola	1
--	---

Localização das Abstrações Reflexionantes no protocolo = (sujeito; item)

(A; 12)

Tomadas de consciência

Mesmo sentido de corrente aproxima os fios paralelos, o sent. inverso afasta	4
Afastamento dos fios paralelos pela interação entre os campos magnéticos	2
Direção ponteiro da bússola comandada pelo sentido da corrente elétrica	1

Localização das tomadas de consciência no protocolo = (sujeito; item)

(A; 13), (A; 13), (B; 4), (C; 7), (E; 3), (H; 5), (H; 7)

Coordenações Causais

A polaridade da bateria determina o sinal da corrente e a direção do ponteiro da bússola	7
Correntes elétricas com sentidos opostos afastam os condutores paralelos	4

Localização das Coordenações Causais no protocolo = (sujeito; item)

(A; 4), (A; 8), (A; 14), (C; 1), (E; 1), (E; 7), (F; 6), (G; 8), (H; 3), (H; 4)

Coordenações Inferenciais

Inversão da polaridade da bateria causa inversão na corrente e no ponteiro da bússola	2
---	---

Campo criado pela corrente movimenta o ponteiro da bússola	1
Sentidos opostos de corrente afasta os condutores paralelos	1
Criação do campo magnético pela circulação de corrente elétrica nos condutores	1

Localização das Coordenações Inferenciais no protocolo = (sujeito; item)

(B; 5), (D; 3), (D; 4), (G; 3), (H; 2)
