



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO MATEMÁTICA E
TECNOLÓGICA**

WILKER VICTOR DA SILVA AZEVÊDO

**INVESTIGANDO DIFICULDADES DE APRENDIZAGEM SOBRE CIRCUITOS
ELÉTRICOS: CONTRIBUIÇÕES A PARTIR DE CONCEPÇÕES, DOS
REGISTROS DE REPRESENTAÇÃO E DOMÍNIOS TECNOLÓGICOS**

Recife
2020

WILKER VICTOR DA SILVA AZEVEDO

**INVESTIGANDO DIFICULDADES DE APRENDIZAGEM SOBRE CIRCUITOS
ELÉTRICOS: CONTRIBUIÇÕES A PARTIR DE CONCEPÇÕES, DOS
REGISTROS DE REPRESENTAÇÃO E DOMÍNIOS TECNOLÓGICOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Educação Matemática e Tecnológica (PPGEDUMATEC) do Centro de Educação da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Educação Matemática e Tecnológica.

Área de concentração: Educação Tecnológica

Orientadora: Verônica Gitirana, PhD.

Recife
2020

Catálogo na fonte
Bibliotecário Danilo Leão, CRB-4/2213

- A994i Azevedo, Wilker Victor da Silva
Investigando dificuldades de aprendizagem sobre circuitos elétricos: contribuições a partir de concepções, dos registros de representação e domínios tecnológicos / Wilker Victor da Silva Azevedo –2020.
353 f.
- Orientação de: Verônica Gitirana.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Educação. Programa de Pós-graduação em Educação Matemática e Tecnológica, 2020.
Inclui Referências.
1. Aprendizagem. 2. Eletricidade. 3. Educação. I. Gitirana, Verônica (Orientação). II. Título.

371 (23. ed.)

UFPE (CE2024-014)

WILKER VICTOR DA SILVA AZEVEDO

**INVESTIGANDO DIFICULDADES DE APRENDIZAGEM SOBRE CIRCUITOS
ELÉTRICOS: CONTRIBUIÇÕES A PARTIR DE CONCEPÇÕES, DOS
REGISTROS DE REPRESENTAÇÃO E DOMÍNIOS TECNOLÓGICOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Educação Matemática e Tecnológica (PPGEDUMATEC) do Centro de Educação da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Educação Matemática e Tecnológica.

Aprovado em: 26/06/2020.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Verônica Gitirana Gomes Ferreira (Orientadora e Presidente)
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Iranete Maria da Silva Lima (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Ademar Virgolino da Silva Netto (Examinador Externo)
Universidade Federal da Paraíba

Prof. Dr. Diógenes Soares Moura (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Cláudio Pereira da Costa (Examinador Externo)
Universidade de Pernambuco

Outro saber que não posso duvidar um momento sequer na minha prática educativo-crítica é o de que, como experiência especificamente humana, a educação é uma forma de intervenção no mundo. Intervenção que, além do conhecimento dos conteúdos bem ou mal ensinados e/ou aprendidos, implica tanto o esforço de reprodução da ideologia dominante quanto o seu desmascaramento. (...) E é uma imoralidade, para mim, que se sobreponha, como se vem fazendo, aos interesses radicalmente humanos, os do mercado (Pedagogia da Autonomia, Paulo Freire).

Dedico este trabalho:

A minha esposa, Priscilla, e ao meu filho, Thomas. Vosso amor, sorrisos, suporte e sacrifício foram sustento e energia durante a construção deste trabalho.

Ao meu pai, Cláudio (falecido no início dessa jornada do doutoramento) e a minha mãe, Dulce. Agradeço por todo carinho, apoio, amor e ensinamentos. Um casal que transportou tanta fé na força transformadora da educação que dela fez instrumento de combate à injustiça social, permitindo aos filhos a materialização de sonhos. O incessante estímulo resultou na “casa de professores”.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me conceder sabedoria e reflexão na busca por cada objetivo.

A minha amiga, parceira e esposa, Priscilla, e ao meu querido filho, Thomas, por cederem paciência, compreensão e irrecuperáveis horas de convívio familiar, dividiram a dor da perda e a volta aos trilhos, ao tempo em que me encorajaram e trouxeram entusiasmo na dedicação a este trabalho.

Aos meus pais, Cláudio (em memória) e Dulce, fontes de inspiração ao decorrer das jornadas. A ausência intelectual e afetiva do meu pai e a força inspiradora da minha mãe redimensionaram minha percepção sobre a vida. Seu incentivo na trajetória acadêmica, familiar, o olhar cuidadoso para a Educação, me trouxe, de maneira tácita, do exercício da Engenharia Elétrica também para a docência. A todos os educadores das famílias Silva e Azevêdo, em especial à memória de meus avós (Artur e Teresinha, Joaquim e Sebastiana), os quais fizeram de suas casas verdadeiras escolas de laços fraternais.

Ao meu irmão Cláudio Jr., e as minhas irmãs Monelly e Mirelly, pela humildade e orientações, pela rica troca de experiências como irmãos e docentes. Grato por dividirem dificuldades, soluções, novas ideias e boas práticas. Jaci, Rommel, Priscilla, Rangel, Kauã, Beatriz e Thomas certamente inspiram decisões.

À professora e orientadora Verônica Gitirana, pelos saberes compartilhados através dos tantos e tantos recursos intelectuais, contribuições científicas, pela serenidade e força. Agradeço pelo excelente convívio, sugestões, discussões e ideias compartilhadas, pelo incentivo ao aperfeiçoamento profissional.

Aos professores Franck Bellemain e Paulo Figueiredo pelos valiosos contributos.

Ao professor Sérgio Abranches pelo convívio e pelas importantes palavras e diálogos em um momento pessoal muito delicado desta jornada.

Ao corpo docente e administrativo do EDUMATEC, e aos demais professores ao longo de minha trajetória.

Aos colegas do GERE e do LEMATEC, gratidão e reconhecimento pelo bom convívio, apoio e pelas contribuições à Tese durante os seminários.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE) - Campus Garanhuns, casa de educação muito importante para o estado.

Aos colegas do IFPE, IFPB, UFCG e de outras instituições que contribuíram historicamente com discussões que culminaram no tema, aos colegas da “República de Garanhuns” - lugar de compartilhamento de ideias e ideais para a Educação e a todos os demais que, ao longo desta trajetória, contribuíram para a concretização do trabalho.

RESUMO

A tese tem como objetivo geral prospectar dificuldades de aprendizagem sobre ligações e associação entre resistores em Circuitos Elétricos. Para isso, investiga a construção do conhecimento, concepções e registros de representação. São evidenciados aspectos sobre diagramas, ligações, vocábulos e propriedades empíricas de recursos analógicos e digitais. A Teoria dos Registros de Representação Semiótica (TRRS) foi utilizada em suporte às interpretações sobre tratamento e conversão. Situações-problema projetadas foram definidas a partir de uma proposta de classificação de registros e domínios tecnológicos, resultando na Ferramenta de Análise de Concepções em Circuitos Elétricos (FACCE). Ela foi aplicada a vinte e seis (26) sujeitos, sendo dez (10) estudantes calouros de Engenharia Elétrica e outros dezesseis (16) do 1º ano de um curso Técnico de Eletroeletrônica integrado ao ensino médio. O delineamento metodológico contemplou duas etapas, em que a Análise de Conteúdo foi utilizada para dar suporte à descrição analítica e interpretação referencial dos dados. Estes permitiram revelar a compreensão de sujeitos sobre associação de resistores, resistência equivalente, a Lei de Ohm e a dissipação de potência. Acerca dos conhecimentos declarativos dos sujeitos, os resultados evidenciaram forte influência de uma lógica dialética posicional e uma superposição semântica quanto aos conceitos de seriação e paralelismo. As referências icônicas retrataram um raciocínio morfológico que integra uma dificuldade de aprendizagem. Dos domínios tecnológicos, há a necessidade ontológica de organização de registros, dos recursos analógicos e digitais nos dois sentidos de conversão, assim como confrontos a concepções não científicas e às barreiras de percepção do caráter tridimensional das ligações. Quanto às concepções, houve vínculo não apenas a dificuldades de compreensão dos conceitos basilares (tensão, corrente), mas também auxiliares (nó, ramo e malha). Os sujeitos dos dois grupos manifestaram similaridade quanto à natureza de dificuldades e concepções. Porém, os que lidam com recursos experimentais de perfil semiótico diferente do contexto dos materiais instrucionais, mesmo mais jovens, aplicam os conceitos fundantes e auxiliares de maneira mais orgânica, abstrata. Os resultados revelaram dificuldades endereçadas ao contexto algébrico (equivalência de expressões, operações com frações, proporcionalidade, potenciação, MMC) e ao geométrico (análise plana e espacial, simetria). Isso implicou na compreensão mais precisa do diagnóstico conceitual, acerca do que deve ser ensinado, e da necessidade de fundação de estudos topológicos, reexaminando e expandindo o conteúdo dos livros didáticos e técnico-científicos.

Palavras-chave: representação semiótica; circuitos elétricos; concepções; dificuldades de aprendizagem; associação de resistores.

ABSTRACT

The main aim is to explore learning difficulties about connections and associations between resistors in Electrical Circuits. For this, it investigates the knowledge construction, conceptions and representation registers. Aspects about diagrams, connections, words and empirical properties of analog and digital resources are highlighted. The Theory of Registers of Semiotic Representation (TRSR) was used to support interpretations about treatment and conversion. Projected situations were defined based on a classification for registers and technological domains, resulting in the Tool for Conceptions Analysis in Electrical Circuits (T-CAEC). It was applied to twenty-six (26) subjects - ten (10) students at a first year in Electrical Engineering and another sixteen (16) from the first year of an Electro-electronics Technical course, which is integrated with high school. The methodological design included two stages, in which Content Analysis was used to support the analytical description and referential interpretation of the data. These allowed to reveal the subjects' understanding of resistor association, equivalent resistance, Ohm's Law and power dissipation. About the subjects' declarative knowledge, the results showed a strong influence of a positional dialectical logic and a semantic superposition regarding the concepts of serialization and parallelism. The iconic references portrayed a morphological reasoning which integrates a learning difficult. In the technological domains, there is an ontological need for organizing registers, analogical and digital resources in both directions of conversion, as well as confrontations with non-scientific conceptions and with perception barriers of the 3D connections. About misconceptions, there was a link not only to difficulties in understanding the basic concepts (voltage, current), but also auxiliary (node, branch and mesh). The subjects in the two groups showed similarity regarding the nature of difficulties and conceptions. However, those who work with experimental resources, in which a semiotic profile is different from the context of the instructional materials, although younger people, apply the main and auxiliary concepts with a more organic and abstract way. The results also revealed difficulties addressed to the algebraic context (equivalence of expressions, operations with fractions, proportionality, potentiation, MMC) and to the geometric (flat and spatial analysis, symmetry). This implied a more precise understanding of the conceptual diagnosis, about what should be taught, and the need to establish topological studies, reexamining and expanding the content of didactic and technical-scientific books.

Keywords: *semiotic representation; electric circuits; conceptions; learning difficulties; association of resistors.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Um exemplo de circuito em corrente contínua.....	23
Figura 2 - Artefatos em um laboratório de Eletricidade e Eletrônica.....	24
Figura 3 - Cenários diversificados inerentes aos circuitos elétricos.	32
Figura 4 - Caracterização dos Nós Elétricos de um Circuito.....	33
Figura 5 - Quesito com apresentação dos componentes e ligações dispostos espacialmente através de linhas verticais e horizontais.	49
Figura 6 - Apresentação da associação entre resistores no livro didático: Compreendendo a Física – Eletromagnetismo e Física Moderna.....	51
Figura 7 - Apresentação das ligações entre resistores no livro didático: Física 3 – Eletricidade, Física Moderna.	51
Figura 8 - Modelos de topologias de circuitos elétricos para análise comparativa.	52
Figura 9 - Circuitos elétricos em série para atividade de reprodução de desenhos.	54
Figura 10 - Atividades para análise do brilho de lâmpadas.....	57
Figura 11 - Topologias de redes resistivas equivalentes construídas em protoboard.	61
Figura 12 - Placas de circuito impresso perfuradas para montagem de circuitos.	62
Figura 13 - Ligações através de fios na maleta experimental SD 1202 Minipa.	63
Figura 14 - Ligações entre lâmpadas: Bancada de instalações elétricas (DK8).....	63
Figura 15 - Resistores de diversas dimensões em uma placa de circuito perfurada.....	64
Figura 16 - Conexões entre resistores através de fios em um protoboard.....	64
Figura 17 - Um circuito real sob protoboard e modelo correspondente.....	65
Figura 18 - Representação de um arranjo resistivo e representação em software.	66
Figura 19 - Tela com exemplo - Circuit Construction Kit (CCK).	67
Figura 20 - Distribuição de tensão no primeiro estudo de caso da obra de Ohm.....	72
Figura 21 - Arranjo físico original do medidor de resistência diferencial de Wheatstone.....	73
Figura 22 - O conceito de conexão tipo “arco” entre componentes.	75
Figura 23 - Ligações no sistema de distribuição de T. A. Edison.....	77
Figura 24 - Disposição de aparatos de refrigeração em múltiplos arcos.	78
Figura 25 - Correspondência topológica: permuta e rearranjo posicional de ramos.	81

Figura 26 - Diferenciação topológica: rearranjo da posição de resistor.	82
Figura 27 - Resistor equivalente em correspondência de circuitos com lâmpadas.	85
Figura 28 - Arranjo “pavimentando” o caminho à ponte de Wheatstone.	85
Figura 29 - Variações no desenho formal para representar um mesmo circuito.	88
Figura 30 - Circuito para análise de interpretantes não generalizáveis.	92
Figura 31 - Um único circuito desenhado de maneiras diferentes.	108
Figura 32 - Representação da associação série e seu circuito equivalente.	112
Figura 33 - Representação da associação em paralelo e seu circuito equivalente.	112
Figura 34 - Uma “rede de circuitos elétricos”.	115
Figura 35 - Exemplo de arranjo entre resistores para estudo de equivalência.	118
Figura 36 - Permuta posicional como função de tratamento da representação.	118
Figura 37 - Rotação parcial de um dos ramos do circuito da Figura 35.	119
Figura 38 - Rotação total do circuito da Figura 35.	119
Figura 39 - Uma Operação de tratamento via sistema simbólico convencional.	120
Figura 40 - Elementos, domínios e registros na análise de circuitos.	122
Figura 41 - Extrato de livro didático explicando a associação em série.	124
Figura 42 - Realização de uma montagem de circuito elétrico em corrente contínua.	125
Figura 43 - Estrutura da sequência investigativa.	133
Figura 44 - Laboratório de Eletricidade e Eletrônica do IFPE Campus Garanhuns.	141
Figura 45 - Situação-problema conceitual sobre seriação e paralelismo.	144
Figura 46 - Concepções sobre a associação série (sujeito E4).	145
Figura 47 - Concepções sobre a associação série (sujeito E3).	146
Figura 48 - Concepções sobre a associação paralelo (sujeito E5).	147
Figura 49 - Concepções sobre a associação paralelo (sujeito E1).	149
Figura 50 - Concepções sobre a associação paralelo (sujeito E10).	149
Figura 51 - Concepções sobre a associação paralelo (sujeito E6).	150
Figura 52 - Situação-problema sobre equivalência de diagramas.	151
Figura 53 - Conversão ao registro simbólico algébrico (sujeito E5).	152
Figura 54 - Conversão do registro icônico ao simbólico (sujeito E2).	153

Figura 55 - Situação-problema sobre R_{eq} : resistências de chuveiro.	154
Figura 56 - Associação série com resistências de chuveiro (sujeito E3).....	155
Figura 57 - Associação série com resistências de chuveiro (sujeito E5).....	155
Figura 58 - Associação série com resistências de chuveiro (sujeito E4).....	156
Figura 59 - Paralelismo das resistências de chuveiro: (a) sujeito E7; (b) sujeito E8.....	156
Figura 60 - Solução da situação-problema: representação icônica empírica.	157
Figura 61 - Destaque aos terminais dos componentes.....	158
Figura 62 - Protocolo parcial: icônico formal → empírico (sujeito E4).....	161
Figura 63 - Protocolo parcial: icônico formal → empírico (sujeito E7).....	161
Figura 64 - Protocolo parcial: icônico formal → empírico (sujeito E2).....	161
Figura 65 - Protocolo parcial: icônico formal → empírico (sujeito E6).....	162
Figura 66 - Solução da situação-problema sobre representação icônica empírica.	163
Figura 67 - Protocolo de resolução: paralelismo no tetraedro (sujeito E5).....	164
Figura 68 - Situação-problema para interpretação icônica e operação algébrica.....	164
Figura 69 - Situação-problema para interpretação icônica empírica em PCB.....	166
Figura 70 - Destaque aos nós elétricos através das trilhas de conexão do PCB.....	167
Figura 71 - Protocolo: interpretação icônica do PCB (sujeito E5).	168
Figura 72 - Protocolo: interpretação icônica do PCB (sujeito E7).	168
Figura 73 - Situação para ilustração e representação física no protoboard.....	169
Figura 74 - Organização das interligações e divisões no protoboard.....	170
Figura 75 - Protocolo: ilustração (sujeito E4).	171
Figura 76 - Protocolo: ilustração (sujeito E2).	171
Figura 77 - Protocolo: ilustração (sujeito E7).	172
Figura 78 - Protocolo: ilustração (sujeito E5).	172
Figura 79 - Protocolo: montagem no protoboard (sujeito E1).	173
Figura 80 - Protocolo: montagem no protoboard (sujeito E2).	173
Figura 81 - Protocolo: montagem no protoboard (sujeito E6).	174
Figura 82 - Protocolo: montagem no protoboard (sujeito E3).	174
Figura 83 - Protocolo: montagem no protoboard (sujeito E5).	174

Figura 84 - Situação-problema para análise conceitual integrada das leis básicas.	175
Figura 85 - Situação-problema para produção no registro icônico (T1).	195
Figura 86 - Situação-problema para produção no registro icônico (T7).	196
Figura 87 - Situação-problema para produção no registro icônico (T12).	196
Figura 88 - Potência elétrica: alternativas ao desenvolvimento científico formal.	206
Figura 89 - SP1 - produção no registro icônico (T11): desenho do protoboard.	210
Figura 90 - SP2 - produção no registro icônico (T3): influência imagética.	210
Figura 91 - Percurso sugerido e processos alternativos nas situações-problema 1 e 2.	211
Figura 92 - Articulação estruturada da ligação série no protoboard.	213
Figura 93 - Uso de cabos para indicar nós elétricos / terminais de referência.	213
Figura 94 - Desconsideração das regras do recurso nas ligações série e paralelo.	213
Figura 95 - Percurso para resolução da situação-problema 3 (Fase B – Parte I).	214
Figura 96 - Resolução SP3 – Sujeito T1 (Fase B – Parte I).	215
Figura 97 - Resolução SP3 - erros nas operações com frações (Fase B – Parte I).	216
Figura 98 - Resolução SP3 – resultado do algoritmo na aplicação por partes para cálculo de resistência equivalente na associação em paralelo (Fase B – Parte I).	217
Figura 99 - Situação-problema: placa de circuito perfurado de dupla face.	218
Figura 100 - Protocolo da construção do misto circuito no CCK/PhET (T9).	220
Figura 101 - Construção do caso e medição digital na situação-problema SP5 (T1).	221
Figura 102 - Etapas envolvidas na resolução da situação-problema SP5.	224
Figura 103 - Exemplo de resolução da situação-problema SP6 (T7).	226
Figura 104 - Resolução da situação-problema SP6 (T5) e análise de tratamento.	227
Figura 105 - Módulo experimental 1103A: AC Circuit - MINIPA.	231
Figura 106 - Conjunto de montagens em SP3 (Fase B - Parte II) – Sujeito T4.	234
Figura 107 - Montagens com o maior protoboard - SP3 (Fase B - Parte II).	235
Figura 108 - Compressão dos terminais na produção da associação em série: tentativa de alinhamento morfológico com o menor protoboard - SP3 (Fase B - Parte II).	235
Figura 109 - Diversificação topológica da associação em série - SP3 (Fase B - Parte II).	236
Figura 110 - Diversificação da associação em paralelo - SP3 (Fase B - Parte II).	236

Figura 111 - Compressão das ligações na associação série - SP3 (Fase B - Parte II).....	237
Figura 112 - Compressão das ligações na associação série - SP3 (Fase B - Parte II).....	238
Figura 113 - Representação imagética de circuito com o raciocínio de atenuação.	243
Figura 114 - Circuito com maior noção de correspondência entre a concepção morfológica e a topologia elétrica do circuito.	245
Figura 115 - Circuito com menor noção de correspondência entre a concepção morfológica e a topologia elétrica do circuito.	246
Figura 116 - Percurso para avaliação de inconvenientes de significação.	248
Figura 117 - Abordagem com referência atípica sobre a referência de terminais.	249
Figura 118 - Conversões e tratamentos na associação de resistores em paralelo: exemplo com os registros da Língua Natural e Simbólico-algébrico.	256
Figura 119 - Alguns objetos de conhecimento da Matemática no Ensino Fundamental.	256
Figura 120 - Apresentação da expressão “produto pela soma” no cálculo da resistência equivalente para dois resistores elétricos em paralelo.	259
Figura 121 - Aumento da resistência equivalente por meio da administração de um circuito dinâmico com chaves: redução da corrente elétrica fornecida pela fonte.	277
Figura 122 - Redução da resistência equivalente por meio da administração de um circuito dinâmico com chaves: aumento da corrente elétrica fornecida pela fonte.	277
Figura 123 - Características de um design metodológico colaborativo e ativo.	296

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Dificuldades em relação ao conceito de resistência elétrica.	45
Quadro 2 – Dificuldades quanto às ligações entre componentes em um circuito.	46
Quadro 3 - Estruturação conceitual utilizada nas análises.	84
Quadro 4 – Algumas competências esperadas em Física.	100
Quadro 5 – Classificação dos registros (modificado).	105
Quadro 6 – Exemplos de registros de representação para a associação série.	106
Quadro 7 – Conversão do Registro da Linguagem Natural para a Icônica Empírica.	110
Quadro 8 – Estudos, amostras e administração das ferramentas.	134
Quadro 9 – Situações-problema e etapas em cada fase da FACCE.	142
Quadro 10 – Conjuntos de resposta apresentados pelos sujeitos no Primeiro Estudo.	143
Quadro 11 – Associação série: raciocínio, exemplo e termos (Primeiro Estudo).	144
Quadro 12 – Associação em paralelo: raciocínio empregado, exemplo e termos.	147
Quadro 13 – Elementos dos protocolos sobre o tetraedro: Primeiro Estudo.	163
Quadro 14 – Divisão Completa da FACCE: Primeiro e Segundo Estudos.	190
Quadro 15 – Conjuntos de resposta expostos no Segundo Estudo.	191
Quadro 16 – Declaração conceitual do nó elétrico e identificação, pelos sujeitos, do número de nós elétricos no tetraedro durante o Segundo Estudo.	197
Quadro 17 – Elementos de análise e declaração conceitual científica para associação em série e associação em paralelo entre resistores.	240
Quadro 18 – Relação causal entre conceitos de associação e resistência equivalente.	251

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resposta sobre equivalência topológica – Estudo Piloto.....	152
Tabela 2 – Análise do registro icônico empírico revelado pelo desenho.	159
Tabela 3 – Análise do registro icônico formal revelado pelo registro icônico empírico (desenho do protoboard) – Estudo Piloto.	160
Tabela 4 – Elementos dos protocolos de resposta em relação aos processos de conversão e tratamento nos registros icônico e simbólico: Estudo Piloto.	165
Tabela 5 – Síntese da situação (Caso I) com conceitos integrados (Estudo Piloto).	176
Tabela 6 – Síntese da situação (Caso II) com conceitos integrados (Estudo Piloto).	177
Tabela 7 – Síntese da situação (Caso III) com conceitos integrados (Estudo Piloto).	178
Tabela 8 – Codificação das dificuldades a partir de conteúdos e aspectos interpretativos.	183
Tabela 9 – Categoria versus sujeito: análise global para calouros da engenharia.	184
Tabela 10 – Resposta sobre equivalência topológica – Estudo Ampliado.	194
Tabela 11 – Análise do registro icônico formal revelado pelo registro icônico empírico (desenho do protoboard) – Estudo Ampliado.	200
Tabela 12 – Análise do registro icônico empírico revelado pelo desenho.	202
Tabela 13 – Interpretação da associação série em PCB – Estudo Ampliado.	219

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

Sigla	Significado
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CBEF	Caderno Brasileiro de Ensino de Física
CCK	<i>Circuit Construction Kit</i>
CES	Câmara de Educação Superior
CNE	Conselho Nacional de Educação
COBENGE	Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia
DIRECT	<i>Determining and Interpreting Resistive Electric Circuits Concepts Test</i>
EPT	Educação Profissional Tecnológica
ERIC	<i>Education Resources Information Center</i>
FACCE	Ferramenta para Análise de Concepções em Circuitos Elétricos
FPC	<i>Flex Printed Circuit</i>
MEC	Ministério da Educação
PCB	<i>Printed Circuit Board</i>
PCI	Placa de Circuito Impresso
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
PhET	<i>Physics Education Technology</i>
PSIM	<i>PowerSym Tech</i>
RBEF	Revista Brasileira de Ensino de Física
SECDT	<i>Simple Electric Circuit Diagnostic Test</i>
SINECT	Simpósio Nacional de Ensino de Ciências e Tecnologia
TEC	Topologia Elétrica do Circuito
TRRS	Teoria dos Registros de Representação Semiótica

SUMÁRIO

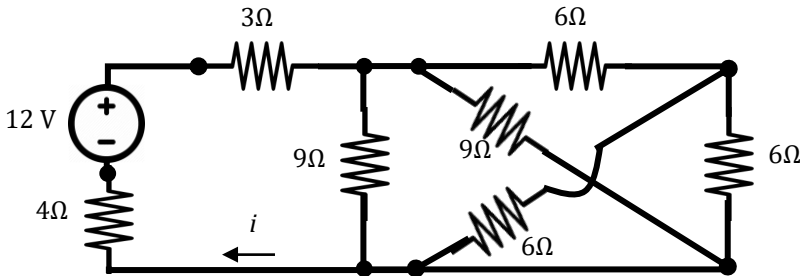
1	INTRODUÇÃO	20
1.1	Discutindo sobre Concepções não Científicas	25
1.2	Considerações Iniciais sobre Concepções em Circuitos Elétricos	30
1.3	Construindo Significados	31
1.4	Sobre Signos e Topologia.....	33
1.5	Sobre Múltiplos Cenários de Representação	35
1.6	Questões Norteadoras, Hipóteses e Objetivos.....	36
1.7	Percurso da Proposta.....	39
2	CONCEPÇÕES NA LITERATURA	41
2.1	Fontes de Pesquisa e Parâmetros de Investigação	41
2.2	Sobre Dificuldades Conceituais e Classificação de Concepções	43
2.3	Uma Revisão sobre Diagramas e Ligações entre Componentes	47
2.4	Considerações Finais do Capítulo	59
3	RECURSOS EXPERIMENTAIS	60
3.1	Sobre Recursos Analógicos para Experimentação	60
3.2	Sobre Recursos para Simulação Digital.....	66
3.3	Considerações Finais do Capítulo	68
4	A CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO	71
4.1	Elementos Epistemológicos	71
4.2	Sobre Concepções e Dificuldades na Compreensão de Conceitos.....	83
4.3	Reflexões sobre Obstáculos e a Formação Conceitual.....	89
4.4	Sobre Competências Almejadas nos Documentos Oficiais.....	97
5	REGISTROS E DOMÍNIOS TECNOLÓGICOS	103
5.1	O Caminho à Teoria dos Registros de Representação.....	103
5.2	TRRS - Atividades Fundamentais	109
5.3	Bidirecionalidade e o Plano Experimental	110
5.4	Representação e Formação do Conceito	111
5.5	Análise de Invariantes	113
5.5.1	O Significado de Circuito Elétrico	113
5.5.2	Nós e Ramos: O Que não Muda quando Muda?	115
5.6	Discutindo os Registros e Domínios Tecnológicos.....	120
5.7	Considerações Finais do Capítulo	127
6	DELINEAMENTO METODOLÓGICO	129

6.1	Público Participante	129
6.2	Sequência Investigativa	130
6.3	Administração das Etapas	135
6.4	Análise dos Dados	136
6.5	Elementos Programáticos do Instrumento	139
6.6	Premissas Admitidas.....	140
7	PRIMEIRO ESTUDO	142
7.1	Caracterização dos Dados	142
7.2	Resultados e Discussões sobre o Primeiro Estudo.....	142
7.2.1	Formação Conceitual sobre Sieriação e Paralelismo.....	144
7.2.2	Invariantes na Equivalência de Diagramas	150
7.2.3	Cálculo de Resistência Equivalente.....	153
7.2.4	Abordagem Qualitativa: Resistência do Chuveiro	154
7.2.5	Interpretação do Registro Icônico: Empírico → Pictórico	157
7.2.6	Interpretação do Registro Icônico: Formal → Empírico.....	160
7.2.7	Abordagem Qualitativa: Paralelismo no Tetraedro	162
7.2.8	Resistência Equivalente em Circuitos Mistos	164
7.2.9	A Imagem da Placa de Circuito com Trilhas.....	166
7.2.10	Conversão: Língua Natural → Icônico → Protoboard	169
7.2.11	Brilho de Lâmpadas: Abordagem Conceitual Integrada.....	175
7.3	Uma Descrição Analítica das Dificuldades Reveladas	179
8	SEGUNDO ESTUDO	189
8.1	Novos Elementos e Situações.....	189
8.2	Resultados e Discussões do Segundo Estudo	191
8.2.1	Fase A – Descrição Analítica e Comparativa	191
8.2.2	Aprofundando Comparações e Introduzindo Elementos Referenciais.....	202
8.3	Interpretação Referencial.....	239
8.4	O Raciocínio Morfológico	260
8.5	A Bidirecionalidade das Conversões e os Aspectos Experimentais	265
8.6	Outras Especificidades: Estudantes do Curso Técnico x Bacharelados	269
8.7	Considerações Complementares	270
8.8	Implicações à Docência	272
9	CONCLUSÕES.....	281
9.1	Questões, Hipóteses e Principais Descobertas	281
9.2	Implicações Disciplinares	290

9.3	Limitações dos Estudos e dos Instrumentos	292
9.4	Sugestões ao Currículo e Trabalhos Futuros	294
REFERÊNCIAS.....		298
APÊNDICE A - FACCE.....		311
APÊNDICE B – TERMO DE AUTORIZAÇÃO		327
APÊNDICE C - SOBRE TENSÃO E CORRENTE ELÉTRICA		328
APÊNDICE D – TOPOLOGIA ELÉTRICA E TECNOLOGIAS		344

1 INTRODUÇÃO

No circuito elétrico a seguir, determine a corrente elétrica “ i ”.



“Professor, eu sei aplicar a Lei de Ohm, entendo as Leis de Kirchhoff, mas eu não consigo enxergar direito o circuito para resolver o problema” (A.G.L.E., 2016)

A imagem acima ressalta elemento de partida da investigação tratada no trabalho: um relato de dificuldade evidenciado por um estudante do ensino médio, vinculado à resolução de problema recorrente em estudos sobre Circuitos Elétricos, o qual presume interpretar como componentes ou representações destes se encontram conectados. O problema implica também na aplicação de leis da Física ou desdobramentos importantes delas. No escopo, a tese visa prospectar dificuldades de aprendizagem sobre ligações e associação entre resistores em Circuitos Elétricos. Neste sentido, procura investigar elementos da construção do conhecimento, admitindo a historicidade em torno do vocabulário discursivo e visual, elencando aspectos didáticos, observando dificuldades de aprendizagem e concepções não científicas.

O capítulo inicial fomenta o contexto geral das concepções, enfatizando as fronteiras do cerne escolhido no campo dos Circuitos Elétricos e o papel da representação na construção de significados. Admite-se o abstrato sistema de signos e a percepção do uso de tecnologias educacionais, reconhecendo a dificuldade de aprendizagem frente cenários cujos procedimentos e raciocínios requerem uma formação interpretativa sobre a topologia elétrica dos circuitos, acerca de diagramas, em que se reconhece a multiplicidade de cenários. A partir daí, são balizadas questões norteadoras, hipóteses e objetivos específicos.

O panorama apresentado neste capítulo evidencia a prospecção sobre a análise das dificuldades em alguns trabalhos na literatura, em que será situada, de maneira geral bem como para recursos específicos, a importância de uma avaliação da representação do conhecimento em materiais instrucionais e no contexto dos dispositivos educacionais de natureza analógica e digital. Foram investigados aspectos epistemológicos vinculados à estruturação do saber em obras de valor histórico na ciência (livros, artigos) e patentes tecnológicas.

A primeira parte na Tese (três primeiros capítulos) favorece um olhar sobre obstáculos, notadamente no processo de transição do conhecimento científico para o contexto de sala de aula, para livros didáticos e técnicos e no arcabouço empírico. Este âmbito, juntamente com o levante de concepções não científicas, anunciou a possibilidade de avaliar consequências dos construtos histórico-didáticos sobre a aprendizagem de estudantes (Capítulo 4), aportando a permissividade da teoria dos Registros de Representação Semiótica (DUVAL, 1993) no que diz respeito à maneira como lidam com cada forma de representação do saber e nas transições entre tais possibilidades (Capítulo 5). De modo complementar, aportamos a necessidade de incluir domínios tecnológicos, parte fundamental dos estudos experimentais na formação de técnicos e engenheiros, essenciais na Educação Profissional Tecnológica, com reconhecidas representações simbólicas e processos de manipulação física. Destaca-se que as questões norteadoras e hipóteses, em consonância aos fundamentos teórico-experimentais, ocasionaram na busca pelo entendimento de certas lacunas, a exemplo do relacionamento entre Física e Matemática. Nessa sistematização, são trazidas reflexões do campo.

No processo de construção de conhecimentos sobre Circuitos Elétricos, nota-se que existem dificuldades dos estudantes em entender cientificamente e operacionalizar certos conceitos (complementarmente, alguns são apresentados juntamente com aspectos tecnológicos no Apêndice C). Aqueles conceitos basilares da teoria de circuitos (tensão, corrente, resistência, potência) estão vinculados a outros (nó elétrico, ramo, malha), subliminares, importantes na interpretação dos fenômenos, de suas aplicações tecnológicas. Havendo distanciamento da representação clássica de um conceito, tratado de maneira

distinta das abordagens didáticas mais comuns, o esforço interpretativo mobilizado pelos discentes é passível de declínio durante o processo de ensino-aprendizagem, de afastamento do conceito real. Isto pode sobrevir em uma conjuntura um pouco distinta do plano teórico que vivenciou ou em algum processo de significação empírica.

A literatura aponta que a imprecisão na construção conceitual, incorporada às estruturas cognitivas dos estudantes, interfere não apenas na solução básica dos problemas, porém também na apropriação de novos conceitos (ANDRÉ; DING, 1991; TURGUT; GÜRBÜZ; TURGUT, 2011). O reconhecimento, pelos alunos, dos diagramas esquemáticos utilizados para representar o conhecimento é um outro aspecto importante na interpretação dos circuitos. Há dificuldades de interpretar conexões entre os componentes, cenários com quadros de múltipla representação e cerne simbólico variado (ENGELHARDT, 1997; GOUVEIA, 2007; AZEVÊDO; GITIRANA, 2016). Ainda, a identificação de modelos conceituais incorretos na interpretação de circuitos básicos com associação em série ou em paralelo pode mobilizar a necessidade de que se avalie com mais detalhes a transição entre o que se aprende no ensino médio e seus desdobramentos no ensino superior (SMAILL *et al.*, 2011).

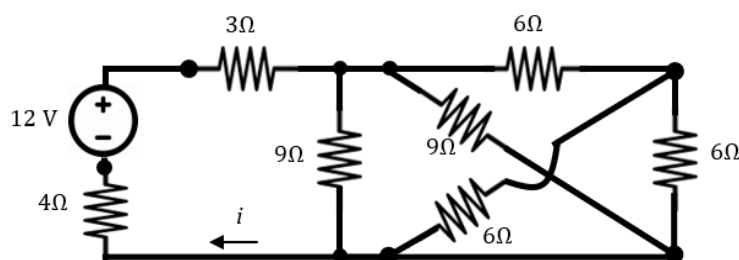
Por que alguns alunos não conseguem estruturar fisicamente ou por programa computacional um circuito elétrico ou arranjo entre componentes que lhes é apresentado por meio da sua representação formal? Por que certas técnicas de análise de circuitos, quando aplicadas a situações simples, sucumbem a falsas interpretações preliminares acerca da conexão entre os componentes elétricos? O que influencia a avaliação sobre as ligações inerentes ao funcionamento de um circuito elétrico? Estas foram questões preliminares transcorridas ao longo da vida acadêmica como docente, como pesquisador, as quais auxiliaram no desenvolvimento do trabalho.

Além de esclarecer quais os elementos subliminares (ou propriedades) concorrem na construção de um conceito, a análise de certos cenários poderia evidenciar um espectro amplo de padrões de raciocínio e variáveis de influência? Talvez. Essa seria uma perspectiva. Porém, como construir tais situações? O

que as experiências trazidas na literatura evidenciam diretamente ou ainda não detectaram explicitamente em relação à aprendizagem dos estudantes acerca dos problemas sobre circuitos elétricos nos cursos introdutórios? A fim de compreender a apropriação perceptiva dos estudantes, seria interessante a elaboração de situações-problema que considerassem o âmago da teoria em relação a sua variedade simbólica e conceitual? Estes foram questionamentos integrados na elaboração de um panorama base tratado no início da pesquisa.

No ensino clássico dos Circuitos Elétricos, conduzido no cerne da Física ou da Engenharia, a interpretação teórica de um diagrama se trata de um fato que, por si, já permite evidenciar gama considerável de aspectos: figurais, cognitivos, esquemáticos. Observe, por exemplo, o circuito da Figura 1.

Figura 1 - Um exemplo de circuito em corrente contínua.

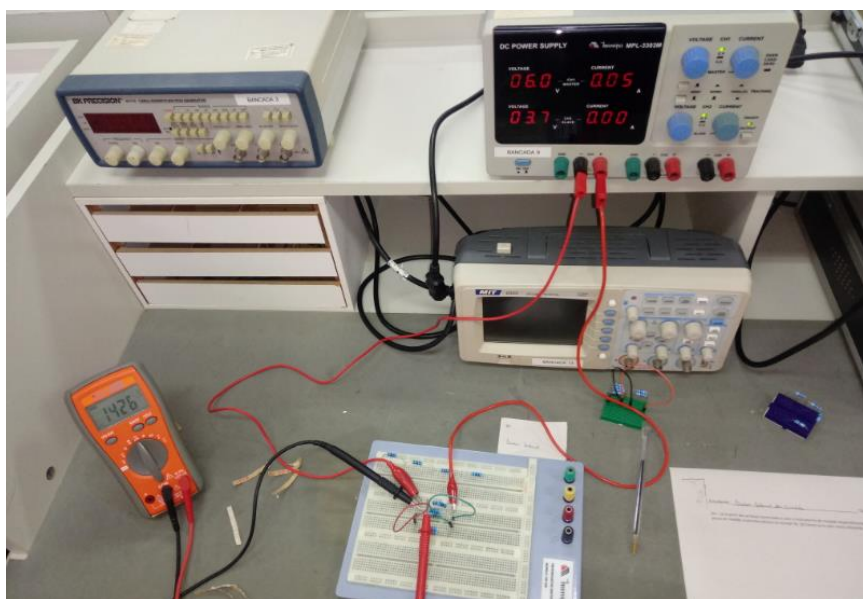


Fonte: próprio autor.

A determinação da corrente elétrica (i), através, por exemplo, da aplicação da Lei de Ohm, das Leis de Kirchhoff ou de técnicas que se desdobram destas (Método das Tensões de Nó, Método das Corrente de Malha, Teorema de Thèvenin), é precedida da acepção sobre como os resistores estão conectados no arranjo, como estão associados (série, paralelo, Y/T, Δ/π). Em um destaque inicial, percebe-se que este fato condiciona ao sujeito entender a representação esquemática do circuito elétrico, elementos interpretativos de sua topologia. A aplicação analítica ou determinações de caráter algébrico, requer passos preliminares, estruturas de raciocínio que, notadamente, podem não depender em exclusivo dos conceitos basilares, em que se mostra interessante prospectar os efeitos daqueles de natureza tácita, não diretamente manifestada.

Quando se adiciona a este aspecto inicial um ambiente didático de dotação efetiva com muitos recursos para o ensino de Circuitos Elétricos, caso da Educação Profissional Tecnológica (EPT), novos desafios são requeridos. Artefatos diversificados são constatados nos laboratórios didáticos de escolas técnicas, institutos e universidades federais (Figura 2). Com mais frequência são vistos naqueles organizados para a aprendizagem profissional, voltados à formação de técnicos, tecnólogos e de engenheiros, com uma diversidade construtiva considerável. As representações esquemáticas, neste caso, passam a assumir um novo estágio, com outras faces e possibilidades: os conceitos fundantes passam a evidenciar objetos, aplicações tecnológicas, sendo também ressaltados por estas aplicações; os conceitos subliminares passam a ser expressos por representações icônicas ou elementos materiais.

Figura 2 - Artefatos em um laboratório de Eletricidade e Eletrônica.



Fonte: próprio autor.

A partir da exposição inicial, tem-se como intento expor a existência de um ambiente gerador de dois grandes conjuntos: um de caráter simbólico (manifestado por desenhos, linguagem escrita, ícones formais) e outro material (vinculado a dispositivos e equipamentos de laboratórios físicos, programas de simulação), este último passível de ser composto por signos. Eles expõem particularidades, ao passo que também podem representar um ao outro. De

modo complementar, instigam, no contexto da EPT, a compreensão de como funciona cada um e como interagem entre si, admitindo que a aprendizagem irá admitir, do aluno, lidar com ambos no cerne de sua formação profissional.

Destarte, o trabalho visa delinear elementos que auxiliem a compreensão sobre as concepções manifestadas por estudantes quando da análise de Circuitos Elétricos admitindo os desafios da aprendizagem em cenários com variedade simbólica e de recursos tecnológicos. Para tanto, vislumbra-se a estruturação de situações teórico-empíricas para compreender elementos de influência na apropriação de conceitos científicos. Prospectam-se dificuldades sob a perspectiva das concepções dos sujeitos. Variáveis de análise emergem considerando o modo como elementos invariantes afetam a interpretação conceitual. Em especial, atenção acerca de como conectar e interpretar as ligações entre componentes elétricos, aspecto diferencial da pesquisa em relação a outras na literatura.

Esta Introdução envolve a apresentação de justificativas, percepções ao longo da trajetória intelectual e um olhar introdutório sobre as concepções, elementos contextualizados de pesquisas nas últimas décadas, decorrendo em hipóteses e objetivos.

1.1 Discutindo sobre Concepções não Científicas

É uma observação comum de docentes que os estudantes tenham dificuldades de natureza algébrica, interpretativa e/ou manipulativa na análise e na montagem de circuitos elétricos. Nos corredores das instituições e nas salas de aula muitos docentes questionam como alguns conhecimentos classificados como “básicos” ainda não foram compreendidos pelos alunos em etapas avançadas dos cursos. Há um forte discurso sobre “erros comuns” no estudo sobre Circuitos Elétricos. Seria então oportuno observar que os estudantes podem apresentar dificuldades ao lidar com conceitos abstratos, ao operacionalizá-los. Parte destas dificuldades resultariam do ensino no qual estão inseridos, da sua vivência escolar prévia? Marks (2012, p.25) aponta outro aspecto complementar, no qual os professores podem não se sentir bem preparados para ensinar o conteúdo de uma maneira 'fácil' para os alunos

entenderem, ou talvez esses professores tenham tido problemas com a compreensão desse tópico quando eram alunos.

Situações-problema são aplicadas pelos professores através de provas e exercícios normalmente para avaliar a aprendizagem do discente em relação a um conteúdo específico ou conjunto deles. Esses testes não vislumbram, de modo geral, entender a paleta de informações, o entendimento e a forma de aplicação dos conceitos admitindo, intencionalmente, apreciar aquilo que os alunos já trazem consigo ao longo das séries anteriores, seus conhecimentos prévios. Em geral ele é considerado como formado, de modo que se classifica como “erro” dificuldades perceptivamente associadas com aprendizagens prévias. Da mesma forma, muitas vezes é possível explorar alguns recursos em sala ou laboratório sem subsidiar teoricamente a maneira como o conteúdo é representado e como o estudante interage com ele em cada espectro de possibilidades, como encara a forma com que o professor apresenta certo tema e sua abordagem no livro, no experimento. Atenta-se aqui para origens com as quais interpretações não atendem ao que é cientificamente aceito, em que a ideia de concepção precisa ser aprofundada.

É notório destacar que o primeiro contato do estudante com o contexto dos Circuitos Elétricos em sala de aula, normalmente ocorre com a exposição do conjunto simbólico inerente à teoria. Essa abordagem resulta de imediato na apreciação dos elementos abstratos, os quais procuram dar significado aos conceitos científicos. Nisto, observa-se que os signos assumem papel central na construção do conhecimento e estariam fortemente conectados às concepções do sujeito acerca dos elementos da teoria.

Quanto à ideia de *concepção*, ao longo da Tese este termo irá se referir à compreensão estruturada pelo sujeito, ao ato de criar, de imaginar um conceito, na interação daquilo que se compreende ou que está em estruturação para com as representações ou com objetos, requerendo um estado de equilíbrio entre o que se sabe e as suas novas experiências, em que aqui destacamos ainda o ambiente em que o sujeito está inserido, notadamente em Física a sala de aula, laboratórios físicos e digitais.

A concepção, nesse sentido, pode se manifestar na interpretação de uma situação, na forma de expor um raciocínio relacionado à resolução de problemas, a uma montagem. No contexto em tela, podemos associar a concepção sobre um conceito elétrico ao processo de idealização, de construção, de compreensão e aplicação dele admitindo suas representações e a busca de significação pelo sujeito. E predispomo-nos, assim, a procurar entender o que afeta a criação, a estruturação do conceito em um cenário simbólico tão rico, e em que situações ocorre conflito desta concepção (alternativa, pré-concepção, *misconception*) para com os conceitos científicos.

A ideia de “pré-concepção” se associa com aquilo que é trazido de contextos anteriores, ou seja, implica que o que o indivíduo sabe ao entrar em um tópico ou curso específico tem influência significativa no resultado da experiência fornecida pelo instrutor (CARLSEN, 1989). Na literatura aparece também o termo “concepção alternativa”, em que os estudantes desenvolvem percepções, imagens e abordagens em alternativa ao que aceito cientificamente (AFRA; OSTA; ZOUBEIR, 2009), podendo haver certa confusão e referir-se à mesma ideia de pré-concepção (ATES, 2005).

O que se procura destacar no cerne teórico sobre a análise de Circuitos Elétricos é que as *concepções não científicas* (prévias, alternativas) afetam a aprendizagem em virtude de algumas ideias que os estudantes têm incorporadas a suas estruturas cognitivas e que eles usam para entender ou fazer previsões (ANDRE; DING, 1991, p.303) ou mesmo, podendo ser induzidas nesse processo de equilíbrio dinâmico de cada sujeito com o ambiente.

Há, de modo complementar, a observação de que o uso de conhecimentos teóricos em ambientes empíricos, ou no sentido oposto, não é simples. Às teorias, adicionam-se técnicas de montagem, construção e análise e, nesta trajetória, é possível surgirem dúvidas. Logo, por que esse processo gera um levante de “equivocos” pelos alunos no estudo de arranjos entre resistores ou em circuitos elétricos simples?

Ao processo imaginativo ou de compreensão associado com a concepção não científica, referido também a “dificuldades conceituais” ou falta

de habilidade dos estudantes (DORNELES; ARAUJO; VEIT, 2006), comumente se associa o termo em inglês “*Misconception*”. Ele dá este significado, aparecendo com mais frequência na literatura internacional (BRNA, 1988; ENGELHARDT; BEICHNER, 2004; SENCAR; YILMAZ; ERYLMAZ, 2001; WIDODO *et al.*, 2018), embora tenha adquirido significados variados. É equivocado referi-lo a uma “falsa concepção”, de modo que respostas incorretas ou parcialmente corretas podem se relacionar a um esquema interpretativo específico, à situação ou a alguma concepção prévia.

Conduzidas em diversos níveis de escolarização, as pesquisas na literatura expõem a existência de dificuldades dos sujeitos desde os primeiros contatos com o tema de Circuitos Elétricos no ensino fundamental, no ensino médio, percorrendo os níveis acadêmicos de graduação e pós-graduação. Deste modo, há não apenas concepções prévias, mas a manutenção de parte delas ao longo do tempo. Sencar, Yilmaz e Erylmaz (2001) definem o termo *misconception* como:

O termo *misconception* refere-se às ideias que os estudantes têm sobre quaisquer fenômenos que são inconsistentes com concepções científicas. O objetivo da instrução científica eficaz é encorajar o aluno a construir um entendimento que seja geralmente consistente com a teoria científica aceita (SENCAR; YILMAZ; ERYLMAZ, 2001, p.113).

Estas concepções afetam o modo como os alunos compreendem certo fenômeno ou conceito, de modo que há a necessidade de sua superação para apropriação do conhecimento científico. Parte dos trabalhos na literatura contempla a avaliação concomitante das concepções dos estudantes sobre tensão, corrente e resistência elétrica, três grandezas fundamentais e introdutórias em estudos sobre Eletricidade, cada uma com reconhecido grau de abstração. Nesta avaliação concomitante pode haver concepções combinadas (BRNA, 1988, p.51).

Vários autores realizam investigação expondo, neste tema, um quadro com falta de compatibilidade e articulação dos conhecimentos, pelos estudantes, em relação aos princípios teóricos, mais diretamente relacionados aos conceitos de Corrente Elétrica e Tensão, enfatizando padrões incorretos de resposta a alguns problemas, propondo instrumentos de análise (McDERMOTT; SHAFFER, 1992; ABEL, 1995; ENGELHARDT, 1997), discorrendo referências às múltiplas

representações e enfatizando o recurso do desenho (GOUVEIA, 2007; FRANZONI, 2015), remetendo a reflexões sobre a persistência destas *misconceptions* (ANDRADE *et al.*, 2018), seu confronto (BRNA, 1988), debatendo propostas curriculares (SHAFFER; McDERMOTT, 1992).

Mestre (1989) defende, no contexto da Matemática, que as *Misconceptions* são um problema por duas razões:

Primeiro elas interferem na aprendizagem quando os estudantes as utilizam para interpretar novas experiências. Segundo, os estudantes são emocionalmente e intelectualmente ligados a estas *misconceptions* porque eles as têm construído ativamente (MESTRE, 1989, p.2).

Observando o ensino de Física e de Engenharia, é evidente a abstração e a sequência de novos conceitos e experiências ao longo do convívio nos cursos introdutórios sobre Circuitos Elétricos, de modo a estendermos as colocações anteriores para este contexto. As dificuldades poderiam ocorrer pelo sistema no qual o aluno está imerso ou mesmo no processo cognitivo particular de cada um durante a construção conceitual.

Assim, a fim de situar a abordagem na Tese, concepções alternativas, pré-concepções, *misconceptions* ou dificuldades conceituais, serão entendidas como concepções não científicas. Estas expõem caráter dinâmico e não local, podendo ser influenciadas por saberes prévios, decorrer de construções alternativas do conceito pelo sujeito, de combinações de ideias, de generalizações indevidas (validade parcial), ao lidar/interagir com materiais ou com o saber docente em sala de aula, e cuja interpretação ou aplicação se torna falha em uma situação mediada por recursos de representação ou através de objetos físicos relacionados com os conceitos. Os discentes podem não expor uma compreensão funcional que lhe permita entender ou aplicar os conceitos.

Acredita-se, em relação aos Circuitos Elétricos, que um aspecto específico relacionado com a aprendizagem, com deduções prévias, vem sendo de certo modo negligenciado na literatura: a interpretação sobre ligações entre os componentes elétricos de um circuito. Isto se desdobra sobre o entendimento acerca dos tipos de conexões, dos conceitos de seriação, paralelismo, de

resistência equivalente. De maneira complementar, sugere-se inicialmente que tal elemento pode ser o ponto de partida do que, em parte, se aponta como falha na interpretação conceitual de algumas situações pelos estudantes. A decodificação de situações que induzem à interpretação das ligações auxiliaria no entendimento sobre as concepções não científicas? Ainda, existem situações inerentes ao escopo experimental e seus recursos, essenciais para mapear as relações entre os tratamentos simbólicos e os de aporte empírico.

1.2 Considerações Iniciais sobre Concepções em Circuitos Elétricos

A Lei de Ohm é tratada praticamente como exórdio no ensino sobre circuitos. Uma vez que reporta a relação proporcional entre tensão e corrente elétrica em componentes resistivos lineares, envolve o estudante, já preliminarmente, na correlação entre três dos conceitos citados. Eventualmente seja este um lugar fértil para constatar a presença de concepções não científicas.

Reciprocamente, confirma-se vários trabalhos investigando concepções dos estudantes em diversos níveis de escolarização sobre grandezas básicas, apontando a necessidade de novas abordagens (GRAVINA; BUCHWEITZ, 1994; ABEL, 1995; ELGELHARDT, 1997; SENCAR; YILMAZ; ERYLMAZ, 2001; DORNELES; ARAÚJO; VEIT, 2006; TURGUT; GÜRBÜZ; TURGUT, 2011; ANDRADE *et al.*, 2018). Por meio de um mapeamento das pesquisas, nota-se um levante descritivo de entendimentos pelos autores, explícita ou implicitamente, sobre características das concepções dos estudantes acerca dos Circuitos Elétricos:

- Há similaridade na manifestação delas em grupos de estudantes com diferentes culturas e linguagens;
- Podem ocorrer em paralelo às concepções científicas sobre alguns fenômenos e se tornarem resistentes à mudança;
- São passíveis de se desenvolver após o ensino formal;
- Resultam, por vezes, de ensaios e tentativas com o intuito de generalizar conhecimentos prévios (científicos ou cotidianos);
- Podem surgir da forte associação de palavras;
- Produzem contradições entre predições e observações;
- Podem ser geradas a partir de textos, livros e outros materiais.

A partir disso, a linguagem (escrita, falada, comunicada através de uma imagem) é admitida nesta proposta com parte nuclear dos elementos de pesquisa e está relacionada à semiótica que envolve o estudo sobre Circuitos Elétricos. Assim, sua importância no contexto em tela envidará, ao longo do trabalho, processos que permitam entender o problema e delinear alternativa para subsidiar o ensino sobre conceitos científicos, categorizando grupos linguísticos escritos, expondo posturas na interpretação e produção de arranjos. Enxergamos na Teoria dos Registros de Representação Semiótica (DUVAL, 1993) um esclarecimento inicial sobre parte deste contexto linguístico.

1.3 Construindo Significados

A jornada científica no ensino de Circuitos Elétricos requer uma compreensão conceitual diretamente relacionada à construção de significados abstratos. No estudo dos conceitos de seriação e paralelismo entre resistores, por exemplo, existem outros conceitos subliminares a serem explorados, os quais podem adquirir diversas “formas” na abordagem, nas aplicações. Como o estudante compreende esta operacionalização, estes conceitos? Que elementos levariam a dificuldades de entendimento?

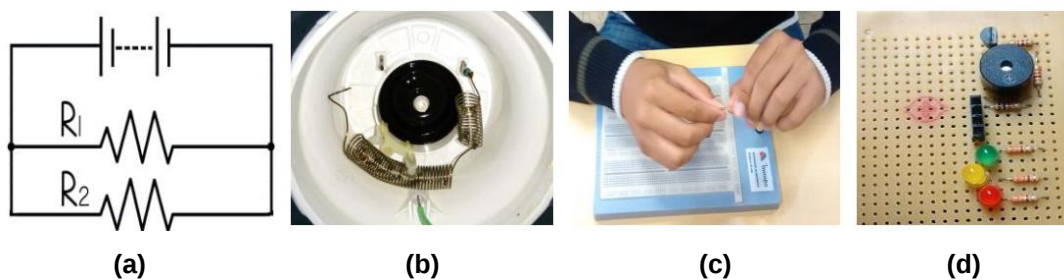
A análise de algumas situações no início da pesquisa de doutoramento expôs que as experiências de “atualização” e tratamento topológico de uma nova representação não se apresentam como atos espontâneos e simples aos alunos. Isto acontece, principalmente, quando os signos a serem utilizados pertencem a um sistema de representação semiótica já constituído (AZEVEDO; GITIRANA, 2017a) ou quando, didaticamente, são explorados em sua superficialidade, sem a devida diversificação qualitativa de cenários. Como então prover uma estrutura para a construção destes cenários a fim de trazer à tona variáveis de influência?

A prática desenvolvida na resolução exclusiva de situações que não exploram os conceitos centrais da teoria de circuitos e a idealização/construção de projetos a partir disto pode revelar a falta de cuidado/atenção pelo estudante durante a realização de atividades. No entanto, a prática do uso das regras de formação dos conceitos e dos conhecimentos teórico-empíricos associados com um problema pode indicar concepções e dificuldades intrínsecas do processo de

ensino-aprendizagem, revelando o que se entende sobre algo. Isto convida a uma apuração mais detalhada sobre a construção de significados pelo sujeito.

Em um contexto preliminar, apontamos a coexistência de diversificadas necessidades de uso acadêmico, tecnológico e social relacionadas aos Circuitos Elétricos. Isto ocorre, por exemplo, quando se analisa a representação formal de um problema (Fig. 3a), o qual pode desdobrar-se para uma análise estrutural e algébrica, durante a substituição da resistência de um chuveiro elétrico (Fig. 3b), na experimentação com a matriz de contato / *protoboard* (Fig. 3c), na modelagem e prototipação de um projeto (Fig. 3d) com uso de placas de circuito impresso ou perfurado, programas de simulação, dentre outros cenários.

Figura 3 - Cenários diversificados inerentes aos circuitos elétricos.



Fonte: próprio autor.

Há uma evidente variedade de formas para representar um circuito elétrico e, em cada caso passível de representação, emerge uma pluralidade de signos, situações e regras de ligação. A experimentação (real ou virtual), os tratamentos algébricos, o teste de um protótipo ou, mais comumente, a resolução de exercícios a partir da modelagem de um circuito, requerem a interpretação sobre a forma como os componentes são conectados e transições na maneira de representar o conhecimento científico. Assim, o que influenciaria o estudante na compreensão sobre as ligações entre os componentes?

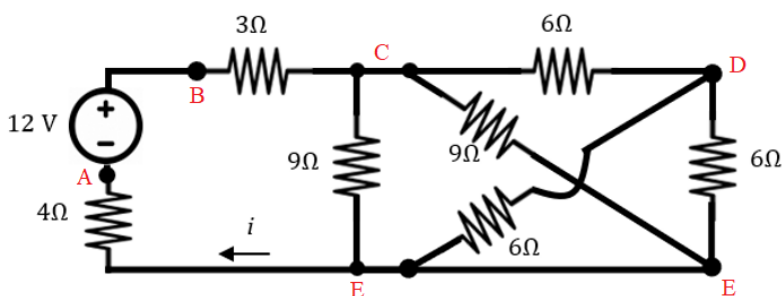
Nesta orientação, revela-se que a aplicação de Leis e Teoremas em Circuitos Elétricos é precedida de elementos conceituais nas quais se dispõe em vizinhança a interpretação de esquemas, linguagem, cálculos, a manipulação de componentes. Este entendimento é fundamental para que se conduza com êxito a análise concomitante das grandezas elétricas. Decifrar como os componentes

estão conectados se mostra como ato indispensável em muitas situações. No cerne em tela, destaca-se, ainda, que os artefatos tecnológicos para fins educacionais ou profissionais possuem uma gama significativa de formas construtivas, requerendo certa apreciação.

1.4 Sobre Signos e Topologia

Em alguns cenários podem existir múltiplas soluções representativas, as quais dependem do conceito e do sistema de signos envolvido bem como da tecnologia educacional utilizada, esta última muitas vezes inserida no processo de ensino-aprendizagem. De outro modo, o conhecimento é constituído dos conceitos e da forma de representá-los. Esta forma é diversificada no campo dos Circuitos Elétricos, lugar fértil para a constatação de dificuldades, pelo discente, de incorporar suas regras. No caso da Figura 4, a exemplo, note a caracterização dos nós elétricos (A, B, C, D, E), conceito referido ao *ponto de conexão entre dois ou mais componentes elétricos em um arranjo, circuito ou sistema*.

Figura 4 - Caracterização dos Nós Elétricos de um Circuito.



Fonte: próprio autor.

Este conceito pode auxiliar na identificação das associações série e paralelo entre resistores: (1) paralelismo entre dois dos resistores de 6Ω (com terminais conectados aos nós “D” e “E”); (2) serialização deste resistor equivalente (3Ω) entre os nós “D” e “E” com o resistor de 6Ω entre os nós “C” e “D” (resultando em um resistor equivalente de 9Ω); (3) paralelismo deste resistor equivalente (9Ω) com dois outros de 9Ω entre os nós “C” e “E”; (4) Associação série deste resistor equivalente de 3Ω (entre os nós “C” e “E”) com os demais resistores (3Ω entre C e B; 4Ω entre A e E) e com a fonte de tensão ($12V$ entre A e B). Por fim, através

da aplicação da Lei de Ohm, nota-se que a corrente elétrica (i) do circuito é 1,2 Ampères ($i = 12V / 10\Omega$).

Reconhecemos, do caso anterior, que não há simplicidade direta nesta linha de construção conceitual, de operacionalização do conceito de nó elétrico e seus desdobramentos para o entendimento do conceito de resistência equivalente (*resistência total inerente à associação vista a partir de certo trecho do circuito elétrico*). Este tipo de abordagem é pouco explorado ao estudante novato, não sendo tão facilmente utilizada por veteranos no assunto. Outra abordagem, talvez mais recorrente, seria a reconstrução do “desenho” do circuito, requerendo uma interpretação dos signos, da aparência, de um raciocínio morfológico ou a exploração algébrica direta. As percepções iniciais neste contexto sinalizam mais uma vez que a decodificação sobre as conexões entre componentes elétricos pode expor papel capital na aprendizagem.

A divergência entre modelos intuitivos e aqueles formalmente admitidos permeia, assim, cenários nos quais a representação das redes resistivas (ou de circuitos eletroeletrônicos mais complexos) aparece em formatos e usos amplos. O ato representativo é mobilizado por signos, objetos diversificados e algumas restrições de caráter empírico, tal qual a dimensão de uma placa de circuito impresso (ou PCB - *Printed Circuit Board*) destinada a embarcar um projeto.

Uma análise sistematizada de trabalhos na literatura, detalhada a partir do próximo capítulo, e as experiências adquiridas como docente na EPT revelam que a constituição de conceitos em Circuitos Elétricos e a capacidade dos estudantes de generalizá-los podem ser afetados pelo domínio da Topologia Elétrica do Circuito (TEC), em que se envida na Tese certa energia para prospectar este correlacionamento.

O significado de topologia e a utilização tácita sobre a geometria como *aparência geométrica*, neste caso, expõem a necessidade de diferenciar o espaço da Física em relação à Matemática, embora possa constatar-se, nas concepções dos estudantes, entrelaçamentos de um sobre o outro na formação dos conceitos. De outra maneira, há uma ideia de geometria levada da Matemática para a Física, a qual se tornou uma concepção resistente à mudança

nas circunstâncias que contribuem para que o aluno solucione um problema. A diferença deve ser ressaltada no processo de ensino-aprendizagem:

Podemos dizer, no contexto da Física, que a “geometria” de um circuito é determinada pela forma como os componentes são posicionados no espaço enquanto que a topologia é estabelecida pela maneira como os componentes estão conectados uns aos outros. Em um diagrama, por exemplo, associações dispostas “geometricamente” de diferentes formas podem representar o mesmo circuito. Em contraponto, podem ocorrer associações com a mesma “geometria” que não representam a mesma topologia (AZEVEDO; GITIRANA, 2016, p.3).

O estudo sobre o ato de entender e a forma de produzir as ligações entre os componentes são elementos intrínsecos da pesquisa. Existe, aparentemente, uma dificuldade de parcela dos discentes em compreender os conceitos de seriação e paralelismo. Isto ocorre quando se deparam com representações de circuitos para além de uma única dimensão ou mesmo na construção de associações apenas com resistores utilizando algum tipo de tecnologia educacional de suporte, destacando-se então a relação da concepção com o ambiente do sujeito. Associações mais complexas, dotadas de múltiplos componentes, são ainda mais complicadas como é o caso das ligações estrela (Y) e triângulo (Δ) ou ligações não planares – aquelas que não podem ser representadas no plano.

1.5 Sobre Múltiplos Cenários de Representação

Ao analisarmos diversas fontes bibliográficas inerentes ao estudo da teoria de Circuitos Elétricos, nota-se a paleta de possibilidades de exploração didática dos conceitos. Perspectivas importantes, contudo, podem estar dispersas pela homogênea representação simbólica de cada conceito, gerando barreiras na aprendizagem. Outro ponto é que as dificuldades também são evidenciadas quando do estudo concomitante das grandezas. Duit e von Rhonëck (1998) avaliaram, em situação de pesquisa, o desempenho de estudantes em relação à interpretação de um circuito com resistores em paralelo. Ao realizarem algumas variações para interpretação de uma tarefa (substituição de resistência por outra e mudança de posição), observaram:

A complicada mistura de argumentação incorreta na última tarefa denota que a instrução geralmente não leva a uma representação bem definida dos conceitos usados na Física. Frequentemente encontramos, mesmo depois de elementos de instrução, concepções pré-instrucionais vagamente conectadas a alguns elementos dos conceitos ensinados. (...) as pesquisas geralmente mostram que as concepções dos alunos são específicas do contexto, ou seja, dependem da tarefa concreta apresentada. Se a situação muda de um primeiro exercício para um exercício semelhante (do ponto de vista da Física), os estudantes podem empregar concepções substancialmente diferentes para resolver a tarefa (DUIT; von RHONÉCK, 1998, p.3).

A mudança de cenários se mostra, neste sentido, valiosa para confessar a apropriação ou não de conceitos. Algumas reflexões sobre o tema são passíveis de fazer emergir características teórico-metodológicas para que se compreenda o papel da representação do conhecimento nos estudos sobre Circuitos Elétricos. Acreditamos que tal fato pode tornar factível elucidar lacunas de aprendizagem, subsidiando a estruturação de parâmetros que promovam a construção de uma paleta com múltiplos cenários, esclarecendo fatores necessários ao ensino, à estruturação curricular.

1.6 Questões Norteadoras, Hipóteses e Objetivos

A tese tem como objetivo geral identificar dificuldades de aprendizagem em Circuitos Elétricos, tratando em particular acerca das ligações entre componentes elétricos e da associação entre resistores. Para isso, investiga a construção do conhecimento, subsidiando a pesquisa sob a perspectiva das concepções em Circuitos Elétricos e dos registros de representação.

Como desafio provocativo, a resolução do seguinte problema de pesquisa: *quais elementos associados com os conhecimentos sobre Circuitos Elétricos permitem delinear a compreensão sobre as dificuldades conceituais no seu campo representativo, de modo a balizar uma nova abordagem acerca dos contextos teórico, empírico e na construção de situações-problema?*

A partir daí, derivam outras questões norteadoras de suporte:

- i. Qual a influência dos signos na construção do conhecimento para o ensino e a aprendizagem sobre Circuitos Elétricos?

- a) Como se situa o contexto histórico de formação do conhecimento sobre Circuitos Elétricos?
 - b) Como as concepções mobilizadas pelos estudantes são influenciadas pelos signos?
- ii. De que forma as relações entre Física e Matemática afetam a interpretação de situações que versam sobre as ligações entre componentes e a Associação entre Resistores?
 - a) Quais os conceitos-chave envolvidos na aprendizagem?
 - b) Quais parâmetros podem emergir da avaliação entre a morfologia e a topologia elétrica de circuitos?
- iii. Como os registros de representação semiótica podem auxiliar na construção de situações-problema?
 - a) Como explorar a diversidade representativa nas situações?
 - b) De que forma podem ser delineados, nos problemas para aprendizagem, elementos de confronto a concepções não científicas?

O campo de pesquisa sugerido poderia se estender a turmas das redes pública e privada no Brasil e no Exterior, no ensino médio, na escolarização técnica ou no ensino superior. Contudo, nos aproximamos ao primeiro caso (sistema público), em particular à Rede Federal de Educação Profissional e Tecnológica (RFEPT). Esta designação ocorre em virtude da frequência maior de uma estrutura empírica, um conjunto instrumental que dá suporte ao docente, o qual é utilizado no processo de ensino-aprendizagem.

Na EPT há, ainda, uma valorização na integração entre tecnologia, ciência e trabalho, atendendo a cada perfil profissional. As competências profissionais são estimuladas no sentido do desenvolvimento de habilidades e valores por meio dos quais ocorre a aplicação de conhecimentos consoantes à natureza de cada trabalho, alinhadas ao desenvolvimento tecnológico. Este último proporciona a busca pela aprendizagem continuada, valorizando o aperfeiçoamento da técnica.

Considerando as questões norteadoras e as discussões em torno da característica do público e do sistema ao qual se almeja um levante mais aprofundado da pesquisa, foram especificados hipóteses e objetivos.

São expostas as seguintes hipóteses para a pesquisa:

- i. A aprendizagem em Circuitos Elétricos é influenciada por signos estabelecidos historicamente na formação teórica e na representação do conhecimento no campo;*
- ii. Concepções diferentes daquelas aceitas cientificamente surgem quando não se mobilizam no estudante discussões sobre as particularidades conceituais teórico-empíricas;*
- iii. O entrelaçamento de signos e linguagem entre Matemática e Física indica parâmetros de influência sobre as concepções adquiridas por estudantes em Circuitos Elétricos;*
- iv. Para uma apreensão significativa, as relações entre vocabulário e imagem devem ser tratadas em suas especificidades, admitindo objetos de aprendizagem e a representação teórico-empírica, além da multiplicidade de situações-problema.*

Os objetivos específicos da Tese são:

- Analisar causas e fontes de dificuldades de aprendizagem relacionadas à representação em Circuitos Elétricos;
- Compreender o papel dos signos na formação do conhecimento em Circuitos Elétricos, sob a perspectiva da estruturação histórica e das concepções dos estudantes;
- Identificar possibilidades de abordagem de situações-problema relacionadas com as concepções não científicas, enquadrando relações entre as representações;
- Analisar a potencialidade da Teoria dos Registros de Representação Semiótica como suporte para idealizar cenários de aprendizagem que conduzam ao entendimento das dificuldades, concepções não científicas, delineando situações de mapeamento.

É premissa compreender comportamentos, significados e intenções mobilizadas na aprendizagem, na apropriação conceitual. A Tese expõe, neste sentido, um caráter qualitativo da abordagem teórica. Do ponto de vista das relações científico-tecnológicas, prospecta-se o entendimento de processos e significados com criticidade em um exame histórico-descritivo.

A organização metodológica assume duas vertentes: a primeira, o escopo metodológico da Tese, inerente a um Estudo de Caso, outro em relação à organização e análise das informações provenientes dos protocolos de aplicação da FACCE – Ferramenta para Análise de Concepções em Circuitos Elétricos, observando o conteúdo comunicado. A proposta se debruçou sobre o público de dois cursos: 1º ano do curso técnico em eletroeletrônica (integrado ao ensino médio) e calouros (1º semestre) do bacharelado em engenharia elétrica, ambos de uma instituição federal de Educação Profissional Tecnológica (EPT).

1.7 Percurso da Proposta

A Tese foi construída em mais oito capítulos. No Capítulo 2 serão tratadas as concepções científicas em relação às pesquisas na literatura, destacando dificuldades e o aporte particular sobre ligações, diagramas elétricos e associações entre componentes. No Capítulo 3 serão abordados os recursos experimentais (analógicos e digitais), conduzindo-se a apresentação de características e possibilidades no contexto da Tese. No Capítulo 4 será discutida a construção e representação do conhecimento, envidando debate acerca de elementos epistemológicos, particularidades conceituais e obstáculos. O capítulo 5 trará o contexto de registros e domínios tecnológicos, discutindo a Teoria dos Registros de Representação Semiótica, analisando invariantes, a perspectiva da formação de alguns conceitos e o embasamento sobre registros de representação discursivo e não discursivo, propondo e destacando domínios a partir de recursos empíricos no contexto da aprendizagem. O delineamento metodológico será apresentado no Capítulo 6, enfatizando o perfil do público participante, justificando o Estudo de Caso, elementos da construção da FACCE, além da descrição das etapas para avaliação dos dados. O capítulo 7 irá ressaltar o Primeiro Estudo, conduzido junto aos estudantes do bacharelado, mapeando-se um quadro de

dificuldades. No capítulo 8 será apresentado o Segundo Estudo, materializado junto aos discentes do curso técnico integrado em eletroeletrônica. A análise concatenada e comparativa dos resultados é envidada também neste capítulo, sua codificação e classificação, percepções globais e locais. Apresenta-se, ainda, uma interpretação referencial dos resultados, expondo distanciamentos e aproximações a elementos da literatura, às hipóteses, além de implicações para a docência e para as estruturas curriculares. As conclusões são trazidas no Capítulo 9, sintetizando as principais descobertas, limitações dos estudos e do instrumento, elucidando implicações curriculares e sugerindo trabalhos futuros.

2 CONCEPÇÕES NA LITERATURA

A fim de prover um panorama mais preciso da produção acadêmica inerente às concepções não científicas em Circuitos Elétricos, foi conduzido o mapeamento de trabalhos nas últimas décadas, de modo a perceber as inquietações e reestruturar dimensões de investigação. Inicialmente é exposto um panorama geral das fontes de pesquisa e pontos que conferimos destaque.

As análises iniciais foram orientadas com foco na pesquisa e discussão de trabalhos que tratavam da aprendizagem em circuitos, das concepções e de dificuldades em cenários teórico e experimental.

2.1 Fontes de Pesquisa e Parâmetros de Investigação

Na literatura, os estudos envolvendo a aprendizagem sobre a organização dos circuitos aparecem com caráter coadjuvante em relação aos demais. Os primeiros levantamentos bibliográficos indicaram um conjunto de dificuldades conceituais. As principais palavras-chave utilizadas para emergir trabalhos na área são apresentadas, bem como fontes de informação. Além das buscas simples foram feitas buscas combinando tais palavras e delas para outros termos (diagrama, laboratório, modelagem, resistência, simulação, tecnologia).

- Palavras-chave:
 - Circuitos Elétricos, Dificuldades, Eletricidade, Ensino, Aprendizagem, Representação, Experimentação, *Misconception*, *Electric(al) Circuits*, *Teaching*, *Learning*, *Electricity*.
- Principais fontes:
 - Banco de Teses e Dissertações (CAPES), IEEEExplore, Google Acadêmico, Scielo, Periódicos (CAPES), Revistas e Anais de Eventos, ERIC - *Education Resources Information Center*.

Foram observados em mais detalhes trabalhos sobre dificuldades de aprendizagem em circuitos elétricos desde a década de 80 do século XX ao início de 2020. Algumas patentes, artigos e livros do século XIX e início do século XX,

XXI também foram avaliados. Foram constatadas pesquisas sobre elementos de aprendizagem em Circuitos Elétricos em todos os continentes.

Os principais periódicos e eventos com trabalhos referenciados neste capítulo e ao longo da Tese foram: *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF), *European Journal of Physics*, *American Journal of Physics*, *IEEE Transactions on Education*, Investigações em Ensino de Ciências, Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF), *Journal of Research in Science Teaching*, *European Journal of Engineering Education*, *American Society for Engineering Education*, Simpósio Nacional de Ensino de Ciência e Tecnologia (SINECT) e Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE).

Os resumos foram analisados preliminarmente para selecionar trabalhos cujo contexto se julgasse relevante à pesquisa em tela. Mapeou-se, na revisão, pouco mais de 130 trabalhos (16 teses e dissertações, e outros artigos de revistas, livros do contexto histórico/capítulos de livros, patentes, trabalhos de conferências, de congressos e simpósios). Parte tem cerne debatido neste capítulo, outra parte ao longo dos demais capítulos da Tese. Os temas mais recentes observados tratam do uso da realidade aumentada (com *Smartphones*) em Eletrônica Digital (AVILÉZ-CRUZ; VILLEGA-CORTEZ, 2019) e análise da corrente elétrica em situações transitórias de chaveamento (LENIZ *et al.*, 2020).

De modo geral, envida-se na literatura desde a confecção de testes para fazer emergir as dificuldades dos estudantes até a análise de cenários para promover mudanças conceituais. Algumas pesquisas tratam sobre elementos de cunho tecnológico (programas, laboratórios físicos). Interessam duas lacunas:

- A forma de interpretação das conexões entre componentes e o contexto linguístico e simbólico construído em torno dela;
- A compreensão sobre o conceito de resistência equivalente e suas abordagens relacionadas sobre a classificação das ligações.

2.2 Sobre Dificuldades Conceituais e Classificação de Concepções

Detecta-se que as dificuldades de aprendizagem, as inconsistências conceituais, não apresentam um endereço fixo. Em diferentes sistemas de educação, com distintas propostas curriculares e metodologias de ensino, são mobilizadas, pelos estudantes, concepções não científicas. Na Física, destaca-se sua amplitude em relação aos circuitos:

Uma área ativa de pesquisa sobre *misconceptions* em Física é o assunto de circuitos elétricos simples. Pesquisas sobre a compreensão da ciência pelos alunos mostraram que eles têm uma ampla gama de *misconceptions* na área (SENCAR; YILMAZ; ERYLMAZ., 2001, pp.113-114).

Isto é um ponto de constatação e, ao mesmo tempo, inquietação na literatura em virtude da presença destas concepções surgirem, em parte, após as instruções formais. A maneira com que o conteúdo é apresentado nos materiais é passível de investigação:

Há ampla evidência de nossa pesquisa e de outras investigações que algumas *misconceptions* sobre circuitos elétricos são comuns entre os estudantes que tiveram instruções formais com material relevante (McDERMOTT; SHAFFER, 1992, p.995).

A diversificação de cenários, para além de algumas limitações frequentemente trazidas pelos livros, pode ser uma alternativa para expandir a capacidade discente em relação aos tipos e natureza das situações a que se deparam. Seria algo explicitamente conectado à ideia de concepção colocada no primeiro capítulo da Tese, reconhecendo o seu caráter dinâmico e a interação dos sujeitos para com o ambiente de aplicação do conceito. Do contrário, há a possibilidade de que dificuldades permaneçam:

Normalmente, espera-se que esses modelos errôneos desapareçam como resultado da instrução formal sobre os princípios de funcionamento de um circuito elétrico simples. Numerosos estudos mostram que os aprendizes recorrem a explicações espontâneas sempre que o contexto do questionamento difere daquele dos problemas do final do capítulo do seu livro didático (MÉTIOUI, 2012, p. 4202).

As afirmações reforçam a necessidade de se debruçar sobre as causas destas concepções, suscitando ainda um olhar sobre a maneira com que os

conteúdos têm sido abordados. Averiguar este ambiente pode auxiliar o docente no processo de tomada de decisão acerca de suas escolhas didáticas. De modo adicional, não é possível afirmar que os docentes estejam salvaguardados de interpretações conceituais não científicas, o que lhes incumbe um olhar reiteradamente vigilante.

Aportes exclusivamente teóricos nem sempre são suficientes para prover uma formação que permita olhar integrado sobre a representação do conhecimento, às demandas experimentais. Objetos e a sua relação com signos e conceitos diferem comumente da representação simbólica convencional:

[...] embora muitos alunos possam resolver as questões teóricas, poucos são capazes de resolver questões práticas que exijam experiência. Assim, a necessidade de atividades laboratoriais também deve ser levada em consideração (SENCAR; YILMAZ; ERYLMAZ, 2001, p.119).

Em estudo realizado com 286 estudantes de quatro (04) universidades públicas brasileiras (USP, UFSCar, UERN, UESPI), Costa e Catunda (2008) avaliaram o raciocínio desenvolvido pelos discentes frente a análise de circuitos elétricos simples compostos por lâmpadas e bateria. Percebeu-se que poucos alunos conseguem desenvolver um olhar qualitativo sobre os problemas:

O problema pode ser resolvido (...) de forma qualitativa. Para tanto, é necessário que os estudantes tenham assimilado os conceitos básicos de corrente elétrica, potencial elétrico, diferença de potencial, resistência, resistência equivalente e circuitos elétricos em série e paralelo. (...) observamos a grande necessidade de valores numéricos (COSTA; CATUNDA, 2008, p. 3).

Há inquietudes em relação ao conceito de resistência equivalente. Destacamos isto ainda no trabalho de Costa e Catunda (2008), em que constataam confusões algébrico-conceituais na apresentação de respostas pelos estudantes. Há uma preferência expressa pela representação algébrica do conhecimento em detrimento à abstração qualitativa de casos:

Um outro conceito que fica evidente a não compreensão é o de resistência equivalente. Alguns estudantes, para poder ordenar a luminosidade das lâmpadas, primeiro calcularam a resistência equivalente de cada circuito, e observando que a luminosidade é diretamente proporcional à potência, substituíram o valor encontrado da resistência equivalente na fórmula da potência (COSTA; CATUNDA, 2008, p. 8).

Costa e Catunda (2008) reforçam, neste caso, que os estudantes analisam a corrente elétrica em cada componente, porém utilizam a resistência equivalente calculada para aplicação da Lei de Ohm ou determinação da potência em cada resistor. Isto indica que o aluno entende a resistência equivalente como parte conceitual de cada resistor e não do circuito completo.

O conceito de resistência elétrica é relevante. Sobre dificuldades, neste cerne, foram levantados outros apontamentos na literatura (Quadro 1):

Quadro 1 – Dificuldades em relação ao conceito de resistência elétrica.

Autores	Dificuldade(s) interpretativa(s)
McDermott e Shaffer (1992)	a) Focalizam o número de elementos do circuito ao invés da configuração; b) Não distinguem a resistência equivalente de uma rede e a resistência de um elemento individual;
Abel (1995)	c) Acreditam que a resistência equivalente sempre cresce quando o número de resistores cresce em um circuito.
Elgelhardt e Beichner (2004); Dorneles, Araújo e Veit (2006); Gouveia (2007)	d) Não identificam com facilidade conexões tipo série e paralelo.

Fonte: síntese construída pelo autor.

No cotidiano docente muitas vezes se atribui a erros de cálculo desdobramentos destas dificuldades. O diagrama e o número de componentes envolvidos aparentemente podem provocar desorientações em relação aos conceitos científicos, não se alinhando de maneira simples:

Muitos estudantes não conseguem decompor circuitos com quatro ou cinco resistências em conexões série e paralelo, especialmente quando os circuitos são desenhados de maneira não convencional (McDERMOTT; SHAFFER, 1992, p.999).

Outro forte elemento observado se refere aos signos e ligações do contexto dos circuitos elétricos. Embora tratados de maneira secundária nos trabalhos, dados da literatura a este respeito foram levantados (Quadro 2):

Quadro 2 – Dificuldades quanto às ligações entre componentes em um circuito.

Autores	Dificuldade(s) interpretativa(s)
McDermott e Shaffer (1992)	a) Em reconhecer que um diagrama de circuito representa apenas elementos elétricos e conexões, e não relações físicas e espaciais; b) Em tratar instrumentos como parte do circuito e reconhecer as implicações para a sua construção e realização das conexões;
Abel (1995); Azevêdo e Gitirana (2017a)	c) Em relação ao conceito série: tem conotação de sequencialidade em vez de um tipo específico de conexão; d) Em relação ao termo “paralelo”: é pensado em termos de sua propriedade geométrica e não da sua propriedade elétrica;
Sencar, Yilmaz e Eryilmaz (2001)	e) Passível de ignorar a existência da conexão dos fios sem a presença de componentes no ramo.
Gouveia (2007)	f) Em relacionar os conceitos de associação com seu simbolismo usado na elaboração do desenho de um circuito elétrico.

Fonte: síntese construída pelo autor.

Muitas pesquisas se dedicam a levantar e classificar as concepções. Na literatura (McDERMOTT; SHAFFER, 1992; ELGELHARDT; BEICHNER, 2004; PESMAN; ERYILMAZ, 2010), as mais comuns indicadas são:

- M1 - Modelo coletor (*Sink*): a conexão única de fio condutor entre um dispositivo e uma fonte de alimentação permite o funcionamento do circuito elétrico;
- M2 - Modelo atenuação (*Attenuation*): a corrente elétrica que circula ao longo de um circuito elétrico em um sentido diminui gradualmente devido ao consumo desta corrente à medida que “atravessa” os dispositivos ao longo do percurso;
- M3 - Modelo de raciocínio local (*Local reasoning*): na realização de mudança em uma parte de um circuito elétrico se ignora o que acontece em outro ponto. Há ênfase à parte local em vez de análise global;
- M4 - Modelo sequencial (*Sequential*): a mudança em um trecho do circuito elétrico o afeta na direção da corrente (“pra frente”), não “para trás”;
- M5 - Modelo de regra empírica (*Empirical Rule*): quanto mais “longe” uma lâmpada se encontra da fonte de alimentação, menor o seu brilho;

- M6 - Modelo curto-circuito (*Short Circuit*): fios que interconectam pontos do circuito que, no entanto, não possuem componentes conectados, são ignorados;
- M7 - Modelo “Fonte de tensão como fonte de corrente constante”;
- M8 - Modelo circuito paralelo (*Parallel Circuit*): resistores são considerados obstáculos à circulação de corrente. O aumento do número de resistores conectados em paralelo acarretaria o aumento da resistência equivalente total do circuito.

Esta classificação preliminar é muito vinculada à tensão e à corrente elétrica bem como à distribuição de resistores ou aparatos de iluminação distribuídos ao longo de um circuito. Alguns alunos, por exemplo, acreditam que em uma associação em série com resistores diferentes, aquele de maior resistência terá menor corrente elétrica (BILAL; EROL, 2009, p.197). Outra dificuldade preocupante se refere a reconhecer e lidar com a interpretação ou aplicação dos conceitos de serialização e paralelismo (McDERMOTT; SHAFFER, 1992; SMAILL *et al.*, 2011), tema tratado na Tese. Sabe-se que parte da estrutura cognitiva associada às concepções dos estudantes decorre do processo de construção do conhecimento e do ensino (HÄRTEL, 1985; NIEDDERER; GOLDBERG, 1995). Alguns docentes, inclusive, expõem concepções não científicas (GAIGHER, 2014). A relação entre as ligações, formas e linguagem escrita/falada seria um ponto de partida nas análises, porém é pouco tratada em detalhes na literatura. Esta será uma tarefa no próximo capítulo. Antes, porém, serão tratados elementos gerais dos diagramas.

2.3 Uma Revisão sobre Diagramas e Ligações entre Componentes

Nos estudos iniciais sobre eletricidade, a associação de resistores subsidia o entendimento e simplificação de circuitos. Antes, inclusive, de fazer uso de Leis como as de Kirchhoff ou a de Ohm, urge como frequente decisões acerca da avaliação sobre a forma de conexão entre os componentes para se definir as estratégias de resolução de um problema. Nos diagramas de circuito, a “geometrização” das representações é uma percepção. Haveria algum elemento enraizado na construção linguística ou na abordagem em sala de aula

que induziria a esta perspectiva? No momento, admitamos que há uma administração equivocada, pelos estudantes, do mecanismo semiológico que estrutura a interpretação dos conceitos e problemas.

Embora consigam resolver problemas numéricos com certa rapidez, muitos alunos não são capazes de chegar a uma solução qualitativa correta na análise de circuitos (DORNELES, 2005, p. 21). Experimentalmente, há também um levante de dificuldades em associar os diagramas às atividades. No uso de programas para simulação, por exemplo, os alunos se mostram muito motivados, receptivos e ativos a informações, preferindo ilustrações a textos e suas dificuldades muitas vezes são atribuídas a elementos de memorização inerentes a alguns contextos escolares (FRAGA; CASTRO, 2004). Vale salientar, de modo complementar, que os recursos para realização empírica (simuladores, hardwares, aplicativos em geral) são ricos em elementos simbólicos.

Muitos dos dispositivos analógicos dos laboratórios de ciência e de engenharia não são tratados em detalhes quando da apresentação do quadro teórico sobre circuitos elétricos. Um conjunto de diagramas pode representar o mesmo circuito, em que se requer uma avaliação conceitual.

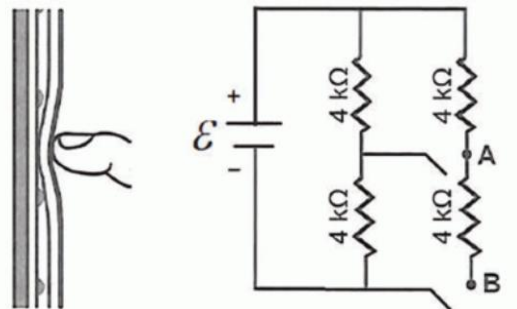
Engelhardt e Beichner (2004) indicam que os erros dos estudantes associados aos aspectos físicos dos circuitos podem ocorrer por não possuírem o conhecimento declarativo necessário para entender a natureza física do diagrama e seus elementos associados. Assim, novos esquemas oferecidos ao estudante, distintos daquele entendido por ele como “padrão” a um certo objeto, podem gerar um raciocínio de mudança global na tipologia pré-classificada por ele como certa associação. Logo, dificuldades podem surgir na interpretação de casos que não dispõe de esquema simbólico semelhante à concepção do sujeito.

A disposição dos componentes como que sobre retas paralelas e perpendiculares valoriza a geometrização no pensamento científico, sendo muito explorado nos livros didáticos e, conseqüentemente, em exames de admissão para instituições de ensino superior (Figura 5). Há uma supervalorização espacial na disposição dos componentes e na representação de suas ligações.

Figura 5 - Quesito com apresentação dos componentes e ligações dispostos espacialmente através de linhas verticais e horizontais.

ENEM 2018

Muitos *smartphones* e *tablets* não precisam mais de teclas, uma vez que todos os comandos podem ser dados ao se pressionar a própria tela. Inicialmente essa tecnologia foi proporcionada por meio das telas resistivas, formadas basicamente por duas camadas de material condutor transparente que não se encostam até que alguém as pressione, modificando a resistência total do circuito de acordo com o ponto onde ocorre o toque. A imagem é uma simplificação do circuito formado pelas placas, em que **A** e **B** representam pontos onde o circuito pode ser fechado por meio do toque.



Fonte: Exame Nacional do Ensino Médio - ENEM (2018).

Destacamos as escolhas sobre como os componentes estão conectados uns aos outros. Em um circuito elétrico ou no arranjo simples entre resistores elétricos, diferentes disposições dos componentes podem exibir topologia elétrica equivalente tal qual distribuições espaciais equivalentes podem não ser eletricamente equivalentes sob a perspectiva topológica. A percepção expressa por meio dos desenhos poderia ser uma ótima fonte de dados para entender como o aluno compreende certos conceitos (PACCA *et al.*, 2003; LABURÚ *et al.*, 2009).

O estudo de equivalência topológica em situações-problema poderia, então, revelar concepções vinculadas à forma com que se comunica visualmente o circuito. Na tentativa de formalizar a análise comparativa, Dorf e Svoboda (2008) indicam que dois diagramas A e B representam o mesmo circuito se as condições a seguir são satisfeitas:

- i. Existe uma correspondência biunívoca entre os nós do diagrama A e os nós do diagrama B. A posição dos nós não é importante.
- ii. Existe uma correspondência biunívoca entre os componentes do diagrama A e os componentes do diagrama B.
- iii. Os mesmos componentes estão ligados aos mesmos nós nos dois diagramas.

Na análise de correspondência biunívoca os autores afirmam que “a posição dos nós não é importante”. Assim, advertem que a disposição espacial é considerada irrelevante para definir equivalência. Está implícito que a referência da

topologia elétrica é essencial nesta demarcação significativa. A apropriação da aparência pode ser um obstáculo para uma correta estruturação topológica.

Laburú *et al.* (2009) chama a atenção para a simbologia dos circuitos elétricos, enfatizando a complexidade desse escopo simbólico:

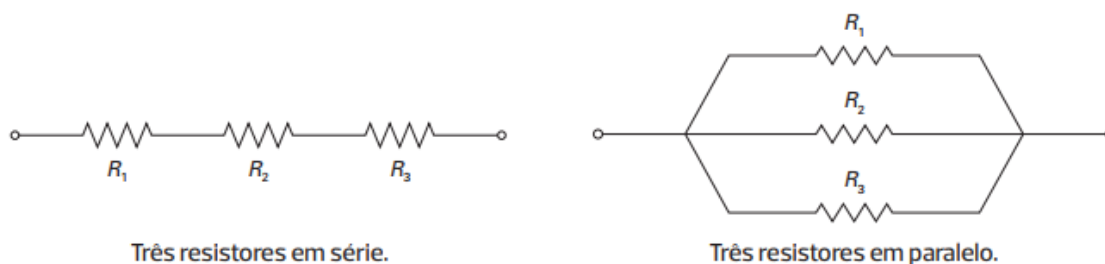
Dentre os conteúdos de Física que utilizam símbolos, explorados no Ensino Médio, o de circuitos elétricos sobressai em quantidade. Nele, podemos constatar vários códigos e signos que são distantes das coisas que concebem. [...] No caso destes últimos (fios elétricos), eles são figurados como retas quase sempre simetricamente associadas, ligadas em noventa graus e convergindo num único ponto ou nó, dependendo da conveniência e simetria do esquema simbólico (Laburú *et al.*, 2009, p. 33).

Há uma ingenuidade interpretativa que pode distanciar o estudante do conceito científico. Os nós elétricos possuem várias possibilidades visuais, muitas vezes moldados por meio de fios ou retas, ao passo que a ideia de correspondência biunívoca não é facilmente percebida. Um aspecto particular destes esquemas imagéticos é que implica, por parte de alguns estudantes, na tentativa de abstração, de reproduzir características físico-geométricas de um modelo (MARSHALL, 2008). É fecundo, assim, explorar aspectos da organização da forma e do conteúdo desse conhecimento.

Transitar entre formas de representação diferentes admitindo cenários de conflito de concepções seria talvez uma outra alternativa didática importante. Esta ação poderia contrapor homogeneidades visuais que subsidiam um conhecimento estático passível de condicionar concepções não científicas, o que revelaria interpretações que geram certas condutas.

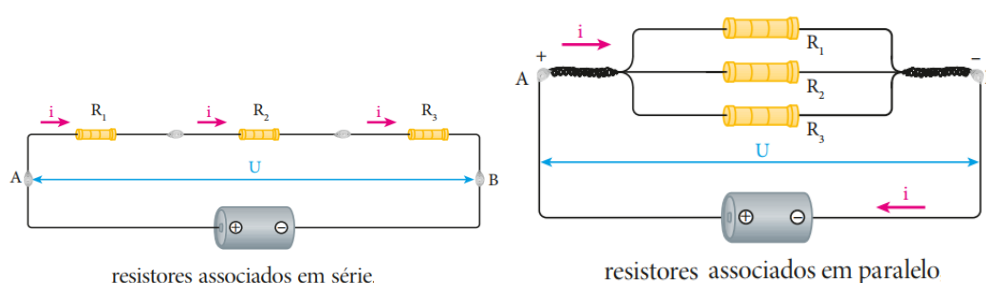
Autores de livros didáticos comumente criam aspectos rígidos entre termos e representações formais (Figuras 6 e 7), os quais são potenciais criadores de um relacionamento em demasiado valoroso à distribuição espacial dos componentes, gerando dificuldades à aprendizagem. Disto, se mostraria interessante a possibilidade de situações dinâmicas, em que aqui são se refere em exclusivo a cenários com chaveamento e sim cuja abordagem teórica ou realização empírica possua heterogenia representativa.

Figura 6 - Apresentação da associação entre resistores no livro didático: Compreendendo a Física – Eletromagnetismo e Física Moderna.



Fonte: Gaspar (2013, p.107).

Figura 7 - Apresentação das ligações entre resistores no livro didático: Física 3 – Eletricidade, Física Moderna.



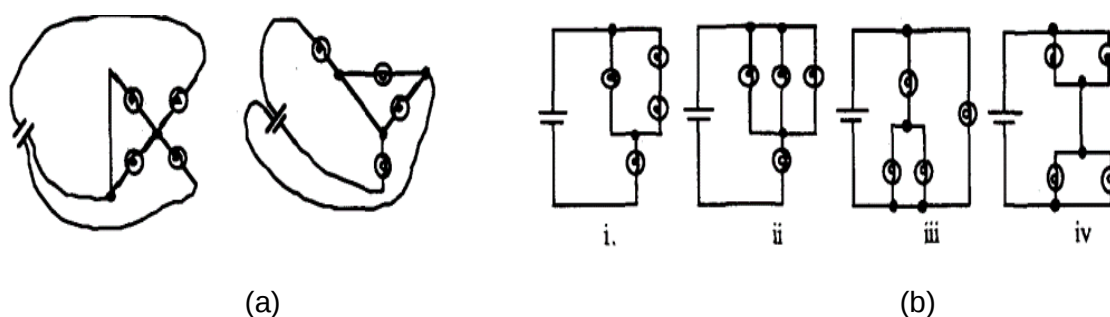
Fonte: Gualter *et al.* (2016, pp.114-115).

DORNELES, ARAÚJO e VEIT (2006) sugeriram que as concepções intuitivas poderiam emergir nos estudantes em relação ao “alinhamento geométrico” entre resistores. As causas, porém, não são endereçadas tal como se pretende empreender ao longo do trabalho. Li e Singh (2016), do departamento de Física e Astronomia da Universidade de Pittsburgh, desenvolveram estudo comparando o desempenho de estudantes em cursos introdutórios e outros em curso de doutorado em Física acerca de problemas com lâmpadas de resistências diferentes associadas em série e em paralelo, caracterizando este problema como difícil até para os pós-graduandos. A partir de entrevistas, os autores descobriram que a primeira característica avaliada intuitivamente é a distribuição das resistências no circuito e a ideia de resistência equivalente, mesmo que isso não seja relevante para o problema em questão. Mesmo questionados explicitamente, vários alunos dos cursos introdutórios não entendiam que a tensão era mesma entre resistores em paralelo e a corrente era

a mesma quando os resistores se encontravam em série. Para duas lâmpadas de resistência $200\ \Omega$ e $500\ \Omega$ em paralelo com uma fonte de tensão, uma vez que a lâmpada de $200\ \Omega$ apresentava maior brilho, alguns estudantes justificaram que ela apresentava maior corrente e, portanto, maior tensão. Se negligenciava, desta forma, que a associação em paralelo decorre fisicamente que a tensão é a mesma entre os resistores.

Em estudo realizado pelo Grupo de Educação em Física da Universidade de Washington (EUA), através do mapeamento de dificuldades durante a análise de circuitos elétricos elementares, McDermott e Shaffer (1992) perceberam que, geralmente, os estudantes reconhecem formas de conexão entre dois elementos, porém muitas vezes não o fazem quando muitos elementos estão envolvidos, “especialmente quando os circuitos são desenhados de uma maneira não convencional” (MCDERMOTT; SHAFFER, 1992, p. 999). Ao questionarem estudantes com relação à identificação da correspondência de um circuito padrão (Figura 8b) com o esboço de um circuito real (Figura 8a), detectou-se que os alunos tendem a focalizar as linhas físicas que conectam os elementos ao invés das conexões elétricas representadas pelas linhas.

Figura 8 - Modelos de topologias de circuitos elétricos para análise comparativa.



Fonte: McDermott e Shaffer (1992, p.1008).

Ressalta-se ainda a dificuldade de reconhecerem equivalência elétrica entre diagramas. Esta é uma situação interessante para os contextos teórico, experimental, e no diálogo entre eles. A experiência intuitiva imediata evidencia o papel da forma em jogo nas atividades de comparação. A apropriada conceitualização física, neste cenário, é inibida em um primeiro instante pela representação do circuito, colocando o indivíduo em conflito cognitivo.

Os resultados desta primeira pesquisa de McDermott e Shaffer (1992) foram complementados com o desenvolvimento de estratégias instrucionais, além do projeto e revisão de materiais. Módulos instrucionais foram concebidos para a preparação de professores de Física e Ciências bem como estudantes. A avaliação comparativa do desempenho na resolução de problemas por parte de grupos de estudantes da universidade de Washington que participaram e que não participaram de sessões tutoriais revelou efetividade destas em relação a apreensão de conceitos científicos. Entretanto, quanto a dificuldades na interpretação das ligações série e paralelo bem como durante a conversão de circuitos reais para um diagrama representativo, os autores defendem a prática da repetição na análise de diagramas como forma para que os alunos possam “*estender sua compreensão das características que são representadas em um diagrama de circuito e aquelas que não são*” (McDERMOTT; SHAFFER, 1992, p.1008). Critérios que balizaram a construção de novos formatos para análise comparativa não são indicados bem como avaliamos de maneira crítica a eficiência do método repetitivo.

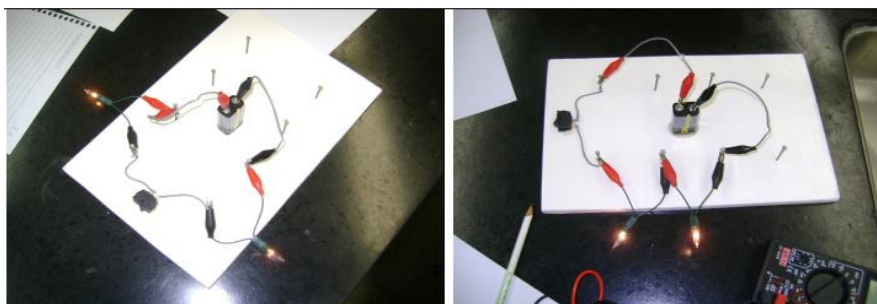
A representação com desenhos é adotada em paralelo à linguagem científica e a casos reais por alguns pesquisadores do Departamento de Física da Universidade Estadual de Londrina (GOUVEIA, 2007; LABURÚ *et al.*, 2009). Os trabalhos focalizam o caráter qualitativo do estudo com circuitos elétricos. O desenho é tratado como mecanismo provisório de representação pessoal, em que a simbologia oficial seria tratada apenas em um momento *a posteriori*, permitindo contrastes com as concepções intuitivas, visando sua superação.

Gouveia (2007), ao analisar os esquemas simbólicos utilizados, apontou dificuldades comunicativas inerentes às diferenças entre os registros cotidianos em que o aluno está inscrito e o contexto do professor ao comunicar conceitos científicos. A ânsia de resolução algébrica ou a exploração de um único sistema de representação, poderia talvez inibir a coordenação topológica em relação à seriação, paralelismo e outras conexões. No trabalho de Gouveia (2007), é citada em proeminência a operação mecânica na resolução de problemas:

[...] o fato de os alunos demonstrarem habilidades em cálculo de associações complexas e resolverem um grande número de exercícios não significa que entenderam os conceitos que estão por detrás dos cálculos e regras. Estes, no fundo, são operados de forma mecânica, sem maior significado (GOUVEIA, 2007, p.96).

Na análise experimental isso também ocorre. Franzoni (2015) utilizou, em sua dissertação, o desenho como mediador para a superação de problemas conceituais junto a alunos do 3º ano do ensino médio. Foi abordada a mudança de representação de experimento real tridimensional para o esquema. Em atividade experimental, o autor forneceu aos estudantes circuitos elétricos construídos sobre matriz retangular com pregos, cabos, lâmpadas, bateria e chave construída sobre plataforma de madeira (Figura 9). Ele expõe dificuldades deles em interpretar de forma coerente e compatível a significação dos símbolos e esquemas. Uma observação acerca dos desenhos elaborados é que as ideias sobre paralelismo e serialização são influenciadas pela aparência do circuito real.

Figura 9 - Circuitos elétricos em série para atividade de reprodução de desenhos.



Fonte: Franzoni (2015).

De modo correlato, Franzoni *et al.* (2010) reconhecem que dificuldades persistem ao longo da escolarização, em que destacam a busca por soluções de aprendizagem na área e atentam para uma busca inevitável:

[...] corroboram com a necessidade constante, por parte de pesquisadores da área de ensino, no sentido em encontrar soluções das causas que impedem uma aprendizagem eficaz, duradoura e consistente, para que, ao atuar sobre elas em sala de aula, seja possível ao professor junto com seus alunos construir o conhecimento científico (FRANZONI *et al.*, 2010, p.18).

Mesmo naqueles estudantes que possuem habilidades de considerar diagramas de circuito como objetos abstratos, pode ocorrer de não se mobilizar regras apropriadas nas análises (MARSHALL, 2008):

Por outro lado, existem indicações de que alguns alunos podem de fato tratar diagramas de circuitos como objetos abstratos, mas usam regras não padronizadas para codificar/decodificar informações deles. Enquanto as convenções "aceitas" permanecerem tácitas, tais estudantes, além de outros que simplesmente não tenham absorvido as regras padrão por conta própria, podem estar em desvantagem (MARSHALL, 2008, p.13).

Marshall (2008), a partir dos resultados da sua pesquisa, aponta que os estudantes se encontram em desvantagem, do ponto de vista da aprendizagem, quando diagramas convencionais utilizados no estudo de circuitos são apresentados simplesmente como norma, sem a discussão explícita das questões de representação. Demonstra-se, assim, uma trajetória implícita no processo de ensino-aprendizagem: existem relações entre teórico e empírico, entre o científico e as aplicações sociais e tecnológicas cuja discussão acerca da representação é balizada pelo dogma dos diagramas convencionais. O caminho do concreto ao abstrato é árduo, sendo seu debate muitas vezes suprimido. Os diagramas são adotados, com frequência, como estatutos imutáveis de saber em virtude da forma como são explorados pelos livros, inibindo discussões acerca das particularidades das diversas representações.

Em sua tese, Engelhardt (1997) utiliza questões com topologias série e paralelo e mudança dinâmica das configurações de circuitos por meio de chaves. Notam-se questões envolvendo comparação entre diagramas não convencionais e a representação formal de circuitos através do DIRECT (*Determining and Interpreting Resistive Electric Circuits Concepts Test*), instrumento de diagnóstico com 29 questões. O DIRECT foi administrado a grupos de estudantes do ensino médio e universitário nos Estados Unidos, Canadá e Alemanha. Dificuldades e concepções não científicas foram analisadas, principalmente em relação aos conceitos de tensão e corrente elétrica. Algumas questões avaliaram a compreensão sobre a correspondência entre imagens e representações simbólicas convencionais de circuitos. Os resultados indicaram que os estudantes não têm uma compreensão clara dos mecanismos subjacentes aos fenômenos no circuito elétrico.

A expansão do significado de Resistência Equivalente poderia talvez ocorrer com a variação do uso de signos normativos, de retas e figuras no plano

(ou em mais dimensões), casos reais e modelagem experimental. Neste sentido, na literatura percebe-se alguns autores que exploram, concomitantemente ao aporte teórico, experimentos em laboratório, simuladores, símbolos não convencionais ou ferramentas de autoria (CARLSEN, 1989; NORONHA, 2001; DORNELES, 2005; TORMA, 2015), diversificando domínios de representação, porém sem a devida integração, não explorando correlações interpretativas, particularidades entre contexto e representação, elementos para avaliação intencional entre representação e elementos empíricos.

Em trabalho com circuitos elétricos simples voltado a estudantes do curso de Licenciatura em Ciências da Fundação Universidade do Rio Grande do Sul (FURG), concepções alternativas foram diagnosticadas por Gravina e Buchweitz (1994). Em relação aos dados obtidos:

[...] mostraram que, dependendo da tarefa apresentada ao estudante, o mesmo usava uma concepção ou outra, sendo que isto ocorria principalmente, quando o circuito mudava de série para paralelo (GRAVINA; BUCHWEITZ, 1994, p. 115).

Isto se associa à ideia de concepção aqui defendida quando se observa que o cenário é fator relevante nesta construção do saber. As análises realçam a coexistência múltipla de concepções não científicas para um mesmo fenômeno, as quais se “adaptam” a depender da situação. Os desafios ao ensino têm, assim, campo amplo, sendo relevante levar em consideração também concepções e conhecimentos prévios do estudante:

[...] Muitos outros estudantes vão encontrar dificuldades semelhantes na aprendizagem desses e de outros conceitos e relações científicas hoje e no futuro. Com isso, queremos argumentar a favor da importância de se levar em conta o que os estudantes já sabem, independente de estar de acordo ou não com o conhecimento científico, para que o ensino tenha sucesso no encaminhamento da aprendizagem dos estudantes (GRAVINA; BUCHWEITZ, 1994, p.117).

Após aplicação de entrevistas e testes de múltipla escolha, os autores mapearam scores obtidos pelo mesmo grupo de alunos e analisaram sua evolução. Algumas concepções adicionais às discussões são observadas (GRAVINA; BUCHWEITZ, 1994, p.115):

- A2: Em um nó a corrente elétrica divide-se igualmente, independente dos elementos que estejam ligados em paralelo.
- F: Lâmpadas idênticas sempre brilham igualmente. [...] o aluno relaciona o brilho apenas com a resistência, cria cargas em nós ou então, distribui a corrente elétrica igualmente para todas as lâmpadas;
- G: A resistência equivalente não depende do tipo de ligação, ela é sempre proporcional ao número de resistores.

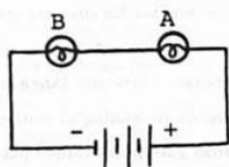
Nota-se que os autores utilizam de maneira recorrente representações visuais que incorporam elementos morfológicos tradicionais de livros. Não se verifica a exploração da influência desse aspecto morfológico do circuito na interpretação do conceito de resistência. As atividades são mais voltadas aos conceitos de corrente e potência elétrica (Figura 10), porém, ordinariamente, é requerido ao sujeito interpretar as ligações entre os componentes.

Figura 10 - Atividades para análise do brilho de lâmpadas.

3. No circuito da figura (2) colocamos uma outra lâmpada B idêntica a A.

(a) As lâmpadas A e B brilham igualmente ou diferentemente?

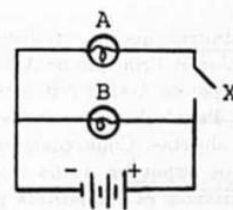
(b) Compare o brilho da lâmpada A neste circuito, com o o brilho de A no circuito da figura (2).



6. No seguinte circuito a chave interruptora X está inicialmente aberta.

- A lâmpada A brilha ou não?

- E a lâmpada B? - Ao fecharmos a chave, o brilho da lâmpada B se altera ou não?



Fonte: Gravina e Buchweitz (1994).

Um dos elementos observados por Abel (1995) em sua Tese foi o contexto visual ao considerar a configuração do circuito e as representações formais como domínios em que há dificuldade na apreensão de conceitos. Tal como em outros trabalhos, ele enfatiza que o termo “paralelo”, por vezes, é interpretado a partir do significado “geométrico” e não pelo elétrico. Isto resulta de um realismo morfológico que se desdobra de maneira falsa sobre conclusões acerca das conexões elétricas, e cuja origem merece atenção.

Por sua vez, a fim de guiar o desenvolvimento curricular, o estudo apresentado por Shaffer e McDermott (1992) estruturou-se em três partes: a primeira foi relacionada a estudos sistemáticos sobre as dificuldades dos estudantes; a segunda previu o uso dos resultados da primeira etapa para balizar o desenvolvimento de estratégias específicas para endereçar cada dificuldade e, em seguida, prover um guia para o desenvolvimento curricular. Do primeiro trabalho (McDERMOTT; SHAFFER, 1992), referenciado no início da seção, enfatizamos o processo de investigação, destacando a diversidade de elementos como fontes de dados: entrevistas individuais, discussões em classe, atividades de laboratório com equipamentos reais e simulações em computador. Os autores categorizam três tipos de dificuldades: (i) incapacidade na aplicação de conceitos formais; (ii) incapacidade para relacionar representações formais e medições numéricas aos circuitos elétricos; (iii) incapacidade de raciocionar qualitativamente sobre o comportamento dos circuitos elétricos. Elementos inseridos em estudos sobre categorias para análise de diagramas e ligações poderiam contemplar:

- Dificuldade de raciocínio qualitativo no reconhecimento de ligações;
- Mobilização de concepções não científicas em cenários teóricos e empíricos;
- Dificuldade de operacionalizar modelos de diagramas e/ou circuitos reais em um sistema de representação, entre sistemas diferentes, do teórico ao empírico e no sentido contrário;
- Dificuldade de mudança de concepção.

Esta seção evidencia dificuldades dos estudantes em mobilizar a pluralidade visual e representativa dos diagramas e ligações. De modo complementar, expõe-se que as questões de seriação e paralelismo entre componentes estão no seio da compreensão sobre circuitos básicos, porém há escassa abordagem das relações entre concreto e abstrato no que se refere a atividades experimentais didáticas com suporte de *programa* ou laboratório físico, bem como aquelas especificamente associadas às demandas conceituais prévias do sujeito e aquelas de natureza profissional.

2.4 Considerações Finais do Capítulo

Por vezes são negligenciadas as conexões entre componentes, de modo que não se concretiza uma interpretação correta do objeto. A manifestação de concepções de resistência equivalente proporcional ao número de resistores mostra uma proeminência às aprendizagens sobre seriação, de modo que, em virtude muitas vezes da facilidade algébrica quando comparada ao cálculo equivalente com componentes em paralelo, concretiza-se o falso pensamento de que, quanto maior o número de resistores em um arranjo, maior a resistência equivalente. Este é apenas um dos problemas de aprendizagem ilustrados no contexto, em que se buscará expansão com mais detalhes.

A partir das colocações do capítulo, recomenda-se, com prudência, que as dificuldades em relação à morfologia de um circuito elétrico devem ser encaradas como problema da Física e da Matemática, ao menos sob a perspectiva do ensino e da aprendizagem. Nisto, elas se tornam corresponsáveis das implicações teórico-experimentais, em que pese como necessidade uma análise epistemológica sobre a construção histórica do campo. A ação intuitiva da representação geométrica do primeiro contato deve representar apenas uma perspectiva sendo, contudo, muitas vezes encarada como de caráter decisivo pelos estudantes. Outro elemento a ser avaliado é o componente experimental reiteradamente associado com a formação profissional de vários estudantes, sobre o qual, no próximo capítulo, será reexaminado panorama geral acerca de alguns recursos que serão abordados na Tese.

3 RECURSOS EXPERIMENTAIS

A construção de um circuito elétrico ou a elaboração de arranjos sobre a associação entre resistores são comuns na aprendizagem experimental. Nisto, a compreensão, construção e aplicação do conceito pelo sujeito, o reconhecimento de múltiplas representações, encontra nos recursos empíricos uma complexidade a mais na busca de significação. Em aderência ao proposto no primeiro capítulo, as concepções não científicas podem permear-se pelo uso dos recursos ou serem transpostos das concepções teóricas conceituais para os dispositivos empíricos. Analisar este ponto de vista poderia embasar decisões do docente em sala de aula, tanto no ensino como no planejamento para avaliar. Recursos digitais e analógicos auxiliam a construção conceitual bem como podem exigir novas perspectivas em decorrência das aplicações teórico-conceituais.

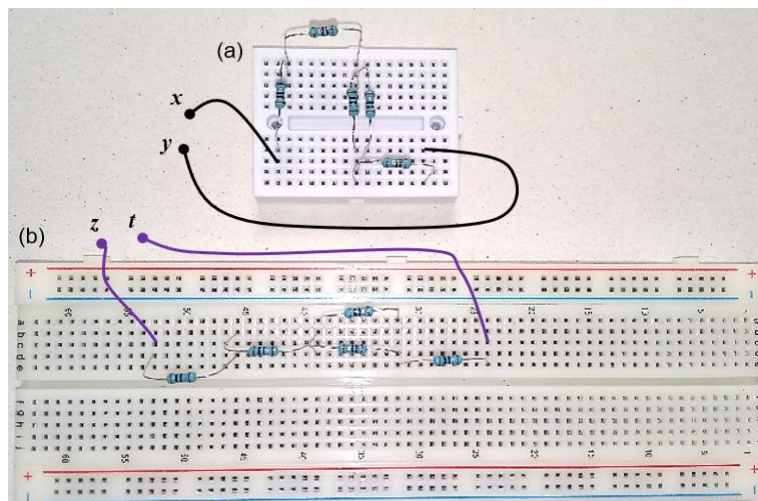
3.1 Sobre Recursos Analógicos para Experimentação

Com os recursos experimentais, é redimensionado o olhar para o ensino em relação à capacidade de implementar e desenvolver um projeto. Não se trata apenas de aplicar este ou aquele recurso. Urge sua articulação junto a situações consoantes aos fundamentos teóricos e, também, profissionais. Existem requisitos operacionais e simbólicos. Além de aprender com a tecnologia é imprescindível entender a tecnologia, em que variabilidades morfológicas são passíveis quando nos deparamos com circuitos reais ou montagens (Figura 11).

Do ponto de vista dos terminais em aberto, os arranjos da Figura 11 são equivalentes $(x, y | z, t)$. Todos os resistores são iguais e de valor nominal de $10\ \Omega$. Dois deles estão em paralelo e, esta primeira associação, em série com outros três resistores de modo que o valor teórico da resistência equivalente (R_{eq}) a partir dos terminais em aberto é $35\ \Omega$. Note que, implementar a disposição espacial do caso da Figura 11b, (mantendo certo alinhamento entre os resistores) não seria possível em uma matriz de contatos com um número menor de pontos (Figura 11a), forçando um novo rearranjo entre os componentes para que houvesse permissividade de utilizar uma matriz de 170 furos na montagem. Como o sujeito lidaria com este tipo de atividade? Sabendo-se que as dimensões são

importantes, ao sujeito seria envidado, talvez, redimensionar suas atribuições interpretativas sobre a topologia de um circuito.

Figura 11 - Topologias de redes resistivas equivalentes construídas em *protoboard*.



Fonte: próprio autor.

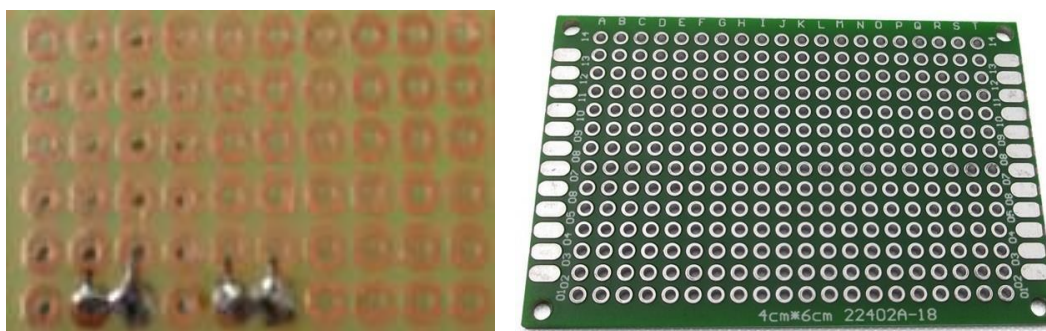
As matrizes de contato podem aparecer com opções comerciais que possuem, em geral, entre 170 e 2420 furos (terminais). A “liberdade” de montagem está relacionada com as possibilidades construtivas, associada ao número de pontos e, conseqüentemente, às dimensões físicas referidas à placa e aos componentes utilizados. Há equipamentos cujo espaço do circuito eletrônico deve ser bem definido face características de construção ou número e dimensão dos componentes. É importante, ainda, ter ciência que o número de pontos disponibilizados em um *protoboard* é diferente do número de nós elétricos.

A tarefa de abstração para realizar uma construção com suporte tecnológico educacional ou profissional cria no indivíduo a premência de mobilizar e organizar diversos conhecimentos, sendo demonstradas algumas dificuldades neste propósito. Uma das operações de transformação envolve a saída do quadro de signos formal para o *protoboard*, com o intuito de realizar experimentações assim como a operação no sentido contrário. O raciocínio empregado no processo de modificação da configuração de um para outro sistema pode não ocorrer diretamente uma vez que os conhecimentos e regras de ligação envolvidas não são prioritariamente as mesmas. Além das regras preconizadas por cada recurso analógico, outras podem ser mobilizadas implicitamente.

Em relação a concepções não científicas, Önder *et al.* (2017) realizaram pesquisa com cerca de 40 participantes em relação aos conceitos de circuito aberto e fechado admitindo a manipulação de recursos analógicos de laboratório, em que revelaram três fatores como fontes causadoras de soluções imprecisas: “generalizações extremas, a terminologia enganosa usada no discurso cotidiano e conceitos errôneos decorrentes de experiências anteriores de aprendizado”. Os autores observaram que os estudantes que mantinham esses equívocos tinham dificuldades de construir um circuito elétrico simples.

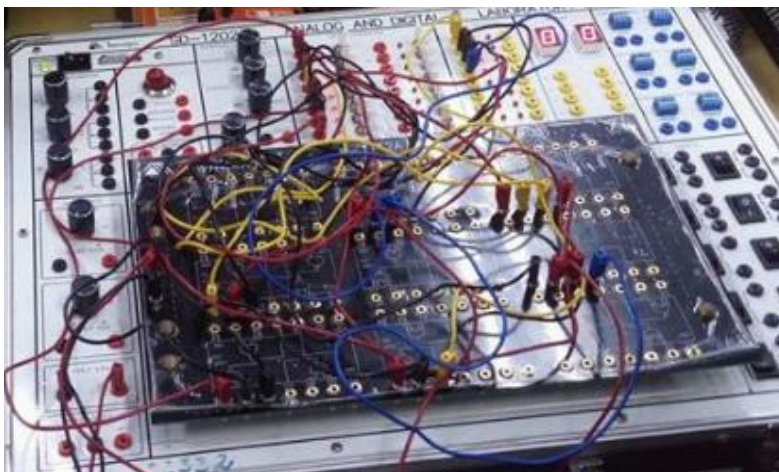
Outro aspecto, a ideia de ligação na placa pode ser interpretada quando o estudante enxerga um circuito perfurado, realiza uma solda (Figura 12), ou ao lidar com outras tecnologias educacionais em que as ligações são realizadas por fios em maleta experimental didática (Figura 13) ou no acionamento de lâmpadas (Figura 14). Isto pode gerar exigências cognitivas diferentes. No caso do recurso da Figura 13, a disposição dos componentes é fixa na placa de referência, de modo que, ao estudante, é necessária a construção dos diagramas através do uso de cabos auxiliares, os quais devem ser conectados aos pólos/terminais dos componentes a fim de estabelecer as ligações. Reconhecer e passar de um plano a outro é fundamental neste e em outros exemplos. Há, assim, um convite sob o viés qualitativo e conceitual da formação das associações.

Figura 12 - Placas de circuito impresso perfuradas para montagem de circuitos.



Fonte: próprio autor.

Figura 13 - Ligações através de fios na maleta experimental SD 1202 Minipa.



Fonte: próprio autor.

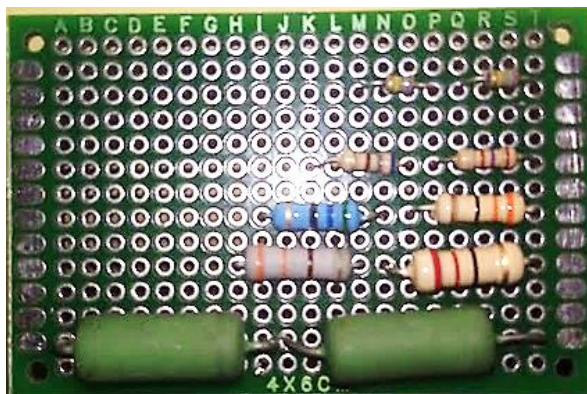
Figura 14 - Ligações entre lâmpadas: Bancada de instalações elétricas (DK8).



Fonte: próprio autor.

De modo complementar ao tratado, as dimensões de circuitos reais e as limitações espaciais notadamente existem em muitos casos práticos. É oportuno que o estudante compreenda montagens com espaço físico limitado, entenda coordenações ou reorganizações do saber na passagem de uma a outra forma de representação. O tamanho do componente, vinculado à máxima potência dissipável e a tridimensionalidade, são aspectos que incorrem em avaliação física (Figura 15).

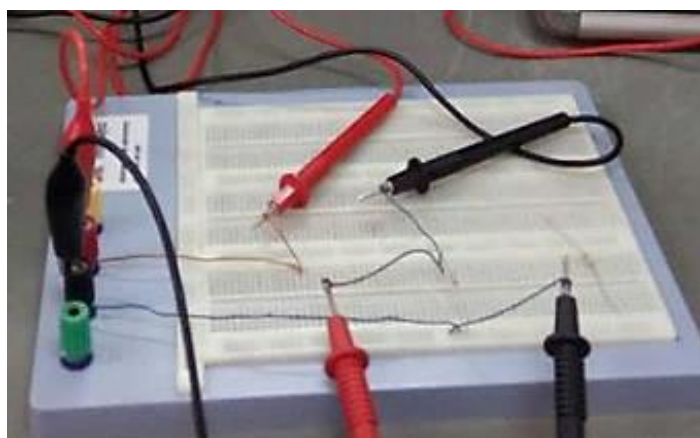
Figura 15 - Resistores de diversas dimensões em uma placa de circuito perfurada.



Fonte: próprio autor.

Por meio de diálogos com outros docentes e ao longo da trajetória acadêmica do autor, verifica-se que não é comum a prévia avaliação conceitual e simbólica dos recursos experimentais, observando-se abordagens pontuais em disciplinas de laboratório. Estas, contudo, não tratam de maneira rigorosa sobre elementos topológicos representados nos recursos experimentais. Todavia, a correspondência entre um modelo teórico e um circuito real não é simples no que tange aos aspectos visuais e regras próprias de operação. Outras dificuldades são percebidas, inclusive, quando os alunos se utilizam ou não de fios em matrizes de contato (Figura 16), enfatizando a experiência concreta: os dispositivos podem estar fixos e as ligações podem variar em formato; os componentes podem ser manipulados para representar um diagrama unindo seus terminais.

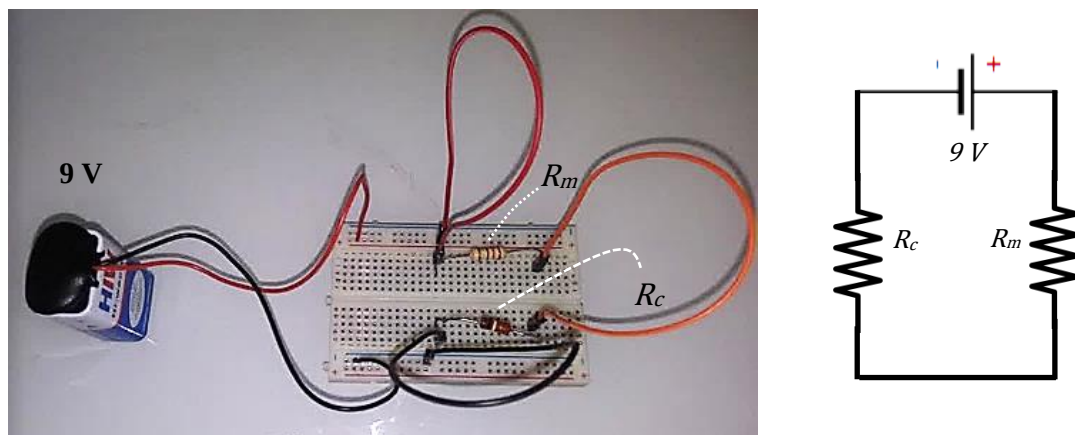
Figura 16 - Conexões entre resistores através de fios em um protoboard.



Fonte: próprio autor.

Por conseguinte, a previsão e comparação de comportamento entre modelos e circuitos reais depende de análises físicas e/ou matemáticas, bem como da interpretação de ligações e sua tradução simbólica. Também é factível através de medições. Vários conceitos podem ser expressos quantitativamente, assim como a avaliação qualitativa deve estar concatenada. O circuito da Figura 17, por exemplo, apresenta uma fonte de tensão de 9 Volts alimentando dois resistores elétricos, de modo que se encontram conectados através de seus terminais, formando um nó elétrico. Os nós elétricos são representados, neste recurso, por soldas da matriz de contatos ou por fios. No circuito há a caracterização de uma associação em série entre os resistores elétricos e a fonte.

Figura 17 - Um circuito real sob *protoboard* e modelo correspondente.



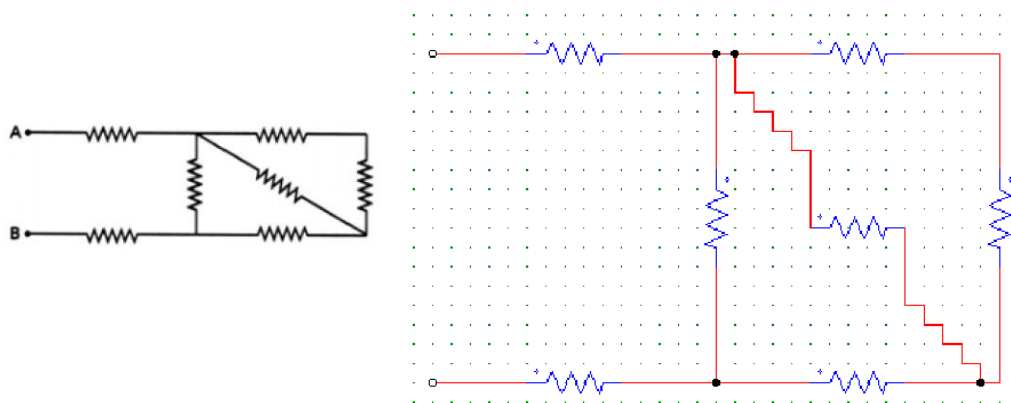
Fonte: Próprio autor.

Diversos autores reconhecem a substancialidade das atividades de experimentação física demonstrativas (em sala ou laboratório) no ensino de circuitos elétricos (EIRAS, 2005; DE ANDRADE *et al.*, 2018), assim como atividades combinadas de natureza analógico-digital (DORNELES; ARAÚJO; VEIT, 2007; KOLLÖFFEL; JONG, 2013). Notamos, entretanto, que mesmo quando os recursos analógicos são utilizados, em geral não se processam os estudos de correspondência conceitual representativa de maneira prévia ao momento do laboratório. Se aprende observando, “na prática”, termo que se costuma utilizar. Nós elétricos, ramos, malhas, diagramas parciais ou completos são representados nos desenhos convencionais com visual comumente distinto do que é abordado no recurso, o qual pode apresentar, empiricamente, várias formas.

3.2 Sobre Recursos para Simulação Digital

É oportuno se debruçar também sobre as plataformas digitais. A matriz de contatos, por exemplo, já é passível de uma correspondente virtual através de aplicativo (SCARLATOS *et al.*, 2017), com arquitetura construtiva que permite uma interface com demandas cognitivas semelhantes ao dispositivo físico real e variações de *design* construtivo. Programas como o PSIM (*Power Sim*), tal qual outros voltados à simulação (*Circuit Maker*, *ProtoLab*) trazem uma interface mais parecida com as placas de circuito (Figura 18), disponibilizando matriz de pontos para realizar conexões. Neste caso, contudo, as ligações não podem ser expressas na maioria dos programas tal qual a simbologia do desenho ou durante a manipulação analógica dos dispositivos.

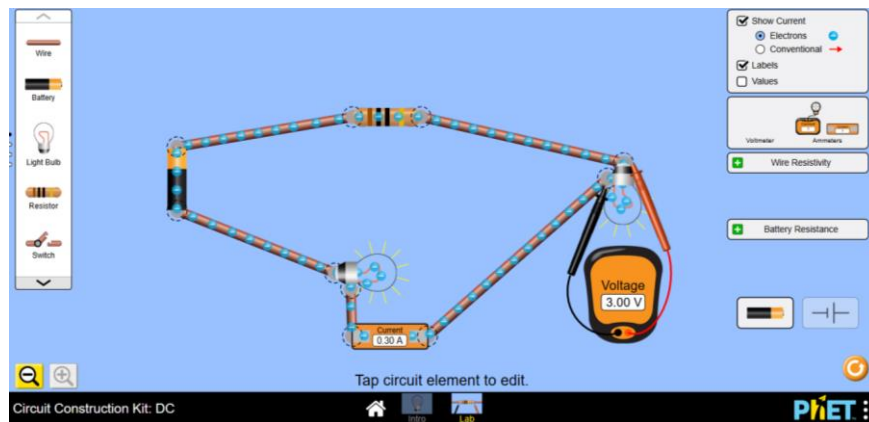
Figura 18 - Representação de um arranjo resistivo e representação em software.



Fonte: próprio autor.

Algumas plataformas de simulação interativa são mais flexíveis neste sentido, como é o caso do Kit de Construção de Circuitos - *Circuit Construction Kit (CCK)* do projeto *PhET - Physics Education Technology* (Figura 19), da Universidade do Colorado (EUA). Segundo os autores, o ambiente é projetado para permitir que os alunos construam sua própria compreensão conceitual da física através da exploração. O CCK oferece um ambiente com elementos de circuito para criar circuitos CC arbitrariamente complexos. Ele disponibiliza ainda voltímetros e amperímetros com aparência realista, usados para medir tensão e corrente elétrica (PERKINS *et al.*, 2006).

Figura 19 - Tela com exemplo - *Circuit Construction Kit (CCK)*.



Fonte: <https://phet.colorado.edu/sims>.

O recurso permite, dentre as possibilidades de representação, perceber o deslocamento de cargas elétricas ao longo do tempo no circuito, oferece liberdade espacial construtiva, além de que exibe em tempo real consequências da modificação de características dos componentes, incluindo o brilho de lâmpadas, importantes à percepção dinâmica. Com o CCK/PhET, mudanças e observação, em tempo real, dos efeitos sobre as grandezas, são interessantes para a aprendizagem, gerando estímulo e motivação (MACÊDO; DICKMAN, 2009), desencadeando novas competências ao discente (COSTA *et al.*, 2013).

No CCK/PhET, resistores também podem ser modelados a partir do código de cores. É importante perceber que o programa permite várias codificações simbólicas na representação do circuito, uma materialização direta dos fios para conexão dos terminais dos componentes, além de desdobramentos analíticos semelhantes em parte ao que ocorre em laboratório físico com uso de instrumentos de medição para estudo de tensão, corrente e potência elétrica.

Observe que os processos de mudança entre modelos de representação distintos, saindo do quadro teórico para o experimental, ou no sentido contrário, são essenciais para a aprendizagem. Isto, a fim de que os sujeitos percebam as falsas generalizações proporcionadas por alterações visuais e as particularidades de cada plano construtivo. Abegg e Ramos (2013) reforçam que a inclusão de recursos de mídia – vídeos ilustrativos, simuladores de circuitos, dentre outros –

pode facilitar a aprendizagem. Ou seja, acredita-se que o uso destas tecnologias possa permitir aos alunos uma aprendizagem eficaz. No entanto, é fundamental elencar requisitos de uso que corroborem para a aprendizagem, avaliando ganhos em potencial e restrições. Para alguns, a simulação adquire ainda mais robustez e reflexão quando associada a programas responsáveis pela prototipagem de circuitos eletroeletrônicos. Reflexões futuras certamente devem ocorrer em relação ao uso de aplicativos para celular e eventuais ferramentas de realidade virtual neste contexto.

Com efeito, descobrir como o aluno lida com o recurso digital é importante no processo de ensino-aprendizagem uma vez que grande parte das aparências nas quais as ligações surgem em um circuito não são exatamente passíveis de realização com as funções disponibilizadas por eles sem operações transitórias intermediárias. Há uma aprendizagem em tempo real no próprio processo de elaboração dos arranjos, das conexões entre os componentes e uma possibilidade de analisar a sensibilidade de parâmetros. O usuário pode aprender construindo uma gama de representações distintas para o mesmo objeto e, no caso do CCK/PhET, a exemplo, analisar casos com representações que envidam um suporte visual.

3.3 Considerações Finais do Capítulo

Uma escrita, símbolo ou desenho possui uma representação. Traçados, pontos e caminhos não devem ser confundidos com o seu significado físico real. Eles apresentam faces diferenciadas nos recursos experimentais, na forma de expor associações entre componentes, por exemplo. A linha conectando dois resistores em um desenho representado com a notação formal de circuitos pode evidenciar um nó elétrico, porém talvez não ser percebido ou convertido em um ou outro recurso no processo de ensino-aprendizagem. Aparatos analógicos e digitais para fins empíricos são complementares e fundamentais na formação profissional de técnicos e engenheiros. Através de uma atividade envolvendo alunos em um curso superior de Física, Dorneles, Araújo e Veit (2007) obteve resultados que apontavam na melhoria de condições de aprendizagem com o uso de atividades experimentais em conjunto com simulações computacionais no ensino de circuitos elétricos. Em prospecção sobre interpretação e realização

experimental quanto aos recursos, reportamos outras várias possibilidades para avaliar o comportamento do estudante:

- *Protoboard*: análise da dimensão (tamanho/espço disponível para construção), limites do tamanho do circuito, exploração dos nós e da disposição esquemática de componentes através das trilhas;
- Placa de Circuito Impresso ou perfurada (fenolite, fibra de vidro): formação de trilhas condutoras com formatos pré-definidos, incluindo análise de imagens; tridimensionalidade das placas e interpretação de ligações; *layers* (circuitos em camadas);
- Maleta SD1202: factível o estudo dos dispositivos fixos em placa, a percepção (concepções) quanto ao *hands on* / variedade das ligações;
- Programas digitais: estudo topológico com componentes fixos, ligações flexíveis, componentes e ligações com restrição, uso dos elementos internos e barras de ferramenta, ampliação e sensibilidade quanto à complexidade dos arranjos, estudo de regras tácitas.

A linguagem, signos, os processos de transição entre formas de representação e o contexto instrumental devem ser incorporados às análises sobre eventuais situações a serem estruturadas. É significativo construir situações-problema que discorram sobre o funcionamento dos equipamentos utilizados e sua correlação com outras representações. Considerando também o plano teórico-conceitual em debate, são unidades de análise passíveis, neste contexto:

- a contextualização sobre a variabilidade de formas de ligação com protótipos reais (fonte, fios, chaves, resistores, lâmpadas);
- a ideia de circuito fechado (ou malha) e/ou de circuito aberto;
- a morfologia das ligações em um arranjo ou circuito;
- a dimensão física para representar o modelo;
- as regras de formação dos tipos de ligação e mudanças de forma;
- a compreensão conceitual do estudante sobre o vocabulário.

Outras possibilidades são conjecturadas também com o espectro experimental. Quanto à representação formal, casos passíveis de avaliação:

- operações de mudança visual na configuração;
- tridimensionalidade dos circuitos;
- a dimensão física para a montagem (restrições de espaço);
- uso de terminais, fios e caminhos para conceitualizar o nó elétrico;
- cenários com resistores fixos e ligações variáveis;
- cenários com resistores variáveis e ligações fixas.

Percebe-se a essencialidade da ideia de representação no estudo de associação de resistores e na conexão entre componentes em Circuitos Elétricos. Há uma variedade de sistemas neste contexto (linguagem, expressões algébricas, imagens, dispositivos experimentais analógicos e digitais), os quais envidam a exploração de situações-problema alinhadas com a aprendizagem.

4 A CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO

4.1 Elementos Epistemológicos

Nesta etapa inicial do capítulo, a proposta é estruturar parte de como se processou o conhecimento acerca da teoria de Circuitos Elétricos. Este caminho se estabelece considerando a primeira hipótese levantada, em que se busca verificar *como ocorreu a construção histórica dos saberes, a linguagem, os signos e de que forma a representação do conhecimento poderia influenciar a observação crítica sobre o ensino e aprendizagem do atual contexto*.

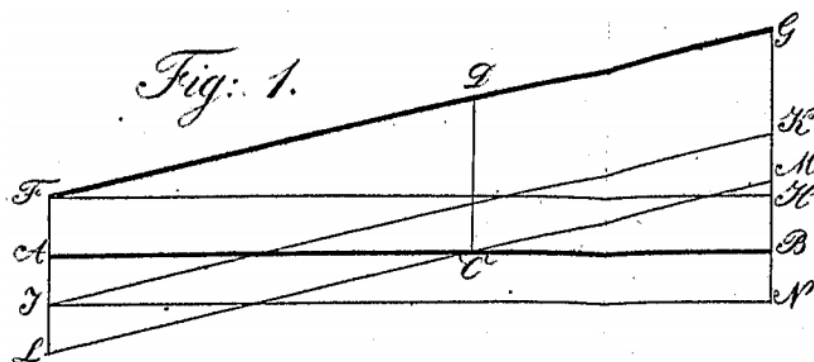
A pesquisa empírica de Georg Simon Ohm (OHM, 1827) enveredou para a construção gráfica de casos, plotando a distribuição de tensão em condutores, de modo a revelar relações entre grandezas elétricas. Ele associou condutores de características físicas variadas (o termo “resistência elétrica” não era utilizado na época). A disposição alinhada dos condutores em um dos experimentos criava um circuito série (termo não usado), havendo a influência empírica na construção de conhecimento e aproximação do contexto linguístico da Matemática com a Física:

Die Linie AB (Fig. 20) stelle sonach den in eine gerade Linie ausgestreckten Ring vor, ind die auf AB senkrechten Linien AF und BG mögen durch ihre Längen die Stärke der and den Ender A und B befindlichen positiven Elektrizitäten bezeichnen (OHM, 1827, p.12).

Segundo o autor, “a linha AB, portanto, representa o anel esticado em uma linha reta, e as linhas AF e BG perpendiculares à linha podem, pelos seus comprimentos, denotar a força da eletricidade positiva nas extremidades A e B” (em tradução livre). É importante destacar que, antes do seu trabalho, não havia uma definição mais precisa sobre os termos atualmente conhecidos como tensão elétrica ou diferença de potencial - *quantidade de energia ζ exercida para separar certa quantidade de carga Δq ($v = \zeta / \Delta q$); e corrente elétrica - quantidade de carga elétrica Δq que se desloca em um meio condutor em um certo intervalo de tempo Δt ($i = \Delta q / \Delta t$). Antes, houve contribuições por Humpry Davy e Alessandro Volta em relação ao estudo da condutividade e desenvolvimento da pilha, além de uma separação das grandezas por A. M. Ampère (KIPNIS, 2009).*

Para a tensão, o termo “força elétrica” era mais comum enquanto, para a corrente elétrica, aparecia com mais frequência os vocábulos “fluido elétrico” ou “eletricidade”, com o último acoplado a verbos que traziam a noção de movimento – atravessar, passar, propagar.

Figura 20 - Distribuição de tensão no primeiro estudo de caso da obra de Ohm.



Fonte: Ohm (1827)

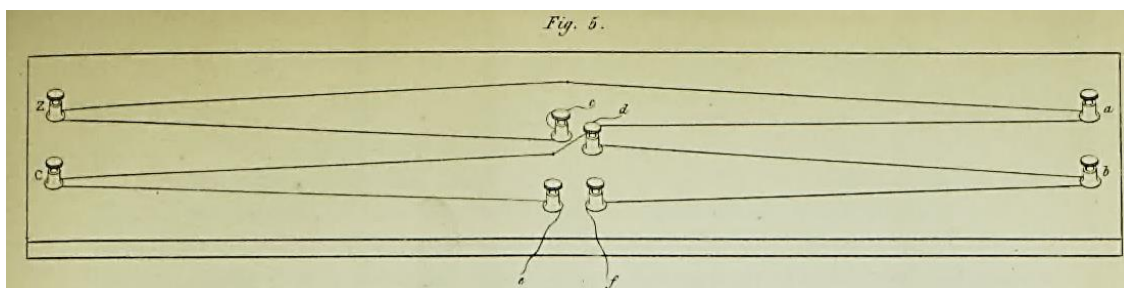
Experimentalmente, G. S. Ohm demonstrou que existe linearidade na relação entre tensão (v) e corrente elétrica (i) em um “corpo homogêneo de seção transversal constante”. Ou seja, a resistência R não variava em certas condições, sendo matematicamente definida como a relação entre a variação de tensão e a de corrente ($R = \Delta v / \Delta i$). Ohm inicialmente chamou a constante R de “comprimento reduzido”, renomeando de Resistência logo em seguida (GUPTA, 1980, p.156).

Em virtude de sua formação em Matemática e da característica do saber desenvolvido em Física Experimental, nota-se na obra de Ohm um vocabulário carregado de elementos provenientes da análise matemática. Em seu livro, é evidente o uso de elementos linguísticos como “comprimento” de segmento de reta, “paralelismo” para referir-se à interpretação elétrica oriunda da avaliação gráfica de casos. Entende-se que tal vocabulário influenciou outros cientistas e professores nas décadas após o seu trabalho, de modo que sempre houve uma aproximação de termos e senso visual do conhecimento matemático na formação dos signos em circuitos. Atenção é solicitada ao termo “anel”. Ele se referiu, na obra, à ideia de circuito fechado. Sobre a percepção atual deste conceito iremos tratar um pouco mais à frente ainda neste capítulo.

Diversos trabalhos e patentes foram sendo desenvolvidas nas décadas que seguiram a publicação do livro de Ohm (OHM, 1827). Um deles, muito relevante, foi o trabalho do professor britânico Charles Wheatstone (WHEATSTONE, 1843, p.303-327) - *XIII. The Bakerian lecture. – An account of several new instruments and processes for determining the constants of a voltaic circuits*, fundado nos princípios estabelecidos por Ohm. Ele propôs um método para determinar a resistência de fios de metal e outros condutores de eletricidade por meio de um medidor diferencial de resistência (WHEATSTONE, 1843, p.323). O trabalho resultou no que atualmente convencionou-se chamar “ponte de Wheatstone”, permitindo medir resistências de baixo valor e sem a exigência de construções instrumentais muito peculiares, uma limitação à época.

A modelagem de arranjos com a descrição de associações entre resistores ou mesmo circuitos elétricos simples seguem, em geral, formatação diagramática cujo desenvolvimento linguístico está associado a vários símbolos. No caso da ponte de Wheatstone (Figura 21), por exemplo, inicialmente em seu trabalho não foi considerada a forma cuja convenção em livros didáticos admite um losango que subscreve o arranjo. O galvanômetro era conectado entre os terminais “a” e “b”, o componente variável e a resistência desconhecida nos terminais em aberto (cd; ef). O equilíbrio (corrente nula no galvanômetro) permitia obter expressão para calcular a resistência desconhecida. Compreende-se que a percepção visual era difícil, de modo que o autor propôs no trabalho outra figura semelhante a um quadrilátero, reconhecendo esta dificuldade interpretativa.

Figura 21 - Arranjo físico original do medidor de resistência diferencial de Wheatstone.



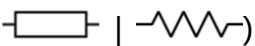
Fonte: Wheatstone (1843)

Nos primeiros trabalhos experimentais, os cientistas faziam uso de condutores metálicos na forma de cilindros ou barras em seus testes ou mesmo

fios de cobre fino. Os terminais de conexão, hoje abstratamente chamados de nós elétricos, eram feitos de material maleável, bom condutor de calor e de corrente elétrica. No arranjo do medidor diferencial, por exemplo, foram utilizados parafusos de latão (Figura 21) conectando os quatro condutores de cobre representados pelos segmentos Za , Zb , Ca e Cb . Os condutores Zb e Cb eram “interrompidos” (segmentados) gerando dois pares de terminais (“ c e d ”; “ e e f ”) onde eram dispostas: a resistência a ser medida e a resistência variável (WHEATSTONE, 1843, p. 323). O galvanômetro era conectado entre os terminais a e b . A fonte de tensão era conectada entre os terminais Z e C enquanto Za e Ca eram resistores fixos.

O que se pretende ressaltar é que a modelagem de um circuito, a formatação de um diagrama teve seu desenvolvimento linguístico associado a vários símbolos. Parte tem sua origem baseada em um formato ou aparência visualizada quando das atividades científicas empíricas. Outros, como é o caso anterior, ao serem utilizados em livros didáticos e técnico-científicos, levam em consideração normalmente a forma de um quadrilátero que induz a percepção dos resistores como que sobre segmentos de reta paralelos.

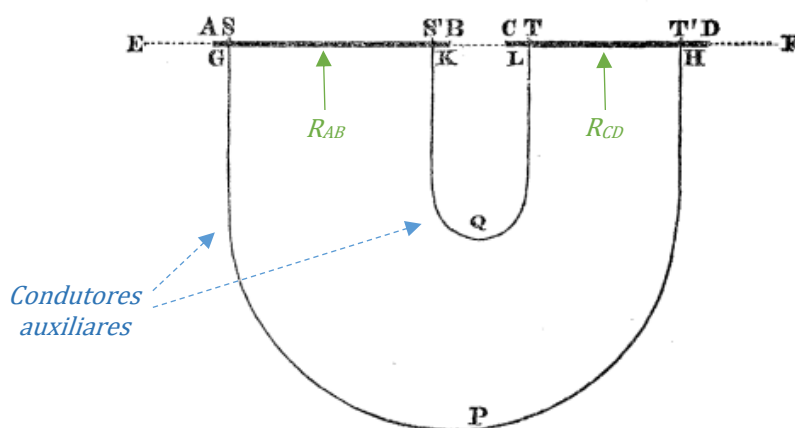
Outros dois trabalhos fundamentais do século XIX foram os artigos de Gustav Robert Kirchhoff (KIRCHHOFF, 1850; KIRCHHOFF, 1857). Neles, o autor generalizou a proposta de G. S. Ohm, tratando no primeiro artigo (“*On a deduction of Ohm's laws, in connexion with the theory of electro-statics*”) sobre circuitos com resistores diferentes. Não havia, contudo, terminologias como as sedimentados nos livros técnico-científicos e didáticos sobre associação de resistores. Todavia, tratou-se da soma algébrica nula das tensões ao longo de uma malha, introduzindo-se o termo “tensão série” àquela hoje vinculada ao circuito com resistores em série. Em consequência dos seus estudos foi possível obter analiticamente expressão para calcular a resistência equivalente de circuitos com mais de um resistor.

O uso simbólico do resistor como se conhece () se mostra mais tardio, apenas na transição entre os séculos XIX e XX. Assim, a representação icônica no século XIX mantinha certa fidelidade ao escopo

empírico. As ligações entre componentes eram dadas por parafusos ou pontos. Nos primeiros diagramas revelava-se a pré-disposição de representar características físicas e espaciais. Logo, há um indício de uma perspectiva morfológica na construção do conhecimento.

Um outro contemporâneo citado por G. Kirchhoff em seu segundo artigo, o qual se dedicava a estudos sobre eletricidade, foi William Thomson. Pouco menos de duas décadas depois dos trabalhos de Kirchhoff, Thomson apresentou na *Proceedings of the Royal Society of London* o artigo *On the Measurement of Electric Resistance* (THOMSON, 1861). Nele, em uma nota de rodapé ele reportou a existência, à época, de um falso uso do termo “paralelogramo de Wheatstone” (THOMSON, 1861, p.313) para o circuito da Figura 21. O autor ainda exemplificou na sua obra o que se convencionava, à época, da conexão tipo “arco” entre resistores (Figura 22).

Figura 22 - O conceito de conexão tipo “arco” entre componentes.



Fonte: Thomson (1861, p. 314, modificado)

O uso do termo “arco” para referir-se ao que hoje conhecemos como ligação em paralelo tão somente nos aponta para uma definição baseada no contexto da “aparência” do arranjo. AB e CD foram apresentados como os condutores/resistores que foram utilizados para o teste realizado pelo autor. GPH e KQL eram condutores auxiliares, os quais podemos interpretar como os fios que representavam os *nós elétricos* (termo não utilizado à época).

Percebe-se que, empiricamente, a ideia de nó elétrico representando a conexão entre dois ou mais componentes elétricos, poderia ocorrer através de um parafuso (remetendo a uma percepção do ponto – no trabalho de Wheatstone) ou por meio de fios na forma de arco (no trabalho de Thomson). Ainda, se alerta sobre a compreensão da materialização empírica visual dos conceitos. No próprio trabalho de Thomson e no surgimento de algumas patentes vieram outras perspectivas de como o conhecimento sobre Circuitos Elétricos se desenvolvera.

Cerca de duas décadas depois dos trabalhos de W. Thomson, as aplicações em sistemas de distribuição de corrente contínua ocorreram nos Estados Unidos. Na patente do sistema de distribuição elétrica de Thomas Alva Edison (1883), ao referir-se à conexão das cargas de iluminação no seu circuito, também há a referência ao uso do termo “múltiplos arcos”, desta vez para representar o formato visual dos cabos ao longo dos postes de distribuição:

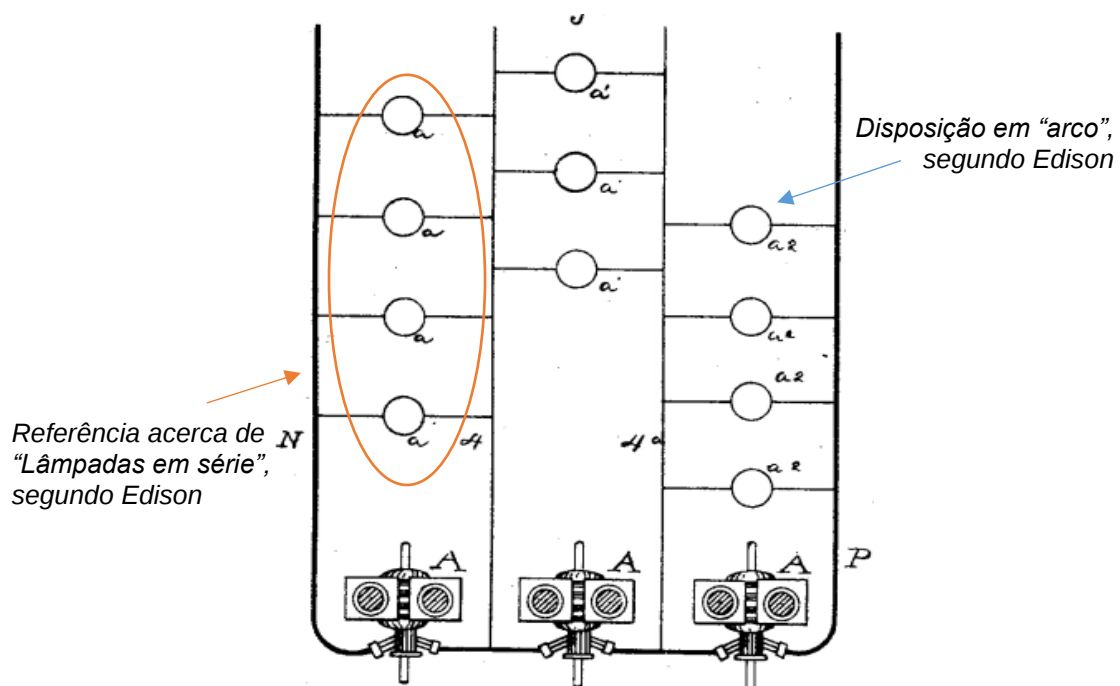
Em sistemas de múltiplos arcos para acendimento de lâmpadas incandescentes, nos quais circuitos completos ou circulares são usados, pode ser desejável empregar corrente elétrica de força eletromagnética excepcionalmente alta, economizando assim em metal e permitindo que os condutores sejam localizados acima ao invés de serem colocados sobre o solo em lugares onde o primeiro arranjo é mais conveniente (EDISON, 1883, p.1).

A ideia de malha ou circuito fechado era tratada como “circuito completo ou circular”. Percebe-se, nesta situação, que a aparência influenciara na escolha de termos utilizados na linguagem natural. No mesmo documento, no entanto, Edison também faz uso do termo “lâmpadas em série”, desta vez para referir-se a um conjunto de lâmpadas dispostas ao longo da sua proposta de sistema de distribuição. Esta não era a concepção de seriação tal como lidamos atualmente ou como foi sugerida por G. R. Kirchhoff, porém, remetia à ideia de “conjunto” de lâmpadas ao longo do sistema, uma sequência de lâmpadas no mesmo formato de ligação conectadas entre os condutores principais que estavam ligados à fonte e aos condutores auxiliares:

O que eu reivindico é (...): 3. Em um sistema de distribuição elétrica, a combinação, com dispositivos de conversão dispostos em série nos condutores principais (a *dispositivos de conversão entende-se condutores de retorno da corrente pela terra - condutores ao centro da Figura 23*), de uma fonte de energia elétrica dividida em tantas partes quanto houver lâmpadas em série e um condutor ou condutores compensadores conectados entre as divisões da fonte de energia e entre as lâmpadas em série, substancialmente conforme estabelecido (EDISON, 1883, p.3).

Na verdade, isto se caracterizaria, efetivamente, como uma ligação em paralelo (Figura 23), mas é importante sugerir a partir da patente que, nesta época, o uso do termo série não estaria totalmente sedimentado a partir da associação entre componentes elétricos percorridos pela mesma corrente, ou cujos terminais estariam conectados através de um nó elétrico, uma vez que a principal aplicação para uso comercial se estabelecia na iluminação. Se requeria, neste caso, uma conexão do tipo paralelo para garantir os requisitos de patamar de tensão aplicados a cada lâmpada do circuito. Isto permitiria que a potência dissipada por cada dispositivo de iluminação, seja por efeito Joule ou conversão em energia luminosa, se estabeleceria próximo do valor nominal.

Figura 23 - Ligações no sistema de distribuição de T. A. Edison.

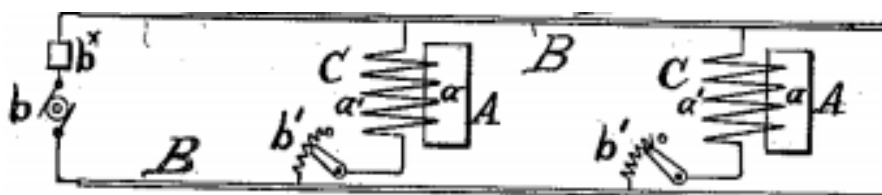


Fonte: Edison (1883, capa/folha 1, modificado)

Ainda sobre o trabalho de Edison (1983), observa-se que a referência à imagem dos condutores ao longo dos postes indicaria a interpretação de uma associação em paralelo, porém não era utilizado em relação às lâmpadas ao longo do sistema.

O termo “arco” também aparece em outras patentes, como é o caso da que descreve o método de refrigeração elétrica (DEWEY, 1889). Esta terminologia foi utilizada para referir-se a um tipo de conexão entre vários aparatos (Figura 24). Note que a disposição espacial verticalizada já começava a aparecer na patente de dispositivos tecnológicos desenvolvidos. Havia em curso o desenvolvimento de uma semelhança diagramática ao que prevalece em livros mais recentes.

Figura 24 - Disposição de aparatos de refrigeração em múltiplos arcos.



Fonte: Dewey (1889, capa/folha 1)

A avaliação em torno da construção do conhecimento ao longo do século XIX revela que os trabalhos cujo balizamento empírico se desdobraram em patentes tecnológicas utilizavam o termo “arco” com mais frequência para referir-se mais de maneira mais proeminente à ideia de ligação em paralelo. A noção de “arco” é uma referência à disposição espacial dos condutores principais conectados à fonte elétrica dos circuitos/sistemas e, por vezes, aos dispositivos entre eles. Entretanto, como é possível perceber nos desenhos, havia um terreno já sedimentado na simbologia gráfica em dispor os elementos em aparência que se assemelhava como uma superposição destes a segmentos de reta em paralelo. Percorrendo os trabalhos, embora atualmente o termo arco não tenha prevalecido, a historicidade epistemológica expõe a existência de um estatuto abstrato e empírico submetido diretamente a uma noção geométrica do termo “paralelo”.

O termo “múltiplos arcos” representaria vários ramos elétricos em paralelo. Supomos que trabalhos mais vinculados à academia poderiam já fazer uso do termo “paralelo”, porém não de maneira comum e tão disseminada. Na Europa, W. Thomson (1861), academicamente influenciado por Wheatstone, fez referência ao uso simultâneo dos termos para representar este modelo de associação:

Eu formei um plano que espero provar muitas vantagens para (medir) baixas resistências, e que consiste na combinação das normas, que são sempre necessárias, em arco múltiplo (ou arcos "paralelos", de acordo com uma expressão usada às vezes) (THOMSON, 1861, p. 321).

A percepção que os dois termos se encontravam sob uso na academia e no desenvolvimento de tecnologias também ocorre na patente do motor eletromagnético (DARLING; BOCK Jr., 1887), havendo em menor frequência a referência ao termo “paralelo”. Na década de 80 do século XIX, na Inglaterra, onde se efetivava o desenvolvimento de normas técnicas, os termos “série” e “paralelo” eram mais comuns (BAR, 1884):

[...] em cada um dos dois circuitos existem dez fios. Em um que se pretende uma corrente maior, estes fios estão em paralelo. No outro circuito, os dez fios estão em série (BRITISH ASSOCIATION REPORT, 1884, p.633).

Nos Estados Unidos, a percepção que os termos “arco” e “paralelo” se encontravam sob uso, porém de forma ainda não bem estabelecida, também ocorre na patente do motor eletromagnético (DARLING; BOCK Jr., 1887). Eles se referiam a “solenóides paralelos um em relação ao outro”, em desígnio ao formato físico espacial, mas adotavam o termo “arco múltiplo” ao se referir às bobinas de armadura e solenóides, ou seja, ao tipo de conexão dos componentes.

A partir do início do século XX, já é possível encontrar patentes que traziam mais frequentemente os termos “série” (POTTER, 1904) e “paralelo” (JEFFRIES, 1907) para referir-se a tipos de conexão elétrica, tal como livros editados já continham referência aos termos “série” e “paralelo” da maneira que se conhece hoje no contexto dos circuitos elétricos (KARAPETOFF, 1912).

Todavia, é sugestivo supor que a transição do conhecimento vocabular à aplicação diagramática estava fortemente impregnada pelo caráter morfológico das prospecções empíricas. O raciocínio posicional imediato não foi seguido de uma crítica reflexiva suficiente.

É interessante reportar que a ideia de “gastar” era usada para acenar sobre a divisão de tensão no contexto da associação série entre dois resistores: “(...) parte da tensão é gasta para superar a (resistência) do segundo resistor” (KARAPETOFF, 1912, p.7), concepção até então referenciada em estudos mais recentes. Há certa correspondência entre a necessidade de materializar nos sentidos dos sujeitos os conceitos e como estes saberes se desenvolvem na academia, em sala de aula. Dar corpo simbólico visual e material a conceitos abstratos da teoria, utilizar recorrentemente analogias, reflete-se até então na existência de concepções não científicas, as quais ainda integram a dedicação de muitos pesquisadores no século XXI em Física (ENGELHARDT; BEICHNER, 2004; GORIS, 2016; MOODLEY; GAIGHER, 2019).

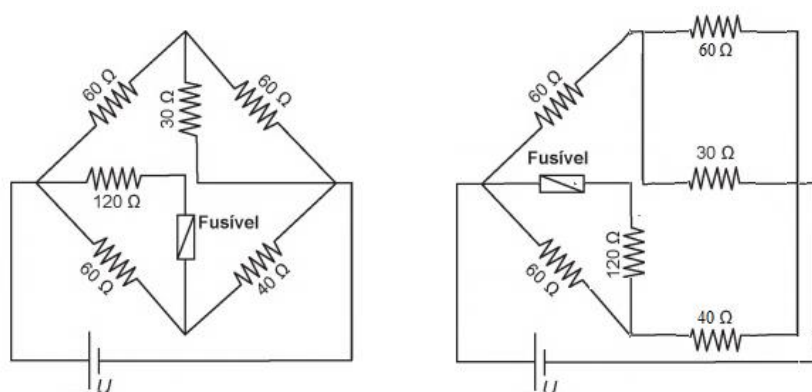
No cenário atual, o pensamento sobre aspectos geométricos na formação do significado pelo sujeito parece um ponto mais evidente de investigação uma vez que existe uma profusão estabelecida do termo “paralelo” sem referências à historicidade construtiva em torno dele, assim como um forte vínculo visual do termo série à noção de resistores alinhados, em sequência, dispostos sobre o mesmo segmento de reta. Esta relação entre vocabulário e diagrama precisa ser aprofundada quanto às dificuldades de aprendizagem.

Reconhecemos que existe vocabulário morfológico e signos visuais não científicos construídos pelo estudante, os quais podem influenciar os conceitos em Física, sendo iniciados nos estudos prévios no fim do Ensino Fundamental e que continuam no Ensino Médio e Superior. Assim, ao lidar com o termo em um novo significado nos estudos sobre Eletricidade no ensino médio ou em outra modalidade (técnico, bacharelado), o sujeito tem como referência intuitiva primeira o elemento vocabular precedente junto ao desenho associado a ele ou a vocábulos confusos decorrentes de uma superposição semântica, além dos saberes erguidos sobre geometria plana e espacial, o que influencia a concepção.

Em relação à ideia de seriação, McDermott e Shaffer (1992) apontam que há dificuldades na interpretação de situações nas quais existem mais de dois componentes conectados. Este número pode afetar a interpretação sobre a distribuição de tensão e a circulação de corrente elétrica, sobre a ideia de associação. Entretanto, é preciso concatenar também o efeito da disposição espacial dos resistores ao longo de uma malha como fonte para o surgimento de uma concepção não científica neste escopo, ou mesmo na ampliação do vocabulário visual de possibilidades.

Inserido no caráter morfológico saturado da construção de conhecimento, a relação angular dos ramos¹, rotações, simetrias, permutas posicionais são operações que podem adquirir caráter invariante, não alterando o significado do objeto devido à equivalência topológica (Figura 25). No primeiro contato, contudo, podem gerar turbidez visual, necessária para acarear noções intuitivas não científicas.

Figura 25 - Correspondência topológica: permuta e rearranjo posicional de ramos.



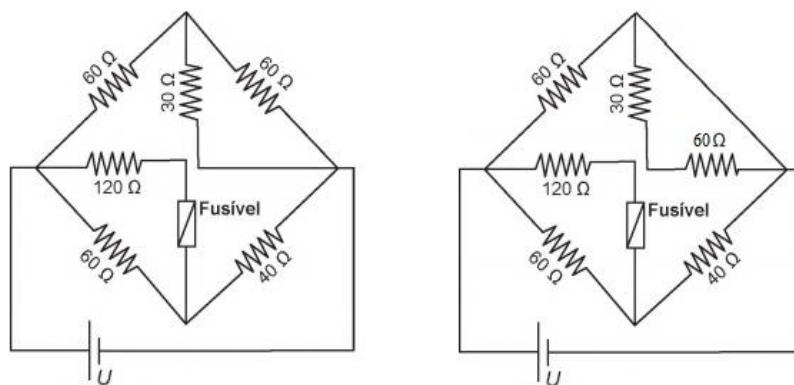
Fonte: ENEM (2017), modificado.

Existem inúmeros casos cuja aparência visual distinta não remonta significado elétrico diferente, operações que não inviabilizam a correspondência da topologia elétrica de diagramas. Em contraponto, podem ocorrer diagramas cuja exterioridade visual é semelhante, todavia que não exprimem a mesma topologia (Figura 26). Assim, mérito é colocado à interpretação topológica de

¹ Alexander e Sadiku (2013, p.32) apresentam a definição de ramo como *elemento único como fonte de tensão ou resistor*. De outra forma, podemos dizer que um ramo se estabelece entre dois nós.

redes elétricas, à construção de significado pelos livros e à abordagem pelo professor, em que pese influxo a concepções de natureza geométrica mobilizadas pelos sujeitos em aprendizagem.

Figura 26 - Diferenciação topológica: rearranjo da posição de resistor.



Fonte: ENEM (2017), modificado.

O signo, neste cenário, aparentemente traz diversos objetos passíveis de incorporação pelo sujeito durante sua interpretação. Negligenciar ou não ser orientado a entender definições como “nó elétrico” e “malha”, pode fazer com que os estudantes talvez não observem as relações elétricas entre os elementos de um circuito, demonstrando-se concepções superficiais associadas a objetos espaciais ou a termos que reforçam este aspecto não intencionalmente.

Sadiku, Alexander e Musa (2014) ressaltam, neste cerne, que os elementos de um circuito podem ser conectados de diferentes modos, sendo necessário analisar sua topologia. Estes autores defendem em seu livro que a topologia elétrica de um circuito pode ser definida como “as propriedades relacionadas à disposição dos elementos do circuito e à configuração geométrica”. Nos contrapomos a esta colocação em virtude do caráter ambíguo, passível facilmente de desdobrar-se no aparecimento de um obstáculo à aprendizagem, preterindo conceitos intrínsecos. Note, por exemplo, que a ideia de paralelogramo de Wheatstone, múltiplos arcos e serialização, cuja historicidade foi apresentada, penetram um significado geométrico aos tipos de ligação, sobrepondo parcialmente o campo da Matemática a interpretantes em Física. Portanto, embora a topologia, em seu significado morfológico, possa apresentar

este sentido geométrico, a “topologia elétrica” deve ser interpretada de modo diferente, inserindo conceitos sobre a natureza da ligação elétrica entre componentes, das consequências do tipo de associação sobre grandezas basilares (corrente elétrica, tensão, potência) e auxiliares (nó, ramo, malha), vinculadas à organização dos componentes e ao comportamento das grandezas.

Assim, em um esquema ou diagrama, definimos que *a topologia elétrica representa a forma de conexão entre os diversos componentes que integram o circuito elétrico, uma vez interpretada a natureza das ligações (como eles estão eletricamente conectados) a partir dos nós ao longo de arranjo(s) ou malha(s), observado o comportamento da corrente elétrica e tensão nesses componentes*. Dificuldades geradas pelo entendimento morfológico são discutidas a seguir.

4.2 Sobre Concepções e Dificuldades na Compreensão de Conceitos

Revela-se uma linha tênue entre a forma e a Topologia Elétrica de um Circuito (TEC). Historicamente, a apreciação realizada na seção anterior constata tal elemento basilar. Quais seriam então os seus desdobramentos? O que não muda eletricamente quando alteramos elementos da forma? Interpretações geométricas estendidas irrestritamente do seio da Matemática para a Física poderiam provocar entendimentos equivocados pelos estudantes e, por sua vez, sobre suas inferências topológicas?

Uma vez que as concepções são construídas ativamente, a não interpretação sobre as ligações a partir de formas variadas de uma mesma topologia é um forte indício de que se comprovem afastamentos científicos durante o ensino e a aprendizagem conceitual. A Resistência Elétrica é uma *propriedade intrínseca de um material ou componente de resistir ao fluxo de carga elétrica no tempo quando submetido a uma diferença de potencial*. Essa oposição ao fluxo de carga ocorre principalmente devido a colisões e atritos entre os elétrons livres e outros elétrons, íons e átomos no caminho do movimento, converte a energia elétrica fornecida em calor que eleva a temperatura do componente elétrico e do meio circundante (BOYLESTAD, 2007). Sobre este conceito e acerca da associação entre resistores, podemos destacar uma síntese das dificuldades conceituais (Quadro 3) levantadas por pesquisas nas

últimas décadas (McDERMOTT; SHAFFER, 1992; DORNELES; ARAÚJO; VEIT, 2006; LABURÚ *et al.*, 2009; AZEVÊDO; GITIRANA, 2016; AZEVÊDO; GITIRANA, 2017a, AZEVÊDO; GITIRANA, 2017b).

Quadro 3 - Estruturação conceitual utilizada nas análises.

Conceitos	Difícil compreensão	Observação
Resistência Elétrica e associação entre resistores	Resistência equivalente	Conceito abstrato útil para simplificação, em que se apresenta dificuldade interpretativa para distinção à resistência individual.
	Nó Elétrico	Disposição espacial e representação física variada; Conexão, ligação, aporte experimental.
	Seriação	Conceitos falsos: vizinhança, alinhamento, continuidade.
	Paralelismo	Conceito falso: significado matemático de paralelismo.
	Diversificação simbólica	Arranjos representados de formas diversas no plano e espaço.
	Semiótica variada	Um único circuito é passível de distintos formatos semióticos, eletricamente equivalentes.
	Articulação entre registros	Cenários de heterogeneidade visual complexa.

Fonte: próprio autor.

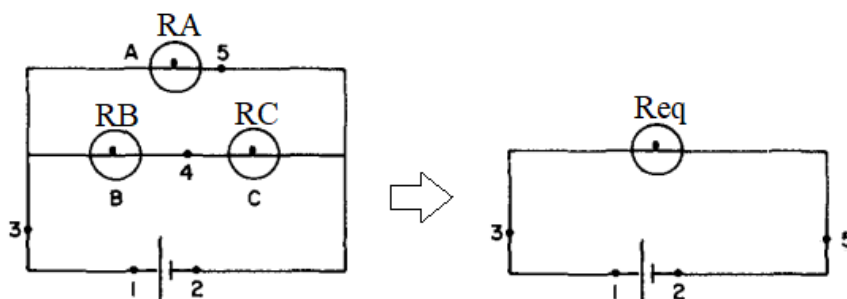
Desta maneira, procura-se detalhar um pouco as possibilidades de construção e reconstrução simbólica inerentes a alguns destes conceitos. A resistência elétrica é uma propriedade capaz de modelar alguns equipamentos ou componentes de circuito - denominados resistores - os quais dissipam energia ou, de outro modo, convertem energia elétrica em outras formas de energia (luminosa e calorífica, por exemplo).

A ideia em torno do conceito de Resistência Equivalente, por sua vez, é muito útil uma vez que se concatena à possibilidade de reduzir a complexidade dos circuitos elétricos agrupando vários resistores, lhes substituindo por um outro dito equivalente ou total. A partir de alguns terminais de um arranjo entre componentes ou de um circuito elétrico, este resistor equivalente seria capaz de representar o comportamento daqueles do circuito original.

Arons (1982), à época docente do departamento de Física da Universidade de Washington (EUA), reconheceu que a análise das concepções não científicas em cursos introdutórios sobre Física não era algo trivial. Ele observou o

desempenho de estudantes em problemas que tratavam de mudança de configuração (Figura 27).

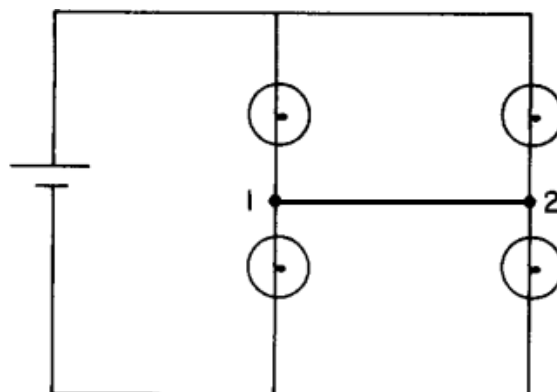
Figura 27 - Resistor equivalente em correspondência de circuitos com lâmpadas.



Fonte: Arons (1982), modificado.

Com exercícios contendo circuitos simples, Arons (1982) notou que o desempenho dos alunos foi muito inferior à média de acerto inerente a atividades tradicionais de aplicação das Leis de Kirchhoff, esta com maior número de fontes e resistores, as quais envidavam um raciocínio prioritariamente algébrico. De outro modo, ressalta-se que o raciocínio qualitativo para resolução de situações do tipo “o que acontece se...” é mais complexo do que o raciocínio operativo de caráter algébrico “resolva/calcule de acordo com...”. O autor também percebeu dificuldades na interpretação da ponte de Wheatstone quando exposta em uma morfologia não explorada convencionalmente nos livros (Figura 28), apesar dos alunos terem ouvido previamente sobre a configuração.

Figura 28 - Arranjo “pavimentando” o caminho à ponte de Wheatstone.



Fonte: Arons (1982), modificado.

O episódio, segundo o autor, reforçaria a necessidade de repetições de atividades de natureza qualitativa. Isto ressalta que, cognitivamente ao estudante, as atividades qualitativas fariam muito mais ao pensamento sobre a Física do que parte dos exercícios usualmente explorados nos livros-texto. Em retomada à ideia de concepção, existem estruturas mentais contraditórias do ponto de vista de um observador que podem não ser devidamente exploradas caso o cerne algébrico, o raciocínio prioritariamente algorítmico e as dificuldades conceituais não sejam postos à prova em análises qualitativas em reconhecimento à necessidade de equilíbrio dinâmico.

Aproveitamos para aportar na segunda hipótese, em que *concepções diferentes daquelas aceitas cientificamente surgem quando não se mobilizam no estudante discussões sobre as particularidades conceituais teórico-empíricas*. Quanto aos elementos teóricos, já expusemos especificidades conceituais, o contexto linguístico e simbólico. Vamos, a partir deste ponto, expandi-los.

O aluno novato no tema, no início do ensino médio, por exemplo, antes do contato com a teoria de Circuitos Elétricos, é influenciado apenas pelo que traz de sua construção cognitiva, pelos estudos de ciência do ensino fundamental e pelos saberes correlatos do seu cotidiano. Aos que estão no início do curso superior, adicionamos a construção advinda dos estudos realizados no ensino médio, observando a Física de uma maneira mais ampla, com suas integrações e fronteiras. De outra forma, podemos dizer que há uma tentativa de assimilar o novo saber com informações ou conceitos pré-existentes, assim como aqueles estudados concomitantemente em outras disciplinas. Um elemento chave para entender os circuitos, é a criação e a interpretação dos diagramas (Marshall, 2008). Sobre esta compreensão, suposição é levantada por McDermott e Shaffer (1992):

[...] a maioria dos alunos em um curso introdutório de física não desenvolve o tipo de compreensão funcional que lhes permite aplicar os conceitos elétricos básicos. Aparentemente, essas dificuldades não foram abordadas com sucesso pela apresentação padrão do material na aula tradicional e no formato laboratorial (McDERMOTT; SHAFFER, 1992, p.1002).

Como verificado na construção histórica ao longo da primeira seção do capítulo, as concepções não científicas podem se manifestar pela linguagem

utilizada bem como por associação a algo presente em suas experiências prévias, decorrente de elementos trazidos de outros estudos. Na aprendizagem, isto é um problema quando observamos o estudante, porém também é um desafio no ensino. Quando limitamos o horizonte qualitativo dos problemas e surgem afastamentos conceituais, ou quando eles são reforçados a partir dos exemplos dos materiais, o surgimento de novos cenários pode expor disparidades e a aprendizagem falhar. Muitas vezes o docente pode confundir concepções não científicas com erros ou displicência do aluno na construção de uma resolução. Esta distância conceitual foi percebida por Vieira *et al.* (1986) em estudo sobre a ideia de conservação de corrente elétrica:

[...] a estrutura cognitiva intuitiva dos alunos frequentemente é incompatível com os conceitos científicos formais introduzidos em sala de aula e, portanto, exerce fundamental influência no processo de aprendizagem (VIEIRA *et al.*, 1986, p.12).

Estas concepções, quando aparecem nos estudos sobre circuitos, podem levar ao comprometimento na solução de diversas situações (algébricas, interpretativas, de montagem). Pitterson e Streveler (2006, p.2) indicam que, à medida que o nível de complexidade de um circuito elétrico aumenta, os alunos parecem não ter os quadros conceituais de referência necessários. Na compreensão dos autores, o distanciamento conceitual surge com facilidade quando o escopo de situações novas apresentadas em sala de aula diverge de um formato padrão de exercícios utilizados na escolarização.

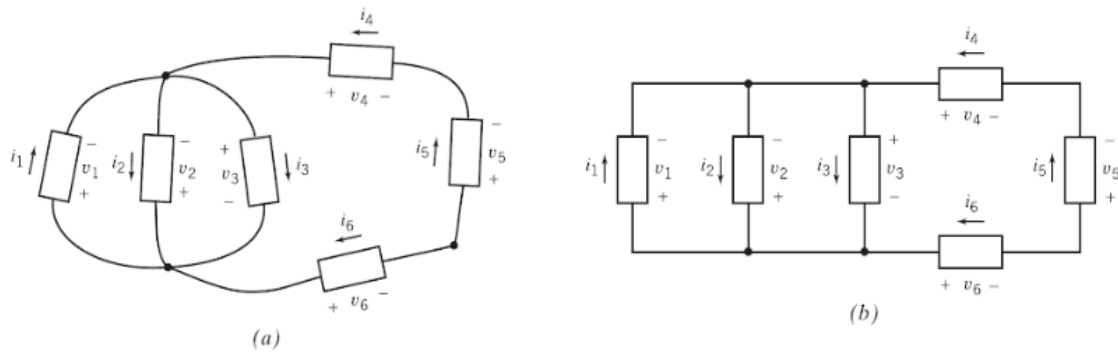
As concepções também podem originar-se do processo didático:

Vários trabalhos têm sido publicados salientando a importância destas concepções no ensino e na aprendizagem, tendo em vista que algumas são compartilhadas por um grande número de alunos, são resistentes à instrução, e em alguns casos surgem como decorrência da instrução (GRAVINA; BUCHWEITZ, 1994, p. 110).

De maneira complementar, o significado que pode ser dado a uma imagem representativa de um arranjo entre resistores ou a um circuito completo é passível de variação consoante à relação posicional dos componentes. É evidente que existem escolhas didáticas sobre como representar uma associação, porém também coexistem decisões de caráter técnico, as quais definirão como dispor um

resistor em um equipamento (elétricas, físicas, de segurança, dimensional). Com isso, devemos avaliar “o que não muda quando muda!”. Um circuito elétrico ou a associação entre componentes pode ser representada visualmente de diversas maneiras. Observemos a Figura 29.

Figura 29 - Variações no desenho formal para representar um mesmo circuito.



Fonte: Dorf e Svoboda (2008, p.52).

O nó elétrico pode ser representado por um ponto, uniões de segmentos de reta ou um traçado curvilíneo. A malha pode estar disposta sobre o que se assemelha a um conjunto de segmentos de reta na vertical e na horizontal (quando nos referimos ao plano do desenho). Note que, apesar destas possibilidades de mudança, o nó continua o mesmo em número e tipo nos dois diagramas da Figura 29 (quatro nós elétricos, sendo dois essenciais). A equivalência também ocorre com as malhas dependentes e independentes. No plano experimental, um nó elétrico pode ser um cabo que conecta dois terminais ou uma solda elétrica. A malha pode ser caracterizada por formatos amplos, a depender da estrutura de que se pretenda embarcar um dispositivo, limitações de tamanho, pré-disposições espaciais de componentes.

Neste panorama, descrevemos como algumas variáveis de influência ao ensino-aprendizagem destas concepções não científicas: a linguagem e cultura dos sujeitos, o material didático e as experiências do professor. De modo complementar, como já mencionado no primeiro capítulo da Tese, as concepções não científicas podem relacionar-se à tentativa de generalização, pelo estudante, de partes de estudos anteriores ou concomitantes. Adiciona-se que elas também podem ser incorporadas a partir de materiais disponibilizados

aos estudantes (livros, apostilas, guias de laboratório), manuais de programas de simulação e guias de laboratório.

O discente poderia ser induzido a uma certa concepção em virtude da *homogeneidade do conjunto de representações* exploradas pelo docente, inibindo a percepção dinâmica necessária à concepção, resultante também pela inabilidade de reconhecer um diagrama e interpretá-lo ou por optar por aspectos visualmente unívocos, pouco heterogêneos. Neste sentido, um dos caminhos para investigação refere-se aos elementos que podem ser explorados na construção de situações-problema.

É oportuno indicar que *“a mudança conceitual pode ser encorajada quando se proveem oportunidades aos estudantes para que construam um qualitativo entendimento do fenômeno antes de haver o domínio dos seus princípios quantitativos”* (LABURÚ *et al.*, 2009, pp. 27-28). Em um diagrama de circuito, por exemplo, associações com diferentes disposições e formas (aparência geométrica) podem representar o mesmo objeto ou, de outro modo, o mesmo conjunto de conexões e significado elétrico. Mas o que influenciaria a interpretação sobre um caso? A partir do exame epistemológico histórico e dos elementos iniciais sobre a forma e o desenho, vamos partir da possibilidade de que existem alguns influenciadores potenciais: assimetrias locais, globais, a disposição angular dos elementos, a forma de entendimento do nó elétrico e o vocabulário estruturado historicamente ao longo da construção científica. De modo complementar colocamos a necessidade das ideias de representação e visualização.

4.3 Reflexões sobre Obstáculos e a Formação Conceitual

O uso de signos na modelagem de um conhecimento, o ato de ver um experimento em funcionamento ou o processo de construção de uma montagem digital ou analógica impõem ao sujeito perceber o saber científico através da visualização de variáveis, de componentes ou mesmo daquilo que compõe sua representação simbólica. Observe que a noção de representar e de visualizar se mostram essenciais neste contexto. Em relação à análise da compreensão matemática para fomentar condições de aprendizagem, Duval (1999) expõe que:

A representação se refere a uma ampla gama de atividades de significado: crenças firmes e holísticas sobre algo, várias maneiras de evocar e denotar objetos, como a informação é codificada. Do contrário, a visualização parece enfatizar imagens e intuição empírica de objetos e ações físicas. (DUVAL, 1999, p. 3).

Do contexto da Educação Profissional Tecnológica ou de ambientes cuja dotação tecnológica expõe intrinsecamente uma robusta experimentação dos fenômenos, a aprendizagem em Circuitos Elétricos é alicerçada pela representação e pela visualização. A primeira, ao passo de uma necessidade holística, a qual possa superar o olhar fragmentado do conhecimento, interage com os objetos reais e a visualização de fenômenos e medições de grandezas. Aqui chamamos atenção para o cuidado em relação às múltiplas representações do conhecimento sobre associação entre resistores e sobre as ligações entre componentes elétricos, às relações particulares do abstrato e do concreto e na interpretação do sujeito quando lida com ambas. Outros aspectos desta primeira apreciação são detalhados no próximo capítulo. Antes, é preciso entender a representação e a visualização no âmbito da topologia e das concepções.

Representações simbólicas diferentes para um mesmo circuito ou montagens diferentes que trazem o significado correspondente a um objeto podem produzir reações diferentes junto aos que tentem interpretá-lo. Isto, não apenas em virtude da formação pessoal, mas também pelas especificidades do diagrama, da maneira como os componentes estão dispostos. Partindo então da avaliação morfológica do circuito elétrico e de sua topologia, as configurações podem apresentar maior ou menor nível de complexidade. E isto nos predispõe a avaliar: o que pode tornar mais difícil interpretar corretamente a topologia elétrica de um arranjo ou circuito?

Através da observação histórica e bibliográfica apresentada até agora nota-se que o materialismo visual é passível de conduzir a concepções científicas inapropriadas por diversas razões, em que destacamos duas sob o ponto de vista do aprendiz: (i) não conseguir agrupar elementos interpretativos suficientes para caracterizar uma representação; (ii) utilizar argumentos de interpretação não generalizáveis durante a aprendizagem. Nisto, é evidente que

a primeira experiência na análise de circuitos existe na relação entre o vocabulário e o concreto da aparência (mobilizado visualmente, por meio de uma representação ou através de palavras em um enunciado, manual ou guia experimental). Nessa direção, nem sempre o sujeito é colocado, em sala de aula, a externar o que entende sobre certo conceito admitindo o seu contexto de aprendizagem, sobretudo para além de suas pré-noções. Logo, a predisposição a avaliações conceituais admitindo este relacionamento é essencial.

Aspectos vinculados à imagem e ao vocabulário estão na entrada da compreensão do professor sobre as concepções não científicas apresentadas pelos estudantes, ou melhor, na interação de cada estudante com certa situação. Até em condições de prática experimental, a transição para o abstrato não é imediata. Logo, a ideia de que a morfologia não interfere sobre a interpretação do objeto real, sobre as ligações e componentes, é falsa aparentemente. Como ocorre essa influência é algo que se busca aprofundamento. *A priori*, é possível sugerir que a linguagem escrita, falada e a imagem no contexto dos circuitos podem se caracterizar como obstáculos. Assim, dois elementos ressaltados são:

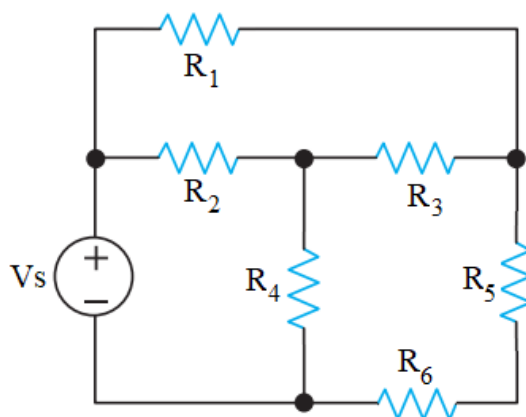
- A linguagem escrita/falada em torno dos termos/vocábulos;
- A topologia do circuito (interpretações espacial e elétrica).

Os aportes apresentados, os quais relacionam a compreensão dos aspectos topológicos e do vocabulário, expuseram destaque sobre a prospecção conjunta de que a Linguagem (escrita, simbólica) utilizada no âmbito da teoria de circuitos poderia se estabelecer como um obstáculo para a aprendizagem. Na obra “*La formation de l’esprit scientifique*”, concebida décadas após os avanços efervescentes das pesquisas em Eletricidade na Itália, França, Alemanha e na América do Norte, Bachelard (1934) chamou atenção para o delineamento dos fenômenos, em que ressaltava, do ponto de vista epistemológico, a tríade **imagem** → **geometria** → **abstração**. Na Física Contemporânea, propriedades espaciais enfrentariam vínculos mais profundos, para além do imediatismo das representações geométricas:

Essa tarefa de geometrização que muitas vezes pareceu realizada — seja após o sucesso do cartesianismo, seja após o sucesso da mecânica newtoniana, seja com a óptica de Fresnel — acaba sempre por revelar-se insuficiente. Mais cedo ou mais tarde, na maioria dos domínios, é forçoso constatar que essa primeira representação geométrica, fundada num realismo ingênuo das propriedades espaciais, implica ligações mais ocultas, leis topológicas menos nitidamente solidárias com as relações métricas imediatamente aparentes, em resumo, vínculos essenciais mais profundos do que os que se costuma encontrar na representação geométrica. [...] O papel da matemática na física contemporânea supera pois, de modo singular, a simples descrição geométrica. [...] Com efeito, ao examinar a evolução do espírito científico, logo se percebe um movimento que vai do geométrico mais ou menos visual para a abstração completa (BACHELARD, 1934, pp. 7-8).

A falta de percepção provocada pelo imediatismo na análise da conexão entre componentes mantém em segundo plano a organização de conhecimento necessária à aprendizagem, omitindo a compreensão de regras e conceitos próprios da topologia elétrica, as quais, neste obstáculo da apropriação da imagem, a tornam “*menos nitidamente solidárias*” ao entendimento. Vejamos, por exemplo, acerca de duas falsas concepções: primeiro, a de que a disposição espacial de componentes elétricos em paralelo admite uma disposição espacial homônima entre os resistores. A outra, de que a ideia de seriação presume uma interpretação de linearidade na disposição espacial. Estas concepções podem ser visões em forma de protótipo-base no aluno novato, sendo um conhecimento que produz resposta correta em contexto limitado, resistindo a contradições. Ambas não adquirem validade no circuito elétrico da Figura 30.

Figura 30 - Circuito para análise de interpretantes não generalizáveis.



Fonte: próprio autor.

Em virtude da construção do conhecimento, é possível supor que alguns erros estariam presentes na interpretação do circuito da Figura 30: (i) a de que os resistores R_1 & R_2 ou R_3 & R_6 ou R_4 & R_5 estariam em paralelo; (ii) que os elementos R_2 & R_3 se encontrariam em série. Embora haja destaque à representação do nó elétrico em alguns locais do circuito através de um ponto ($\bullet$), ele na verdade também existe entre os resistores R_5 e R_6 (estes conectados em série, apesar da disposição espacial em formato $\perp$). Há de se notar também outros dois tipos de ligações no arranjo: Y (R_2 , R_3 & R_4 ; R_1 , R_3 & R_5) e Δ (R_1 , R_2 & R_3 ou R_3 , R_4 & R_{eq56}), sendo $R_{eq56} = R_5 + R_6$. Isto é apenas parte do espectro interpretativo inicial, em que salientamos o olhar sobre a disposição espacial dos componentes, concepções alternativas de natureza posicional e a necessidade de compreensão minuciosa sobre as ligações, além da representação do nó elétrico como conceito subliminar cuja representação assume certa variedade ($\bullet$; $\bullet$; $\bullet$; $\bullet$; $\perp$). Em vários livros didáticos, há uma exploração visual enfática apenas dos nós essenciais, o que poderia influenciar o raciocínio sobre o tipo de associação em jogo.

G. Bachelard defende que a formação do espírito científico perpassaria três estados: *concreto*; *concreto-abstrato* e *abstrato* (BACHELARD, 1934, p.11). No tema em tela, frequentemente as concepções apresentadas por estudantes no estudo de Circuitos Elétricos refletem uma experiência comum que contradiz a experiência científica. A noção de *obstáculo epistemológico* é então colocada por Bachelard (1934) no desenvolvimento histórico do pensamento científico e na prática da educação, o que se percebeu, aqui, em relação à construção histórica das ideias de “série” e “paralelo” e na apropriação didática pelos livros e docentes. Bachelard (1996, p. 17) coloca que, no âmago do próprio ato de conhecer, aparecem por uma espécie de imperativo funcional, lentsidões e conflitos e cujas causas são denominadas *obstáculos epistemológicos*.

No contexto dos Circuitos Elétricos, as imagens e palavras podem distrair, tornar-se entretenimento na análise de um fenômeno, havendo valorização apenas das formas, aspectos restritos vinculados ao concretismo interpretativo. A repetição homogênea de situações de aprendizagem com um contexto específico de exploração de diagramas e a noção incrustada de uma

palavra com várias significações encontram uma valorização indevida que, ao tentar dar clareza a um conceito, geram uma concepção não científica. O tratamento concreto ou abstrato em um perfil exclusivo de um fenômeno limita a interpretação do objeto, inibindo uma ampliação da capacidade de abstração e de modelagem conceitual, de apontamento das hipóteses gerais de um caso.

Urge então, na formação do espírito científico, o enfrentamento a eventuais raciocínios cujo desenvolvimento seja um hábito intelectual de aplicação restrita, um caráter pré-especulativo. Lidar com representações e com o vocabulário é mais complexo do que se aparenta, refutando a ideia de que tudo não passaria de “erro” durante a resolução de parcela significativa dos problemas.

O contraditório na formação científica deve subsidiar a estruturação de novos argumentos pelos sujeitos, o julgamento de particularidades das suas concepções primitivas, a avaliação de restrições. A assimetria é um elemento de desafio interpretativo, assim como o posicionamento de elementos de modo seja possível prover malhas e nós em estilos não convencionais. Esta diversificação é potencial para explorar em qualidade o conjunto de representações de um caso e as dificuldades dos sujeitos ao enfrentá-las, sua fundação conceitual.

Na realidade, tal perspectiva deveria balizar o ato de criação de cenários pelo docente, retificando e diversificando, refutando obstáculos no conjunto homogêneo de problemas que, ingenuamente, é visto como sedimentador dos conceitos aprendidos. Este caminho tem efeito de tornar a aprendizagem mais rica e significativa. Evidência coexiste na construção teórica de capítulos de livros, apostilas, materiais *on line*: tendência de exploração homogênea de conceitos a partir da sua imagem, valorizando palavras de relação “natural”.

Na formação conceitual da área, há evidente presença do figurativo, das analogias e comparações. Estes constituintes são capazes de provocar um sentido demasiadamente homogêneo, tornando inapta a exploração das várias faces dos aspectos conceituais daquilo que se aprende. Obstáculos emergem quando não se promove, nas teorias e conceitos sob aprendizagem, o favorecimento a condições dinâmicas, intrínseca à estruturação da concepção científica. Definições subjacentes são prioritárias.

São frequentes os impasses na transição do concreto para o abstrato. Em materiais didáticos é aparentemente escassa a diversificação qualitativa de casos, o aprofundamento conceitual revelado por meio de situações-problema que colocam em desafio as concepções intuitivas inerentes ao primeiro contato. Este ponto é colocado sob o viés da necessidade de incongruências, assimetrias, as quais levariam a inquietações não apenas do ponto de vista da tipologia dos problemas e sim da diversidade conceitual. Lacunas em relação à ausência de polimorfismos das possibilidades de ligações ou junto à associação a termos já presentes no vocabulário e atribuídos a outros signos podem levar a obstáculos epistemológicos. A partir disso:

O conhecimento adquirido pelo esforço científico pode declinar. A pergunta abstrata e franca se desgasta: a resposta concreta fica. A partir daí a atividade espiritual se inverte e se bloqueia. Um obstáculo epistemológico se incrusta no conhecimento não questionado (BACHELARD, 1934, p. 18).

Além do conflito do vocabulário, temos destacado como premente a dinamicidade e variedade de formas de um circuito. Estas formas, no entanto, podem apenas formar uma opinião do sujeito sobre o que ele acha que sabe. Através do domínio da diversidade representativa, expondo a gama simbólica (teórica ou empírica) possível, que o conceito científico aparece, que o aluno aprende e amplia sua capacidade analítica e a sistematização do conhecimento.

A competência de transitar do concreto para o abstrato é fundamental, no entanto, o vocabulário e os diversos signos são, por vezes, confundidos em uma percepção imediata, associados a signos que ele já conhece, porém que são atribuídos a um outro objeto. Quando esta percepção é observada através de uma imagem, mesmo que não se trate da referida topologia elétrica, o sujeito pode falsamente determinar que se trata de uma associação deste ou daquele tipo. Aparentemente, isto não tem sido explorado em alinhamento com necessidades escolares e profissionais, podendo, no último caso, desdobrar-se em riscos para a segurança. Tal fato instiga a análise conceitual/empírica de situações-problema ligadas ao tema, uma vez que obstáculos surgem no ato de conhecer e de fazer.

Os elementos da aparência geométrica são muito fortes na análise de esquemas de ligação em circuitos. Todavia, no estudante há uma construção prévia, havendo apropriação de ideias provenientes de outras áreas, ainda no ensino fundamental. A construção científica não se inicia com a aula de circuitos no ensino médio. Há um contexto prévio que deve ser considerado pelo docente, seja pelo que o aluno já dispõe de informação de outras áreas seja pelo que ele associa como novo, mas que é influenciado pelo que já sabe. Deve haver inquietude em relação ao “erro” ou a uma concepção não científica sobre um fenômeno. Isto é uma fonte de crítica por G. Bachelard no intuito de fazer declinar os obstáculos:

Acho surpreendente que os professores de ciências, mais do que os outros se possível fosse, não compreendam que alguém não compreenda. [...] Os professores de ciências imaginam que o espírito começa como uma aula, que é sempre possível reconstruir uma cultura falha pela repetição da lição, que se pode fazer entender uma demonstração repetindo-a ponto por ponto. Não levam em conta que o adolescente entra na aula de Física com conhecimentos empíricos já constituídos: não se trata, portanto, de adquirir uma cultura experimental, mas sim de mudar de cultura experimental, de derrubar os obstáculos já sedimentados pela vida cotidiana (BACHELARD, 1996, p. 23).

A “*repetição da lição*” pode ser verificada e compreendida através da homogeneidade entre as seções teórica e de exercícios propostos em grande parcela dos livros. O excesso de similaridade visual leva a observações elementares, resoluções por comparação direta, as quais são passíveis de fazer a aprendizagem convergir ao óbvio, ratificando que a primeira experiência, fonte de obstáculos, seria capaz de fornecer uma verdade generalizada.

A imagética tem sido um direcionador de sentidos no estudo de Circuitos Elétricos. Bachelard (1996), por exemplo, ressalta que as imagens são obstáculos ao desenvolvimento científico, em que proliferam convicções do primeiro contato:

(...) no ensino elementar, as experiências muito marcantes, cheias de imagens, são falsos centros de interesse. É indispensável que o professor passe continuamente da mesa de experiências para a lousa, a fim de extrair o mais depressa possível o abstrato do concreto. Quando voltar à experiência, estará mais preparado para distinguir os aspectos orgânicos do fenômeno (BACHELARD, 1996, p.50).

No exemplo que foi apresentado no circuito da Figura 30, por exemplo, o artifício do **deslizamento** do resistor R_1 ao longo do ramo foi um elemento potencial para apontar paralelismo dele com o resistor R_2 a partir de um falso elemento de interpretação visual. Sugere-se, assim, que a diversificação de situações pode conduzir a que o sujeito perceba contradições em relação ao que julgava como correto a partir de ferramentas/situações de análise, verificando ainda se é influenciado por este aspecto e sua capacidade de generalização.

Transitar da contextualização e dos elementos pictóricos para um conjunto simbólico-conceitual pode ativar elementos abstratos, talvez separando-lhes dos falsos centros de interesse, dos aspectos que prejudicam a interpretação. Alçar deste último conjunto para o plano empírico exprime um processo de confrontação e de novas experiências, expandindo a capacidade de refletir sobre cenários e conceitos, evoluindo a partir daqueles meramente especulativos.

Está explícito que a referência da Topologia Elétrica é mais importante que o concretismo intuitivo do vocabulário e das relações espaciais entre componentes, em que talvez seja possível um obstáculo à aprendizagem face a característica epistemológica do conhecimento. A linguagem natural e simbólica como corpus que envolve vocabulário e imagética pode gerar imobilidade porque seduz e induz a permanência de falsas generalizações pelo estudante. G. Bachelard menciona *“um perigoso prazer intelectual na generalização apressada e fácil”* (BACHELARD, 1996, p.69).

Conceitos devem, assim, ser explorados para situar as concepções do sujeito, fazendo com que as regras de formação exponham os devidos conflitos com as concepções não científicas e formatem as pontes do concreto para o abstrato. Na dimensão escolar, esta demanda pelo confronto a dificuldades como racionalidade para o progresso deve ser considerada. Como recurso da estrutura didática, na próxima seção avaliam-se elementos dos documentos balizadores.

4.4 Sobre Competências Almejadas nos Documentos Oficiais

Para além dos conhecimentos primitivos sobre Eletricidade, Circuitos Elétricos é um campo fundamental na hierarquia de tópicos de várias carreiras:

Professor (Física, Ciências), Técnico (Eletrotécnica, Eletroeletrônica, Mecatrônica, Eletrônica), Engenheiro (Eletrotécnico, Controle e Automação, Energias Renováveis, Telecomunicações). Em âmbitos profissionais tão vastos, o contexto tem base comum e integradora para outras áreas.

O domínio dos circuitos perpassa pela capacidade do sujeito de lidar com as diferentes formas nas quais as informações aparecem, saber empregar símbolos e termos, expressar resultados experimentais, descrever fenômenos de maneira estruturada ou em síntese. Isto nos remete certa urgência em relação ao diagnóstico de situações e soluções ao ensino com vias ao desenvolvimento de algumas competências.

É inerente à concepção, por exemplo, que o campo revela um rico arsenal representativo. Esta complexidade como parte da Física é reconhecida como importante pelos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM):

Em seu processo de construção, a Física desenvolveu uma linguagem própria para seus esquemas de representação, composta de símbolos e códigos específicos. Reconhecer a existência mesma de tal linguagem e fazer uso dela constitui-se competência necessária, que se refere à representação e comunicação (MEC, 1999, p.26).

Urge o entendimento sobre Circuitos Elétricos, pois permeia a formação de jovens em um mundo com açadas transformações tecnológicas, o que transmite, de certo modo, a uma contínua apuração sobre a evolução produtiva, tecnológica e sociocultural e os saberes da Física. Das Orientações Educacionais Complementares (PCN+) um redimensionamento sobre o ensino:

O ensino de Física vem deixando de se concentrar na simples memorização de fórmulas ou repetição automatizada de procedimentos, em situações artificiais ou extremamente abstratas, ganhando consciência de que é preciso lhe dar um significado, explicitando seu sentido já no momento do aprendizado, na própria escola média (MEC, 2002, p.57).

O PCN+ indica encaminhamentos e competências esperadas ao fim da escolarização básica. A Linguagem tem papel notório sobre as competências. A simbologia, os processos de codificação/decodificação são intrínsecos em casos

envolvendo os circuitos elétricos e, a partir da exposição inicial, reforçam o olhar pormenorizado sobre o campo. O contexto algébrico é, também, frequente em relação às leis da Física envolvidas, seja no auxílio à modelagem, nas previsões e em comparações quantitativas de certa grandeza. De modo complementar, o caráter empírico e instrumental não pode ser posto em segundo plano, de forma que revela correlações com a prática profissional e com a evolução do conhecimento. Em consequência, isto aproxima os sujeitos com os meios tecnológicos, com sua dinâmica de funcionamento, limites e desenvolvimento.

Em evidência, o PCN+ apresenta aspectos ligados à representação e comunicação, investigação e compreensão, bem como elementos socioculturais esperados ao fim da escolaridade básica, em que são salientados alguns relacionados à área proposta (Quadro 4).

No caso da Educação em Engenharia, a nova proposta de diretrizes aprovada para cursos no Brasil (OLIVEIRA *et al.*, 2019) sugere a possibilidade de uma ocorrência concomitante do currículo com competências adicionado ao desenvolvimento de habilidades e atitudes a partir de conhecimentos específicos. Seria convergente, neste sentido, prever e elaborar projetos disciplinares ou de curso admitindo a inserção mais contundente de questões profissionais conectadas aos quadros teórico-conceituais.

Quadro 4 – Algumas competências esperadas em Física.

Aspecto	Competência(s)
Representação e Comunicação	✓ Reconhecer e saber utilizar corretamente símbolos, códigos e nomenclaturas de grandezas da Física. ✓ Ler e interpretar corretamente tabelas, gráficos, esquemas e diagramas apresentados em textos. ✓ Compreender que tabelas, gráficos e expressões matemáticas podem ser diferentes formas de representação de uma mesma relação, com potencialidades e limitações próprias, para ser capaz de escolher e fazer uso da linguagem mais apropriada em cada situação, além de poder traduzir entre si os significados dessas várias linguagens. ✓ Ler e interpretar informações apresentadas em diferentes linguagens e representações (técnicas). ✓ Elaborar relatórios analíticos, apresentando e discutindo dados e resultados, seja de experimentos ou de avaliações críticas de situações, fazendo uso, sempre que necessário, da linguagem física apropriada.
Investigação e Compreensão	✓ Frente a uma situação ou problema concreto, reconhecer a natureza dos fenômenos envolvidos, situando-os dentro do conjunto de fenômenos da Física e identificar as grandezas relevantes, em cada caso. ✓ Reconhecer a relação entre diferentes grandezas, ou relações de causa-efeito, para ser capaz de estabelecer previsões. ✓ Reconhecer a conservação de determinadas grandezas, como massa, carga elétrica, corrente etc., utilizando essa noção de conservação na análise de situações dadas. ✓ Fazer uso de formas e instrumentos de medida apropriados para estabelecer comparações quantitativas. ✓ Fazer estimativas de ordens de grandeza para poder fazer previsões. ✓ Elaborar modelos simplificados de determinadas situações, a partir dos quais seja possível levantar hipóteses e fazer previsões. ✓ Na utilização de um conceito ou unidade de grandeza, reconhecer ao mesmo tempo sua generalidade e o seu significado específico em cada ciência. ✓ Compreender a construção do conhecimento físico como um processo histórico.
Sociocultural	✓ Reconhecer o papel da Física no sistema produtivo, compreendendo a evolução dos meios tecnológicos e sua relação dinâmica com a evolução do conhecimento científico. ✓ Dimensionar a capacidade crescente do homem propiciada pela tecnologia.

Fonte: MEC (2002, pp.63-68)

A inquietude em relação às dificuldades de formação conceitual se junta à verificação de que, na escolarização, competências são requeridas ao discente:

- elaborar previsão sobre o funcionamento de equipamento/circuito;
- avaliar e realizar reparos;
- utilizar modelos e construir protótipos;
- prever resultados de intervenção experimental;

- identificar possibilidades e limitações de tecnologias;
- comunicar através de relatórios;
- interpretar folhas de dados (*datasheet*) de fabricantes;
- compreender tecnologias contemporâneas para a especificação de componentes e construção de circuitos;
- desenvolver habilidade sobre o uso de instrumentos elétricos;
- entender e utilizar tecnologias de informação e comunicação, *softwares* educativos, profissionais e suas aplicações.

Assim, a construção conceitual não deve ser restrita a um único contexto simbólico, a fim de que explore os objetivos curriculares de formação almejados. O parecer de 08/2018 do Conselho Nacional de Educação (CNE), através da Câmara de Ensino Superior (CES), delineou orientações durante a formulação das Novas Diretrizes Curriculares para Cursos de Graduação em Engenharia no Brasil. A identificação de obstáculos e sua superação deve ser estimulada:

(...) considerando que os saberes são empregados para projetar soluções, para tomar decisões e, também, para desenvolver processos de melhoria contínua, as competências são desenvolvidas em graus de profundidade e complexidade crescentes ao longo do percurso formativo, de modo que os alunos não apenas acumulem conhecimentos, mas busquem, integrem, criem e produzam a partir de sua evolução no curso. Assim, a formação do perfil do egresso deve ser planejada e vista como um processo que exige o acompanhamento e a avaliação contínua, por meio de metodologias de avaliação que auxiliem na identificação de obstáculos e estratégias para superá-los (CNE/MEC, 2018, p.5).

A fim de imergir no debate sobre Circuitos Elétricos com esta visão articulada do desenvolvimento de competências, da identificação e superação de obstáculos, do acompanhamento e avaliação da aprendizagem, se expõe uma teoria formada por uma estrutura robusta, envolvendo modelos, vocabulário e signos particulares, além de técnicas matemáticas e elementos instrumentais. O vocabulário e o arcabouço imagético integram a historicidade dos conceitos e transparecem como parte constituinte indelével. A interação da linguagem natural com a visual é complexa, unindo por vezes concreto e abstrato. Disto, no próprio ato de se apropriar do saber, o conhecimento constituído pode revelar um obstáculo à aprendizagem. Tal aspecto se acentua em sala de aula em virtude de

que os materiais podem reforçar concepções não científicas de contexto anterior, possibilidades não generalizáveis relacionadas a hipóteses de natureza restrita.

Em síntese, nos encontramos em um contexto educacional cujas diretrizes apontam para o enfrentamento a um problema que talvez exponha obstáculos didáticos de natureza epistemológica, com substancial aparato instrumental profissional e didático, além de demandas acerca de habilidades e competências específicas. A partir disso, com o intuito de fomentar um caráter exploratório de dificuldades, é debatido no capítulo seguinte o cerne de aspectos teórico-experimentais envolvidos nos Circuitos Elétricos admitindo o contexto da Teoria dos Registros de Representação Semiótica para entender transições e balizar a construção de situações-problema.

5 REGISTROS E DOMÍNIOS TECNOLÓGICOS

5.1 O Caminho à Teoria dos Registros de Representação

A aprendizagem sobre Circuitos Elétricos envolve um conjunto variado de atividades cognitivas em face da diversidade de formas para representar um objeto no campo: a linguagem natural, símbolos algébricos, desenhos, notações, representações figurais, gráficos, formas de onda, programas para simulação, equipamentos para montagem, sendo as últimas existindo como um estatuto de comunicação paralelo à primeira (linguagem natural).

Há um conjunto de simbolismos e de recursos próprios da teoria. Da construção científica à materialização instrumental sobre ligações, modelagem dos circuitos, aplicação de leis e teoremas, recai uma dimensão cuja linguagem possui, ao mesmo tempo, uma variada representação simbólica com agentes incorporados entre si. Uma representação depende e se integra à(s) outra(s) e, no ato de correspondência e análise particular delas, o sujeito aprende.

A Teoria dos Registros de Representação Semiótica (TRRS) proposta por Raymond Duval (DUVAL, 1993), elaborada no contexto da Matemática, possui contribuições para a compreensão cognitiva da construção do pensamento do indivíduo, da aquisição e operação de conhecimentos. As representações são necessárias, principalmente, porque nem sempre os objetos estão diretamente acessíveis a uma percepção imediata (DUVAL, 1993, p.2). Os sistemas semióticos são aqueles com um conjunto de signos os quais servem para comunicar, tratar uma informação. Por sua vez, as representações semióticas têm a função de representação de um objeto, caracterizando-se como produções provenientes da utilização de signos com regras de significado e funcionamento.

A aplicação da TRRS na compreensão do ensino e aprendizagem sobre Circuitos Elétricos, além dos argumentos iniciais da seção, é revelada, neste contexto, pela variedade de situações técnico-científicas e profissionais da área – seja no Bacharelado, na Licenciatura ou na escolarização técnica – em que, ao sujeito aprendiz, é premente o domínio de várias formas de representação.

R. Duval explicita que a noção básica de representação seria a de **algo que pode representar alguma coisa**. Disto, discorre que representações podem ser crenças, concepções ou equívocos aos quais se obtém acesso através das produções verbais ou esquemáticas dos indivíduos (DUVAL, 2006, p.104). Isto nos aproxima do contexto admitido na Física, uma vez que estas concepções podem, quando produzidas como resultado de situações-problema, de experimentos, da apropriação teórica, expor entendimentos conceituais do estudante ou, em outras palavras, sua crença sobre o objeto, suas concepções.

As representações semióticas são capazes de permitir não apenas a comunicação das representações mentais, sendo também ferramentas para a produção de novos conhecimentos. As produções a partir das representações semióticas, por sua vez, são ricas no contexto em tela, envidadas por arsenal verbal e figural diversificado:

(...) as representações mentais recobrem o conjunto de imagens e, mais globalmente, as conceitualizações que um indivíduo pode ter sobre um objeto, sobre uma situação e sobre o que lhe é associado. As representações semióticas são produções constituídas pelo emprego de signos pertencentes a um sistema de representações que tem inconvenientes próprios de significação e de funcionamento (DUVAL; MORETTI, 2012, p.269).

Observe, por exemplo, que, ao avaliar um problema, o estudante na educação técnica ou na engenharia muitas vezes não detém de “objetos físicos reais”, apenas de palavras em um enunciado. Em outros casos, entretanto, ele possui recursos (placas, lâmpadas, fios, fontes, simuladores), os quais podem dar suporte para representar um objeto (um circuito com fonte e dois resistores em série, por exemplo), porém podem conter operações internas. Inconvenientes de significação são suscetíveis quanto às concepções elaboradas no uso de uma ou outra representação em um registro isolado ou através de um experimento.

No sentido exposto, o trabalho de Duval (2009) atenta para o funcionamento cognitivo e a utilização dos vários sistemas semióticos, em que no ensino da matemática:

[...] a passagem de um sistema de representação a outro ou a mobilização simultânea de vários sistemas de representação no decorrer de um mesmo percurso, fenômenos tão familiares e tão frequentes, não têm nada de evidente e de espontâneo para a maior parte dos alunos e dos estudantes. Estes, frequentemente, não reconhecem o mesmo objeto através das representações que lhe podem ser dadas nos sistemas semióticos diferentes (DUVAL, 2009, p. 18).

No processo de ensino-aprendizagem é assíduo verificar a explicação de um certo objeto em um ou outro registro semiótico. A produção ou apreensão de uma representação semiótica é denominada *semiose*, enquanto a apreensão conceitual do objeto é dita *noesis*, sendo a segunda inseparável da primeira (DUVAL; MORETTI, 2012, p.270).

Uma classificação dos registros que podem ser mobilizados nos processos (Quadro 5) é apresentada por DUVAL (2006). A partir desta categorização é possível identificar problemas e, principalmente, analisar a atividade matemática, segundo o autor.

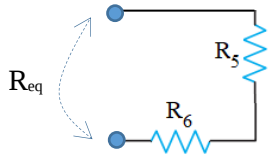
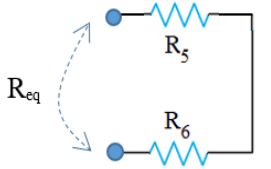
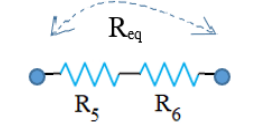
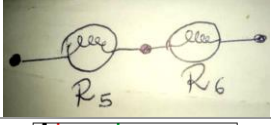
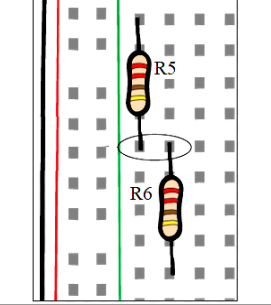
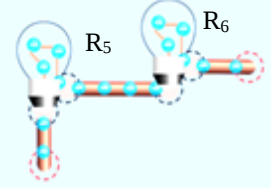
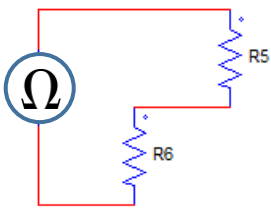
Quadro 5 – Classificação dos registros (modificado).

	DISCURSIVOS (Nomes, declaração de relações ou propriedades, inferência)	NÃO DISCURSIVOS (Figurais)
MULTIFUNCIONAIS <i>Processos não são realizados através de algoritmos</i>	LINGUAGEM NATURAL (explicações orais; escrita – conceito, teorema)	ICÔNICO (desenho, esboço, figura padrão) NÃO ICÔNICO (figuras geométricas construídas com ferramentas)
MONOFUNCIONAIS <i>Maioria dos processos são algorítmicos</i>	SIMBÓLICOS (impossível de dizer oralmente, a não ser por ortografia – cálculo, equação, demonstração)	GRÁFICOS (Combinação de formas orientadas por setas ou não – diagramas, gráficos)

Fonte: DUVAL (2006, p.110).

Disto, a associação com as construções cognitivas para lidar com vários sistemas no ensino sobre Circuitos Elétricos parece factível, de modo a entender e, talvez, fortalecer a construção conceitual. No Quadro 6, em exemplo, são apresentadas representações semióticas para a associação em série.

Quadro 6 – Exemplos de registros de representação para a associação série.

Exemplo	Representação semiótica	Classificação do Registro	Tipologia
Seja a associação série entre os resistores R_5 e R_6	Oral / Linguagem Natural	Linguagem Natural	Linguagem Natural
$R_{eq} = R_5 + R_6$	Equação / Algébrica	Simbólico	Escritura Algébrica
	Figura Padrão	Ícônico	Ícônica Formal
	Figura Padrão	Ícônico	Ícônica Formal
	Figura Padrão	Ícônico	Ícônica Formal
	Esboço	Ícônico	Ícônica Pictórica (não formal)
	Desenho/Fotografia	Ícônico	Ícônica Empírica
	Desenho/Fotografia	Ícônico	Ícônica Empírica
	Desenho/Fotografia	Ícônico	Ícônica Empírica

Fonte: próprio autor.

Note que, em particular na análise de circuitos, o esquema simbólico representado por um diagrama ou imagem não é único na comunicação de uma unidade de informação. Tão pouco seriam suficientes, sozinhos, simbolismos empíricos (uma imagem de um programa de computador, a imagem de uma montagem) ou representações pictóricas não formais. Em conformidade, também a correspondência entre vários registros frequentemente não tem um valor absoluto a ser apontado, refletindo-se, porém, em uma percepção conceitual como, por exemplo, uma transformação figural. Isto difere, por exemplo, da possibilidade de indicação do conjunto de valores possíveis para um parâmetro em uma função de segundo grau, o qual poderia caracterizar a concavidade de uma parábola no plano gráfico, intervalos em que cresce ou decrece.

Individualmente, um registro não seria capaz de representar um conceito. Ele é obtido nos processos de apropriação dos diversos modos de representação. Assim, as questões de aprendizagem sobre as ligações entre componentes e o domínio dos diversos sistemas de representação e das transformações dos subconjuntos estão no centro das reflexões sobre os circuitos elétricos. A linguagem escrita ou comunicada verbalmente, os símbolos, as figuras, os componentes físicos e a escritura algébrica, por exemplo, permitem atividades cognitivas por meio de representações.

O fato do indivíduo não reconhecer o mesmo objeto quando representado de formas diferentes resulta do fenômeno de não-congruência, ou seja, quando não se verifica pelo menos um destes três critérios: (i) correspondência semântica entre as unidades significantes que a constituem; (ii) mesma ordem possível de apreensão destas unidades nas duas representações; (iii) conversão da representação de partida em uma só unidade significativa na representação de chegada (DUVAL, 2009).

Assim, a inexistência de algum destes critérios faz com que não haja mais a passagem imediata de uma representação para outra ou, de outro modo, deixa de ser algo “intuitivo”. Na aprendizagem, por exemplo, quando um mesmo circuito é desenhado de modos diferentes no registro icônico formal (Figura 31)

o sujeito precisa decifrar elementos significantes. Embora haja uma mesma ordem possível de apreensão representada das unidades, a heterogeneidade visual provoca inquietude no estudante em relação a suas concepções. No exemplo em tela, a fonte elétrica está á conectada entre os nós B e C. Dois resistores (R_1 e R_2) estão conectados entre os nós A e B, caracterizando uma ligação em paralelo. Um outro resistor (R_3) está ligado entre os nós A e C. O resistor R_4 está em curto-circuito (seus terminais estão ligados a um único nó).

Figura 31 - Um único circuito desenhado de maneiras diferentes.

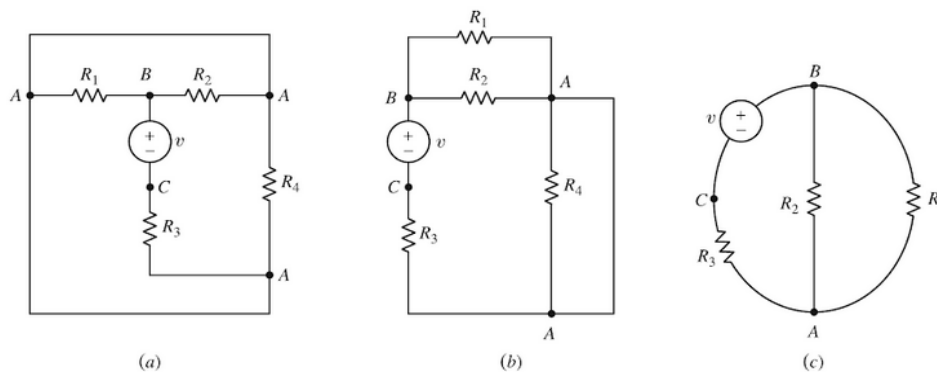


Figura 2-9

Fonte: Nahvi e Edminister (2014).

O objeto, neste caso, um circuito elétrico com associação mista entre resistores, mesmo representado em um registro icônico formal, é passível de polimorfismos. Estabelecer uma relação biunívoca entre as figuras, entre nós, componentes, ramos ou malhas, é provavelmente muito particular de cada sujeito, influenciada pela aprendizagem e conceitos prévios, sua forma de interpretação e uso. Alinhado aos objetivos da Tese, analisar tipos de operações sobre a *reconfiguração das figuras* é uma tarefa importante ao estudante para apreensão conceitual. Não há alteração do significado com a *mudança na apresentação visual dos nós elétricos e ramos*, contudo, pode haver confronto com o conjunto de atributos ou unidades basilares que o indivíduo em aprendizagem acredita acerca do conceito que lhe foi internalizado.

Embora raro, alguns autores dos livros técnicos e profissionais utilizados em Engenharia chamam atenção apenas para a morfologia do circuito. Não encontramos debates mais detalhados sobre correspondências e operações

típicas. Não foram observadas discussões desta natureza nos livros didáticos analisados.

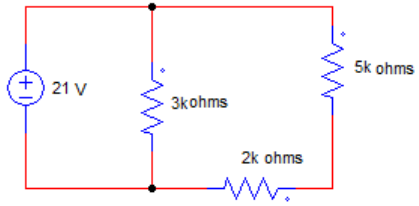
5.2 TRRS - Atividades Fundamentais

Segundo Duval (1993, p.41), para que um sistema semiótico possa ser um registro de representação, três atividades associadas à semiose devem ser permitidas: **Formação, Tratamento e Conversão**. A **Formação** implica *seleção de relações* e dados no conteúdo a representar, surgindo na forma de *enunciado*, expressão de uma *fórmula*, *desenho*, dentre outros, respeitando regras que permitam caracterizar (reconhecer, identificar) o sistema de representação. Ela pode ser expressa pelo sujeito quando questionado sobre algum conceito, atribuindo-lhe na representação discursiva e/ou figural a externalização de atributos.

O **Tratamento** é a transformação da representação no interior do registro que foi formado. *Cálculo* junto a expressões, equações; *inferências* junto à linguagem natural, *reconfiguração* de figuras. Este processo é muito comum quando da exploração do conceito de resistência equivalente, na interpretação de ligações ao longo de um circuito, seja no desenvolvimento algébrico ou através de uma representação icônica - não discursiva. Para solucionar uma equação que relacione o cálculo da resistência equivalente com dois resistores em paralelo $R_1 = 30\Omega$ e $R_2 = 90\Omega$, a exemplo: $1/R_{eq} = 1/30 + 1/90$, havendo etapas seguintes " $1/R_{eq} = (3 + 1)/90$ ", " $R_{eq} = 90/4$ " e " $R_{eq} = 22,5 \Omega$ ".

A **Conversão** é a transformação da interpretação de um registro para outro, conservando totalidade ou parte do conteúdo inicial. A *ilustração*, segundo Duval, é a conversão de uma representação linguística em uma representação figural (DUVAL, 1993, p.43). Quando uma representação não verbal (figural) é convertida em linguística, nos referimos à *descrição*. No Quadro 7 é ilustrada a conversão de um registro de representação discursivo para outro não discursivo.

Quadro 7 – Conversão do Registro da Linguagem Natural para a Icônica Empírica.

Linguagem Natural	Registro Icônico
Seja uma associação de um resistor de $3k\Omega$ em paralelo com uma fonte de tensão de 21V. Esta primeira está em paralelo com uma outra associação que apresenta dois resistores de valor $2k\Omega$ e $5k\Omega$ conectados em série.	

Fonte: próprio autor.

A apreensão semiótica requer o uso de vários registros de representação no âmbito dos Circuitos Elétricos, transcorrendo no reconhecimento de atributos (formação, intrínseca do sujeito), os tratamentos (transformação interna) e a conversão (transformações entre registros distintos). É comum que as situações-problema tratadas no ensino tragam normalmente em seu enunciado dois registros (um discursivo e outro não discursivo), reforçando este contexto.

5.3 Bidirecionalidade e o Plano Experimental

Em relação à conversão ressaltamos um desdobramento para o ensino: as condicionantes interpretativas podem variar a depender do sentido no qual a mudança é efetuada. Conhecer o caminho de uma para a outra não significa automaticamente o domínio sobre a direção de transformação contrária.

Exemplificando, observar um diagrama (figura padrão através de registro icônico) descrevendo ligações entre os componentes, oferece concepções e exigências cognitivas diferentes daquelas quando o sujeito é solicitado produzir o diagrama elétrico, uma vez conhecida as características através da língua natural. As operações de descrição e ilustração podem oferecer requisitos cognitivos diferentes. Assim, observar o comportamento do estudante em ambos é fundamental pois poderia refletir dificuldades distintas na aprendizagem.

Em consonância, a apreensão conceitual é a base para que o indivíduo venha a tratar e converter adequadamente entre registros. Neste contexto, expomos um olhar de referencial em que o Tratamento e a Coordenação entre os diversos registros de representação são fundamentais para a apreensão conceitual e devem alvitrar olhar para a bidirecionalidade das relações.

Uma discussão particular, fundamental neste capítulo, se refere ao plano experimental. Nos referimos à representação icônica empírica, uma imagem associada a um recurso experimental. Uma avaliação complementar, essencial no processo empírico, na formação profissional, é o lidar, manipular estes recursos experimentais. Defende-se, neste caso, que a demanda de descrição tal como a “conversão” de um registro discursivo para a experimentação em laboratório físico ou em plataforma digital (“ilustração”), agrupa características distintas, na qual nos impede de classificar o plano dos recursos empíricos em si como um registro de representação. Não se trata de um sistema de signos, todavia, trata-se de considerar que os recursos experimentais evocam não apenas a comunicação linguística ou figural de algo, mas também as atividades de manipulação física/digital, podendo inclusive, no seu processo de apropriação interpretativa, de utilização, expor mais de um registro de representação. Além disso, eles expõem elementos de natureza computacional e/ou analógica. A este plano que se refere ao conjunto de objetos educacionais e profissionais de natureza experimental iremos associar o termo “Domínio Tecnológico” e, após a análise do papel da semiótica na formação dos conceitos e em algumas situações-problema, mais à frente no capítulo iremos expor detalhes.

5.4 Representação e Formação do Conceito

A formulação figural dos conceitos de associação série e em paralelo, as quais também se desdobram sobre a aprendizagem acerca da resistência equivalente, tem uma demarcação pré-conceitual forte nos livros (Figuras 32 e 33). Como reportado, epistemologicamente, os conceitos de “série” e “paralelo” estão muito vinculados, respectivamente, à ideia de sequencialidade e a traços associados ao significado previamente aprendido na Geometria. Note, a partir das Figuras 32 e 33, que a *ilustração*, isto é, a conversão da representação linguística série/paralelo em uma representação figural através de representação icônica formal pode reforçar um elemento de falsa generalização interpretativa, baseada na morfologia da disposição dos resistores no circuito.

Figura 32 - Representação da associação série e seu circuito equivalente.

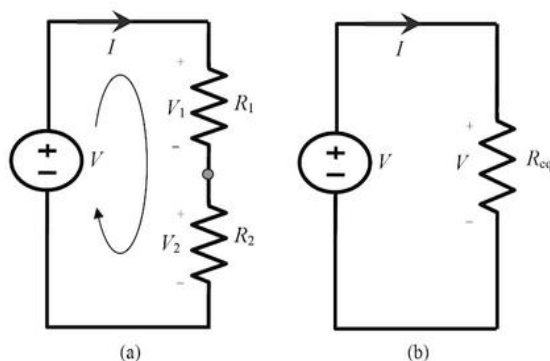


Figure 2.36 a) Circuit de résistances en série; b) circuit équivalent.

Fonte: Ouhrouche (2008, p.37).

Figura 33 - Representação da associação em paralelo e seu circuito equivalente.

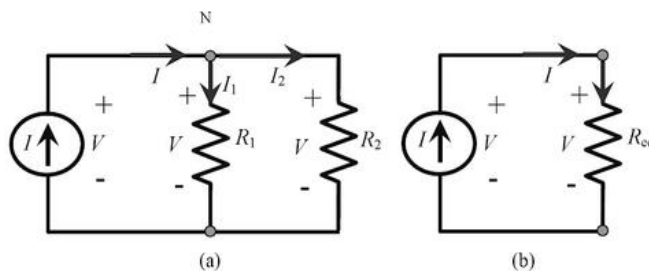


Figure 2.37 a) Circuit de résistances en parallèle; b) circuit équivalent.

Fonte: Ouhrouche (2008, p.39).

Embora seja comum desenhar os circuitos elétricos por meio de retas em disposições verticais e horizontais para representar nós, ramos e malhas, é importante reconhecer ou chamar atenção para a variedade de formas com que se pode conduzir a representação em um único registro. Sob o ponto de vista do estudante em processo de aprendizagem, como podemos informar que o aluno é capaz de coordenar de forma espontânea diversos registros de representação para um mesmo circuito? Se, intuitivamente, os tratamentos adotados residem de experiências adquiridas e concepções construídas ao longo da vida escolar e em outras disciplinas, será possível afirmar que, durante o processo de interpretação, a aparência do circuito elétrico não afeta a formação do significado ao sujeito?

Podemos indicar a admissibilidade de que elementos do vocabulário (discursivos) e imagens (não discursivos) aplicadas em Circuitos Elétricos tenham um papel importante na compreensão da teoria. As pesquisas apontam

indícios de que há relação entre as concepções desenvolvidas e a forma como o conteúdo é apresentado, sugerindo eventual vínculo das concepções com o conjunto de signos na área.

[...] muitos estudantes não podem decompor circuitos com quatro ou cinco resistências em conexões série e paralela, especialmente quando os circuitos são desenhados de maneira não convencional (McDERMOTT; SHAFFER, 1992, p.999).

A ideia de “não convencional” corrobora com a apresentação de modelos cuja representação não é tratada como recorrência visual em sala de aula ou em livros para definir um conceito, a qual resulta de reconfigurações figurais.

5.5 Análise de Invariantes

Nesta seção serão apresentadas discussões acerca de conceitos e elementos que podem ser observados em relação a características invariantes.

5.5.1 O Significado de Circuito Elétrico

Prospectando a formação dos conceitos e, em sintonia à necessidade da ideia de circuito elétrico, alguns autores de livros didáticos apresentam uma definição mais restrita e confusa. É o caso da obra “Física 3 – Eletricidade e Física Moderna” de Gualter *et al.* (2016):

O “caminho” total onde se pode estabelecer uma corrente elétrica é chamado circuito elétrico. A parte do circuito elétrico situada fora do gerador será chamada de circuito externo (GUALTER *et al.*, 2016, p.97).

Percebamos que a linguagem natural é um dos pontos de partida para a construção de um conceito, balizando a concepção dos sujeitos. É verosímil que os termos “caminho” e “circuito externo” expõem variações interpretativas. Na construção do conhecimento, o termo “anel” foi muito utilizado. Outros autores buscam uma visão mais integrada com elementos concretos, com outros constituintes descritivos, como é o caso de Gonçalves Filho e Toscano (2016):

Um circuito elétrico simples sempre apresenta uma fonte de energia elétrica (por exemplo, pilhas, bateria, uma tomada), um aparelho elétrico, fios ou placas de ligação e um interruptor para ligar e desligar o aparelho. Estando ligado, o circuito elétrico está fechado e uma corrente elétrica o percorre. Essa corrente pode produzir vários efeitos: luz, movimento, calor, etc. (GONÇALVES FILHO; TOSCANO, 2016, p.20).

Note que esta definição incorpora os termos *percurso*, *circuito fechado*, e descreve alguns componentes, além da variável corrente elétrica e a ideia de conversão da energia elétrica entre outros tipos de energia, elementos que, notadamente, requerem estudos anteriores, associação a conhecimentos culturais ou contexto introdutório.

Quanto aos livros moldados para cursos superiores, nota-se que boa parte admite, pelos sujeitos, saberes prévios mais estruturados sobre o tema (advindos do ensino médio), de modo que sintetizam as definições ou trazem novos elementos vocabulares. No capítulo introdutório do livro “Circuitos Elétricos”, obra que aparece com frequência nas ementas de disciplinas homônimas em cursos de Engenharia Elétrica e afins, Dorf e Svoboda (2008) propõem:

Circuito elétrico é um conjunto de componentes elétricos ligados entre si de modo a formar um percurso fechado através do qual possa circular uma corrente elétrica (DORF; SVOBODA, 2008, p.1).

Percebe-se que esta definição também traz consigo a ideia de *conjunto de componentes*, de *percurso fechado*, agora diretamente também incluindo um saber prévio sobre a circulação da corrente elétrica, diferente das obras do ensino médio, as quais o apresentam em paralelo ou antes de oferecer o devido suporte conceitual.

Em uma conceitualização formal mais robusta, os circuitos elétricos podem ser entendidos como formados por conjuntos de elementos ativos (geradores de energia), passivos (receptores ou armazenadores) e de chaveamento, compostos por fontes, fusíveis, fios, chaves, resistores, capacitores, indutores e/ou outros componentes. Eles são ligados por seus terminais formando nós elétricos. Nós essenciais possuem três ou mais componentes conectados a eles. O caminho formado por componentes conectados entre nós essenciais se refere a um ramo. Malhas elétricas são formadas por um conjunto de ramos em um caminho fechado. A presença de fontes elétricas permite a transferência de energia entre elementos ativos e passivos em um circuito fechado, entre fornecedores e armazenadores ou consumidores de energia. Quando não existem elementos para fornecer energia podemos dispor de um arranjo, o qual traduz as ligações (ou os circuitos abertos)

entre os componentes elétricos. Desta amplificação conceitual, outras são examinadas com expansão sobre nós e ramos e a representação dos circuitos.

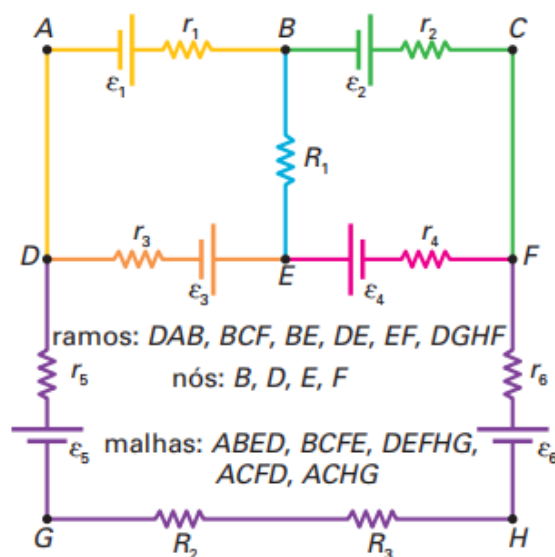
5.5.2 Nós e Ramos: O Que não Muda quando Muda?

O debate sobre o conceito de *nó elétrico* não está presente em parte relevante de livros voltados ao ensino médio. Quando evidente, autores recorrem a ele e ao conceito de malha (descrito como *percurso ou caminho fechado*) na definição de circuito elétrico ou em exclusivo na apresentação das Leis de Kirchhoff:

[...] os pontos em que as correntes elétricas dos diferentes ramos convergem ou divergem são chamados nós; cada percurso fechado percorrido por uma ou mais corrente(s) elétrica(s) é uma malha (GASPAR, 2013, p.130).

A partir da descrição anterior na linguagem natural e da representação figural do circuito que a orienta (Figura 34), denominado por Gaspar (2013) de “rede de circuitos elétricos”, há um estreitamento da definição do *nó elétrico* com a circulação de corrente elétrica. O uso dos termos “converge” e “diverge”, na proposta vocabular do autor, procura indicar um sentido formal da distribuição de corrente no circuito elétrico.

Figura 34 - Uma “rede de circuitos elétricos”.



Fonte: Gaspar (2013).

A referência descritiva de pontos (A, B, C, D, E, F, G, H) é elemento de crítica. Simultaneamente com a apresentação do circuito através de uma

representação icônica que remete a superposição visual de quadrados e retângulos, o autor valoriza objetos que podem ser apropriados pelo estudante como atributos fundamentais à compreensão do circuito, mas que, ao mesmo tempo, poderiam ser fonte de concepção não científica. Os pontos visualmente expostos não são, em número, iguais aos nós elétricos. A e D, por exemplo, tal qual C e F, referem-se, aos pares, a um mesmo nó elétrico (*o nó é representado, neste caso, por um segmento de reta*).

Na representação simbólica de cada fonte, há um nó elétrico entre ela e sua resistência interna, assim como entre R_2 e R_3 (sem destaque visual através de ponto, tal como escolhido pelo autor para os demais). O primeiro nó elétrico citado (A ou D) conecta um dos pólos da bateria ε_1 , o resistor r_3 e o resistor r_5 . O segundo (C ou F) indica a ligação entre os resistores r_2 , r_4 e r_5 . Da forma apresentada (a obra é voltada ao ensino médio), os nós representados são, na verdade, nós essenciais, conceito muito útil vinculado à solução algébrica via Método das Tensões de Nó, avaliação algébrica baseada na Lei de Kirchhoff para Correntes.

Equívoco também ocorre em relação às malhas, existindo três independentes (as três primeiras citadas na Figura 34) e pelo menos outras duas não citadas pelo autor: ABEFHGD, BCFHGDE. Os elementos pictóricos destacados podem compor, de maneira equivocada, o conjunto de características “armazenadas” pelo estudante, utilizadas na seleção de informações e dados interpretativos, na *Formação da representação*. Esta apropriação conceitual poderia levar a concepções não científicas, com alta valorização do teor morfológico das ligações e dos conceitos subliminares.

Defende-se que o conceito de *nó elétrico* deve estar vinculado à ideia de *conexão entre os componentes*. Isto independe do número de componentes conectados. Em relação à malha ou caminho fechado, e também à ideia de seriação, defende-se aproximação à definição proposta por Nilsson e Riedel (2014):

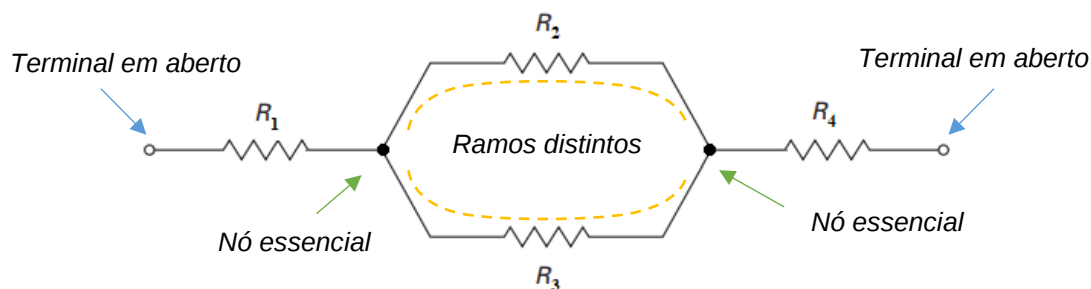
Circuitos são descritos por nós e caminhos fechados. Um nó é um ponto no qual dois ou mais elementos de circuito se unem. Quando apenas dois elementos se conectam para formar um nó, diz-se que estão em série. Um caminho fechado é um laço que passa por elementos conectados, começa e termina no mesmo nó e passa por cada nó intermediário apenas uma vez (NILSSON; RIEDEL, 2014, p.50).

A percepção da Linguagem Natural no contexto da definição conceitual destes autores é muito interessante. Como já discutido ao longo da Tese, alguns obstáculos didáticos são notoriamente passíveis de surgir pela forma de codificação escrita e, quando associada a ela, o contexto figural traz outros elementos de interpretação. De outro modo, a definição de conceitos em circuitos elétricos é colocada através de um conjunto de registros, monofuncionais e multifuncionais, discursivos e não discursivos. A concepção não científica surge em um ou outro registro de representação ou na relação entre eles quando da Formação conceitual do sujeito, algo que reforçaria as hipóteses iniciais.

Em desdobramento, é comum nos livros a exploração de exercícios para realização do cálculo da resistência equivalente, os quais têm como objetivo avaliar a aprendizagem do estudante sobre a associação entre resistores (obtenção do registro simbólico algébrico). Este tipo de situação envia a necessidade de interpretar ligações, escrever equações e resolvê-las, seja a partir de uma descrição na Língua Natural, no registro Simbólico ou na decodificação de um registro icônico.

No capítulo anterior já se havia apontado uma primeira operação de reconfiguração da informação gráfica que não necessariamente altera o significado elétrico das relações: o *deslizamento* de um componente elétrico ao longo de trecho de um ramo em um diagrama elétrico. De modo semelhante, é possível caracterizar a natureza das ligações (seriação, paralelismo, Δ , Y) a partir da definição (construída através dos vários registros), a fim de determinar outros invariantes, tendo como consequência a percepção sobre a equivalência entre representações no mesmo registro ou em registros distintos. A avaliação prévia da disposição dos nós elétricos, ramos e malhas (Figura 35) é, neste sentido, crucial. Em geral, nota-se escassez do debate sobre como o entendimento dos conceitos podem interferir ou não na interpretação da situação.

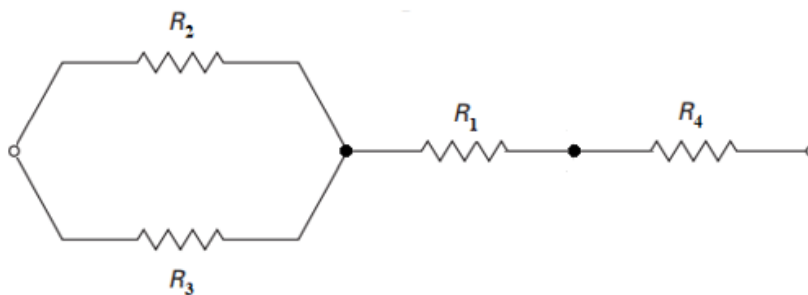
Figura 35 - Exemplo de arranjo entre resistores para estudo de equivalência.



Fonte: Próprio autor.

Trazemos então parte da definição de Nilsson e Riedel (2014), em que afirmam que “quando apenas dois elementos se conectam para formar um nó, diz-se que estão em série”. No caso do arranjo anterior, ao conectar uma fonte entre os terminais em aberto, R_1 e R_4 passariam a ser percorridos pela mesma corrente elétrica e, embora não estejam diretamente conectados, há a possibilidade de *permuta posicional* no ramo – resultado de um tratamento na representação (Figura 36). Com esta mudança no diagrama, no registro de representação envidado pela imagem, a resistência equivalente vista dos terminais em aberto não muda.

Figura 36 - Permuta posicional como função de tratamento da representação.



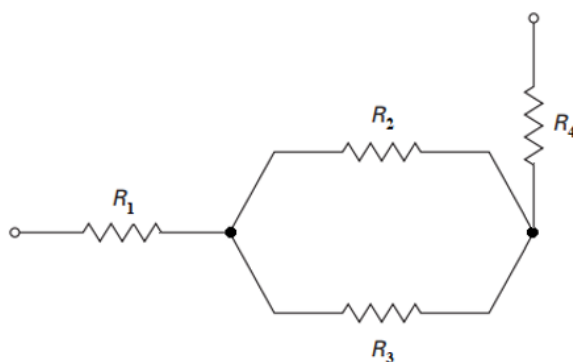
Fonte: Próprio autor.

Selecionando relações e dados da representação icônica para o arranjo resistivo da Figura 36, através da *descrição*: nota-se que os resistores R_2 e R_3 se encontram em paralelo e, esta associação primeira se estabelece em série com os resistores R_1 e R_4 . Em sala de aula e também nos livros é comum a representação da descrição algébrica por meio de “ $R_{eq} = R_1 + (R_2 // R_3) + R_4$ ”. Na obra de Meireles (2007, p.49), por exemplo, o uso da simbologia $R_x // R_z$ indicaria a

associação em paralelo entre dois resistores R_x e R_z . Esta expressão não seria um reforço ao raciocínio intuitivo voltado a um falso centro de interesse (//)?

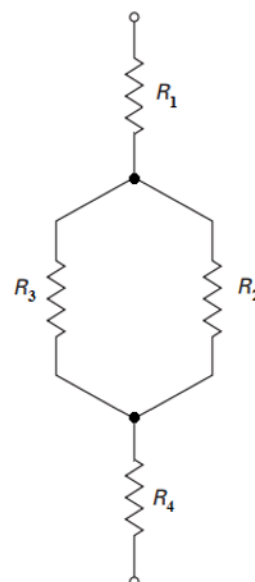
O diagrama, de fato, é o primeiro aporte visual, de modo que, talvez o imediatismo da imagem seria capaz de influenciar o processo de abstração conceitual. Além disso, outras operações de tratamento podem ser classificadas como invariantes do ponto de vista da dinâmica do desenho: *rotação parcial* (Figura 37) ou *total* (Figura 38) sem modificação conceitual das ligações.

Figura 37 - Rotação parcial de um dos ramos do circuito da Figura 35.



Fonte: Próprio autor.

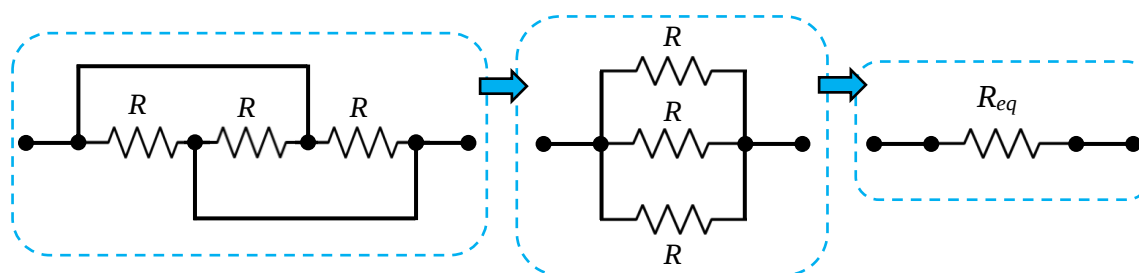
Figura 38 - Rotação total do circuito da Figura 35.



Fonte: Próprio autor.

Logo, a forma gráfica escolhida para representar o nó elétrico ou ramo desdobra-se em polimorfismos na representação icônica das associações série, paralelo, ou de outras mais complexas com Δ e Y (ou π). Nisto, o tratamento como atividade enfatizada na TRRS provavelmente pode revelar a complexidade cognitiva de algumas operações como, por exemplo, mediante análise da capacidade de identificação de atributos e da produção de reconfigurações por uso do registro icônico formal (Figura 39).

Figura 39 - Uma Operação de tratamento via sistema simbólico convencional.



Fonte: próprio autor.

Na Figura 39 houve apenas um reposicionamento dos ramos, um novo desenho representativo dos nós elétricos, contudo sem perda da significação de que se trata de uma associação de três resistores iguais em paralelo ($R_{eq} = R/3$). Sinteticamente, chama-se atenção para o fato que algumas operações figurais não alteram o significado do conteúdo representado, do objeto.

5.6 Discutindo os Registros e Domínios Tecnológicos

Há uma diversidade de problemas abstratos, porém também concretos na área de circuitos elétricos e, substancialmente, no ensino profissional Técnico e Tecnológico, tal qual na Engenharia Elétrica. A aplicação dos problemas, em diversos níveis de escolarização e em vários continentes, expõe concepções não científicas (CARLSEN, 1989; ABEL, 1995; ENGELHARDT, 1997; VIEIRA *et al.*, 1986; LABURÚ *et al.*, 2009; SENCAR; YILMAZ; ERYLMAZ, 2001; MÉTIOUI, 2012). Quanto ao conceito de resistência, associações e ligações entre componentes, revela-se a existência de aspectos a serem pesquisados em relação:

- à interpretação de problemas contextualizados através de objetos de suporte e representações pictóricas;
- ao uso vocabular (escrito, falado) dos termos “série” e “paralelo”;
- à identificação de topologias obtidas pela representação do objeto nos planos icônico e tecnológico;
- às opções de construção das ligações entre componentes;
- à representação de um objeto ou circuito através de várias formas passíveis (Linguagem Natural, Simbólica, Icônica, além do uso de recursos como simuladores e tecnologias analógicas).

Se o docente explora apenas a formação e tratamento vinculado a apenas um ou outro registro no quadro teórico há uma notória limitação para a construção de conhecimento profissional pelo estudante. Dificuldades de aprendizagem surgem quando o sujeito lida com várias representações em um registro, com diversos registros, mas não a coordenação entre eles, ou para possibilidades empíricas. Assim, é sugestivo que raciocínios mais elaborados requerem tais processos, os quais urge um ensino-aprendizagem integrado, aportando quadros teórico-empíricos, os tratamentos e as conversões.

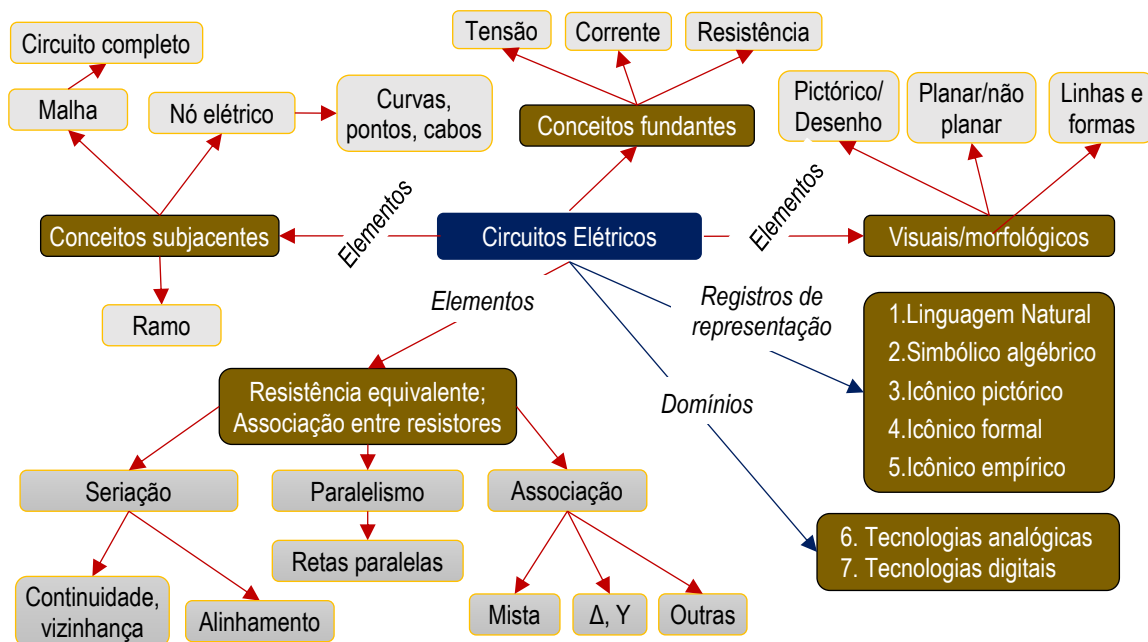
Duval (2006) afirma que quaisquer sejam as representações semióticas usadas, elas podem ser alteradas para outras representações semióticas sem o apoio de novos dados ou observações empíricas. Logo, não procuramos enquadrar o arcabouço experimental como um registro de representação porque ele se refere, de modo geral, a uma produção não semiótica, um sistema físico. O domínio tecnológico, conceito aqui proposto, se traduz então por um conjunto de objetos de aprendizagem de caráter didático e/ou profissional que requer operações de visualização e interpretação vinculadas à manipulação física e, em alguns casos, também incorporando representações semióticas. Ele engloba recursos analógicos, digitais, analógico-digitais, capazes de permitir relações diretas com os registros de representação, desdobrando-se como aplicações dos conhecimentos inerentes ao quadro teórico.

O domínio pode conter, além dos discriminantes tecnológicos (componentes elétricos, interface digital, ferramentas para construção analógica ou digital de um circuito, instrumentos de medição), um ou vários registros de representação em seu interior, referenciados por vezes pelas opções de estruturação tecnológica dos objetos (exemplos no capítulo 3). Além das relações de causalidade com o objeto representado, quando se realiza uma atividade experimental, os recursos no domínio tecnológico têm uma característica particular inerente à manipulação de elementos físicos pelo sujeito.

A análise, assim, culmina na apresentação de registros de representação e domínios tecnológicos propostos para a análise de circuitos, balizando o estudo de operações de Formação, Tratamento e Conversão

delineadas pela Teoria dos Registros de Representação Semiótica e as relações estruturais de manipulação empírica. Nisto, é exposto um mapa que baliza a estruturação em torno de elementos topológicos e conceituais, registros de representação e domínios sobre o tema (Figura 40).

Figura 40 - Elementos, domínios e registros na análise de circuitos.



Fonte: próprio autor.

Os registros de representação semiótica e domínios tecnológicos a seguir são apresentados de modo a subsidiar a construção de situações sobre circuitos:

1. Linguagem natural
2. Simbólica algébrica
3. Icônica pictórica
4. Icônica formal
5. Icônica empírica
6. Domínio Tecnológico Analógico
7. Domínio Tecnológico Digital

O registro de representação da *linguagem natural* incorre como uma das primeiras práticas durante a aprendizagem sobre Circuitos Elétricos. Explicações orais vagas, palavras e definições talvez sejam fontes de parte das falhas

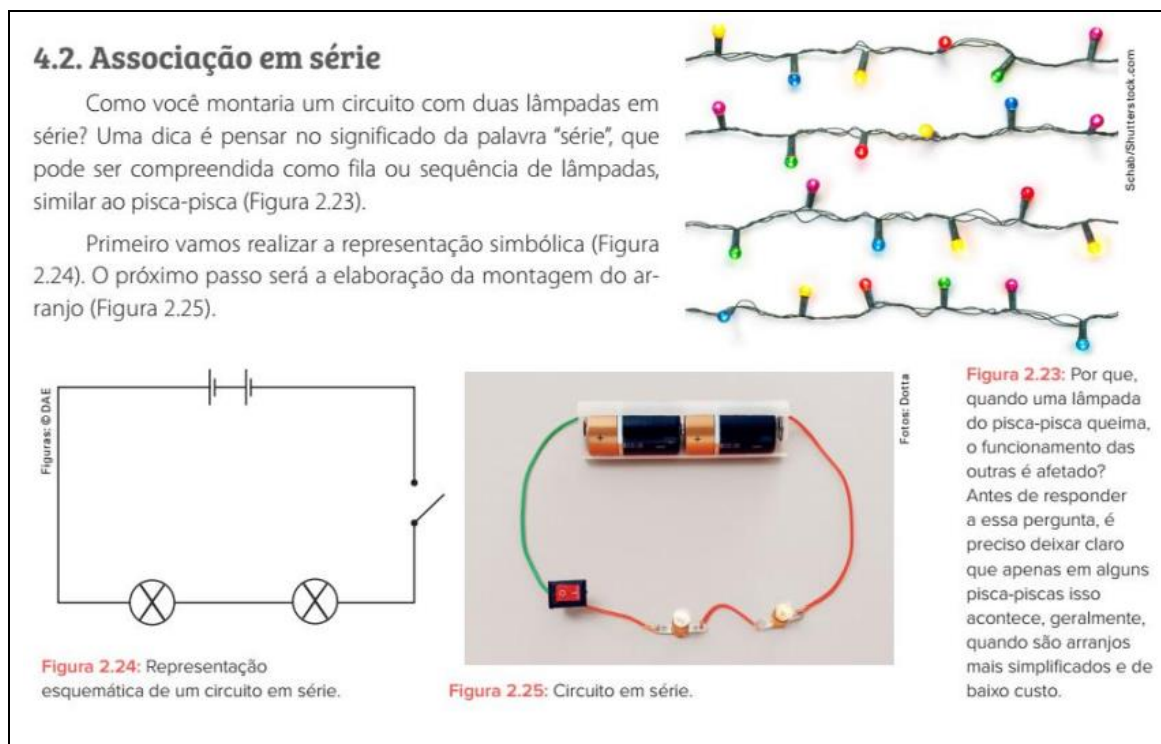
interpretativas dos estudantes acerca da construção de conceitos. Como observado, a constituição histórica dos termos é muito associada à disposição espacial dos resistores elétricos, a qual balizou estudos científicos e patentes de sistemas e equipamentos, transportada para os livros. A linguagem natural é fonte para suscitar explicações sobre o funcionamento de aparelhos, de conexões, sobre resistência equivalente, associações, tensão e corrente elétrica. A associação entre componentes tem um vocabulário próprio, cuja superposição com os saberes prévios do estudante, talvez, o leve a manifestar concepções não científicas ou um saber inconcluso.

O registro de representação através de um desenho que remete a um objeto é denominado de *Ícônico pictórico*. Ele pode ser refletido pelas construções do sujeito apresentadas através de esboços, delineando contornos e ilustrações. Observou-se certa exploração através do desenho em pesquisas na literatura. No entanto, o contexto aqui proposto remete não apenas ao tratamento da imagem por via da extração de atributos ou representação a partir de um objeto real explorado em contexto, como mais frequentemente é observado em pesquisas. Ele pode ser também utilizado para verificar a existência e forma de concepções não científicas vinculadas a saberes prévios do sujeito, raciocínios estruturados, conceitos basilares ou noções conceituais. Isto se coaduna como ação para mapear concepções e verificar as habilidades na apropriação conceitual.

Na classe de registro *icônico formal* admite-se o conjunto de símbolos normativos sob uso acerca dos Circuitos Elétricos, incluindo a representação de fontes elétricas, resistores, fios, chaves, dentre outros. Ela é provavelmente a mais utilizada no âmbito dos livros didáticos e técnico-científicos, em manuais, folhas de dados de equipamentos, na interface de recursos didáticos digitais, sendo também incluídas sobre objetos físicos de caráter experimental, além de abordado pelo docente em sala de aula. Situações podem se caracterizar como uma rica condição de decodificação ao menos parcial das ideias internalizadas pelo sujeito, do seu discernimento. A exemplo, as que permitam a extração de atributos a partir do conhecimento interpretativo ou declarativo da imagem, no registro simbólico algébrico ou na linguagem natural que interpreta o registro icônico (conversões).

O registro semiótico *icônico empírico* será classificado como aquele que envolve a diagramação simbólica de aparatos experimentais (analógicos ou digitais) através de imagens, admitindo parte de suas restrições, implícita ou explicitamente características de operação e reprodução semiótica da construção de casos. Ele é necessário porque não é adequadamente representado pela informalidade trazida pelo registro pictórico, carregando por vezes características construtivas próprias com elementos restritivos de representação, atributos de conexão, restrição física e disposição esquemática dos componentes elétricos, de modo que existem diferenças para com o registro icônico formal. Ele normalmente pode envolver em sua estruturação vários registros, assim como signos interpretativos particulares elaborados pelos fabricantes e cuja análise depende de informações de outros materiais (documentos, guias, manuais) ou saberes correlatos. É um tipo comum usado para analogias em livros didáticos e exposto em guias experimentais de laboratório. Na realidade, os autores de livros comumente fazem uso de vários registros para envidar um conceito (Figura 41).

Figura 41 - Extrato de livro didático explicando a associação em série.

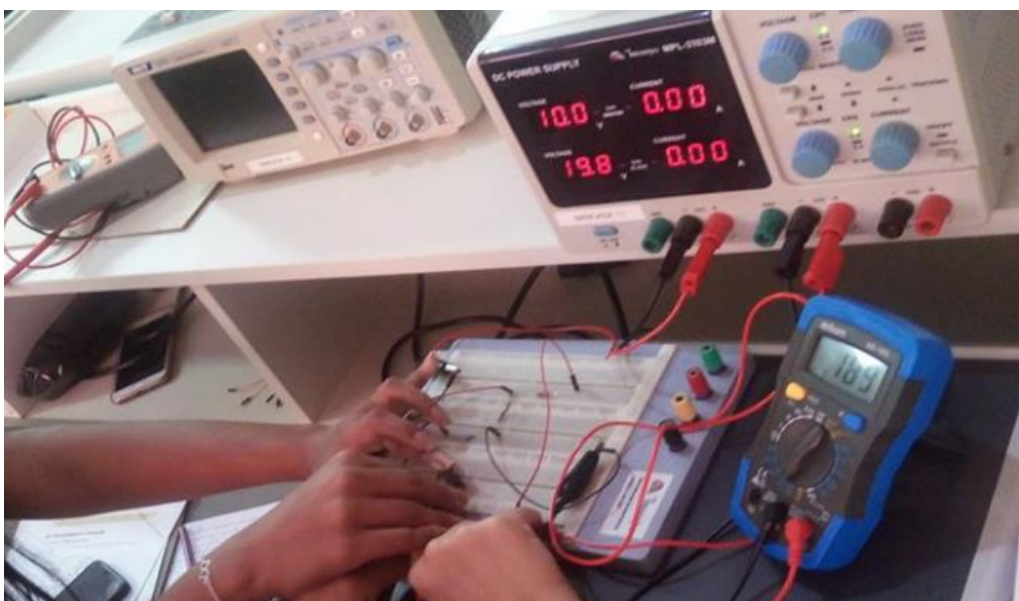


Fonte: Livro "Física em Contextos" (Pietrocola et al., 2016, p.37).

No extrato da Figura 41 o conceito “série” é associado pelo autor ao vocábulo “fila”, à ideia de “sequência de lâmpadas”. Construtivamente, o exemplo expõe restrições uma vez que existem pisca-piscas cuja associação entre lâmpadas ou LEDs (Diodo Emissor de Luz) ocorre de maneira paralela ou mista (série-paralela). O registro icônico é, desta forma, relevante para comunicar relações entre o modelo e uma imagem experimental. No entanto, não intencionalmente pode gerar uma concepção não científica. Uma forma complementar ao exemplo seria indicar as relações por meio dos nós elétricos ou que a corrente elétrica seria a mesma em todos os componentes da associação. Em consequência, caso uma das lâmpadas queimasse, geraria um “circuito aberto”, interrompendo a circulação de corrente elétrica, o fluxo de carga, ocasionando que todos os componentes iriam se apagar.

No caso dos domínios tecnológicos, embora envolvam dispositivos físicos reais ou digitais, e não se caracterizam como registro de representação, eles possuem regras de formação do conhecimento no contexto dos circuitos elétricos. Eles expõem a necessidade de manipular fios, cabos, fontes e resistores (Figura 42) ou representações digitais destes. Isto admite a construção/montagem de objetos a partir da leitura de um registro (linguagem, icônico formal, simbólico algébrico) ou a formação de modelos com representação digital.

Figura 42 - Realização de uma montagem de circuito elétrico em corrente contínua.



Fonte: próprio autor.

Existe um conhecimento associado com a passagem de um registro para sua efetiva construção em uma matriz de contatos, em placas de circuito impresso, tecnologias educacionais analógicas modeladas para a área ou em um aplicativo de celular, programa para computador, assim como podem ser reveladas concepções neste processo. O *domínio instrumental analógico* contempla, nesse caso, o conjunto de instrumentos e tecnologias utilizadas didática e profissionalmente em laboratórios para realização física de montagens. Bancadas experimentais, matrizes de contato, fontes, resistores, fios, instrumentos para medição e módulos didáticos são exemplos de parte constituinte desse domínio. Nele, os constituintes conceituais podem adquirir forma ou instrumentos poderão dar significado a parâmetros mensuráveis. Várias operações cognitivas dependem de soluções a questionamentos construídos pelo sujeito, tratados em sala de aula ou referenciados por meio de materiais didáticos: Como o nó elétrico pode ser representado no recurso? Qual(is) a(s) forma(s) possível(is) de conectar os componentes segundo o tipo de associação? Como a modificação no registro é formatada fisicamente na montagem? O que fazer para medir certa grandeza? Como materializar a ligação série com o amperímetro ou a ligação em paralelo com o voltímetro? Assim, o sujeito se depara com o uso de fios, a interpretação de soldas, o modo como conectar lâmpadas em associação, a manipulação de resistores físicos identificados pelo código de cores, fontes elétricas e medidores.

Parte dos questionamentos colocados também ocorre no *domínio instrumental digital*, sendo este especificado como conjunto de recursos digitais, programas voltados ao estudo de circuitos elétricos nas diversas plataformas disponíveis (PCs, dispositivos móveis) e cujas especificidades, tal qual aquelas inerentes a alguns componentes do domínio analógico, foram discutidas ao longo do terceiro capítulo. Por vezes, o recurso digital dispõe de modelos que ultrapassam as representações icônicas, na tentativa de retratar dinamicamente fenômenos ou grandezas elétricas, uma modelização de um fenômeno abstrato. Diferente do domínio analógico, é possível muitas vezes tratar ou representar eventos cuja montagem pode oferecer risco à segurança do sujeito, como curto-circuitos. Também é flexível e célere realizar alterações, modificar um circuito através de uma operação rápida permitida pelo conjunto de funções

disponibilizadas em um *menu*. O domínio tecnológico digital permite, assim, um arcabouço de recursos que aproxima o âmbito teórico de avaliações quali-quantitativas em contexto simulado, estreitando conceitos de aplicações.

Há de se refletir para um futuro próximo como se desdobraria a avaliação da aprendizagem, a construção de situações-problema e as concepções com o advento de dispositivos de realidade virtual, outros de natureza analógico-digital, seguindo o contexto da Educação 4.0 (OLIVEIRA, 2019), em que são vistos sob uma referência integrada.

Portanto, a apreensão significativa de conceitos perpassaria pelo tratamento central das relações entre representações discursivas e figurais, aportando objetos de aprendizagem e a multiplicidade de processos de tratamento e de conversão das representações e delas para os domínios tecnológicos.

5.7 Considerações Finais do Capítulo

Nota-se, em relação aos trabalhos na literatura, o caráter internacional dos grupos e pesquisadores que têm se debruçado sobre as dificuldades de aprendizagem no estudo sobre Circuitos Elétricos. Um segundo ponto é a inclinação das pesquisas para: mais proeminentemente a modelagem de atividades cujo propósito é identificar as concepções dos estudantes (relacionada principalmente aos conceitos de tensão e de corrente elétrica) e, menos frequentemente, à construção de situações que promovam condições favoráveis para a identificação de concepções sobre diagramas e ligações.

Um terceiro aspecto a destacar, em que observamos tendência na última década e meia: a tentativa de aprimoramentos no ensino com o desenvolvimento de propostas mediadas por tecnologias, considerando a diversidade de materiais e dos ambientes experimentais (simuladores digitais, laboratórios físicos), porém sem a percepção sobre as concepções não científicas, sobre operadores dinâmicos vinculados à topologia, bem como sem apreciação de requisitos de transição entre representações semióticas e não semióticas. Assim, elenca-se prioritariamente o caráter motivacional do uso das ferramentas, a organização prévia de alguns conhecimentos (FRAGA; CASTRO, 2004; LOPES *et al.*, 2009; ATES, 2005; RIBAS *et al.*, 2010; FERNANDES *et al.*, 2014).

Incluimos um quarto ponto, em que se conjectura sua essencialidade à formação de técnicos e engenheiros: a necessidade de aproximar a construção do conhecimento às demandas tecnológicas para a prática profissional e, por conseguinte, avaliar e propor situações uma vez assinaladas as relações de um para com o outro. Neste caso, não se verificou na literatura pesquisas que se dedicam a este aspecto, em que enfatizamos ao longo do capítulo uma necessidade de categorização de registros e domínios.

A investigação, neste sentido, desperta para algumas prospecções em relação aos estudantes: (i) qual a compreensão conceitual sobre seriação e paralelismo? (ii) como lidam e interpretam a mudança da topologia de um circuito ou associação? (iii) o que os influencia quando se manifestam concepções não científicas? (iv) que dificuldades aparecem na conversão entre sistemas de representação? (v) como lidam com os requisitos na passagem de uma representação $\alpha \rightarrow \beta$ em relação à passagem inversa $\beta \rightarrow \alpha$? Tais questionamentos se coadunam às questões norteadoras, balizando as decisões metodológicas para exploração de situações-problema na análise interpretativa dos circuitos elétricos e na idealização de cenários com suporte da TRRS.

6 DELINEAMENTO METODOLÓGICO

Neste capítulo é apresentada a característica da população-alvo, a sequência investigativa, os recursos, a estruturação do instrumento principal, além de elementos programáticos e procedimentos para análise de dados.

6.1 Público Participante

Os estudos foram realizados admitindo o perfil da Educação Profissional Tecnológica (EPT). Destaca-se que, a partir da Lei 11.892/2008, a Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica passou a ser constituída também pelos Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia, os quais exibem característica histórica para atender aos arranjos produtivos, valorizando a formação técnico-humanística e a preparação para o mercado de trabalho.

Há um olhar desta proposta para a EPT justificada pelas especificidades relacionadas aos propósitos formativos nesta modalidade, pela trajetória profissional do autor, e pela percepção sobre o papel e conceitualização da tecnologia como importante fator estrutural entre a Ciência e as perspectivas profissionais na cadeia formativa do discente. Outros perfis seriam passíveis de análise, no entanto, as pesquisas neste modelo institucional são raras, uma vez que os Institutos Federais vêm construindo esta nova identidade há pouco mais de uma década.

Em particular, o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE) conta com diversos cursos em formação técnica e de engenharia. Nisto, a proposta constituinte foi conduzida junto a estudantes de Engenharia Elétrica e do Curso Técnico em Eletroeletrônica de um dos *campi* da instituição. Em relação ao curso superior, os participantes eram estudantes calouros, do 1º período/semestre. Assim, se tornaria possível avaliar concepções dos discentes após os estudos realizados em Física no Ensino Médio. Em relação aos discentes do curso técnico, optou-se pelo público do curso integrado ao Ensino Médio. Em particular, participaram da atividade estudantes do 1º ano do curso. Estes estudantes têm previstos em sua matriz curricular duas

disciplinas relacionadas com o contexto dos circuitos: “Fundamentos de Eletroeletrônica” e “Instrumentos de Medidas”. É um perfil diferente da maioria das turmas analisadas na literatura, em virtude de que estes realizam os estudos sobre Circuitos Elétricos no início do Ensino do Médio. Outra especificidade é que as disciplinas técnicas ao longo da integralização são ministradas por professores com formação em Engenharia Elétrica ou Tecnólogos, enquanto na educação básica de nível médio a maioria dos estudantes tem aulas com professores licenciados em Física ou Ciências. Mais um ponto a destacar é o tipo de livro utilizado e a infraestrutura experimental. Os estudantes calouros do curso superior utilizaram, ao longo do ensino médio, livros didáticos, em que reportaram ainda a ausência de elementos empíricos quando do estudo sobre Circuito Elétricos. Os alunos do curso integrado, no entanto, já têm contato com livros técnicos sob uso em engenharia, acesso a obras de caráter técnico ou exclusivamente experimental, além de que fazem uso de laboratórios para desenvolvimento de atividades empíricas.

A diversidade dos sujeitos é importante do ponto de vista da percepção sobre os tipos de concepções mais comuns manifestadas em cada cenário, reportando diferentes desdobramentos aos docentes que estão diretamente em contato com cada público, fomentando olhar global, específico e comparativo.

6.2 Sequência Investigativa

Houve, ao longo da Tese, a exposição do contexto das concepções, do quadro teórico-experimental, de aspectos vinculados à representação do conhecimento no campo, bem como a discussão sobre registros de representação e domínios tecnológicos. Este percurso balizou a idealização das situações-problema, contemplando casos múltiplos, examinando-se a estrutura global inerente às concepções e dificuldades em arranjos de resistores. Foram admitidos aspectos de formação conceitual em torno de termos e das ligações elétricas, enquadrados no cerne teórico-experimental sobre Circuitos Elétricos.

A proposta não envidou a seleção específica de sujeitos (caráter de participação voluntária), apesar da escolha de série/período em cada curso. Houve a apropriação do *Termo de Consentimento Livre e Esclarecido*, o qual, no

caso dos estudantes menores de idade, foi autorizado pelos pais. Com informações semelhantes, porém expandindo sobre elementos da infraestrutura da instituição, também foi obtido o *Termo de Autorização* do gestor da instituição (Apêndice B), em ciência das ações junto ao público participante, contemplando ainda a permissividade para realização da atividade de pesquisa com uso de laboratório e recursos experimentais da infraestrutura do campus.

Em relação às hipóteses, retomamos em resumo: a influência dos signos na aprendizagem, o surgimento de concepções não científicas, efeitos do entrelaçamento na linguagem entre Física e Matemática, a multiplicidade de situações-problema em admissibilidade à representação teórico-empírica na aprendizagem. Disto, foi elaborada a Ferramenta para Análise de Concepções em Circuitos Elétricos (FACCE), a qual apresenta dois estudos alinhados com o teste das hipóteses e o alcance complementar dos objetivos (Apêndice A).

A FACCE é composta por situações-problema contextualizadas com os registros de representação em caráter discursivo e não discursivo (figural), abrangendo recursos experimentais em alguns casos, formatando cenários relacionados à formação, tratamento e conversão entre representações. Prioriza-se significados linguísticos, as ligações e associações entre resistores, além de conceitos auxiliares da teoria, os quais se transformam por um corpus simbólico que permeia as diferentes interações dos sujeitos com o conhecimento. Isto forma seu escopo conceitual, em que nos reserva interesse aplicação junto ao perfil de estudantes na EPT (técnico, bacharelado).

A proposta não exigiu controle sobre perfil comportamental dos sujeitos, havendo manipulação livre, porém sequencial, dos protocolos de aplicação das situações-problema, sem delimitação de tempo. Vinculou-se à análise de um cenário educacional de natureza contemporânea, de modo a entender a apreensão conceitual, as dificuldades e a possibilidade de superação de indivíduos dentro do seu contexto, a partir de várias dimensões em que, metodologicamente, a caracterizamos como Estudo de Caso (YIN, 2001, p.24; ANDRÉ, 2013, p.97). Outra característica dessa investigação é que se baseia em várias fontes de evidências com uma possibilidade de convergência entre elas, e beneficia-se de

proposições teóricas prévias para conduzir a coleta e análise de dados (YIN, 2001, pp.32-33). Em preferência, procurou-se avaliar de modo qualitativo as **concepções e dificuldades** de reconhecimento e transformação (interna, externa) de representações.

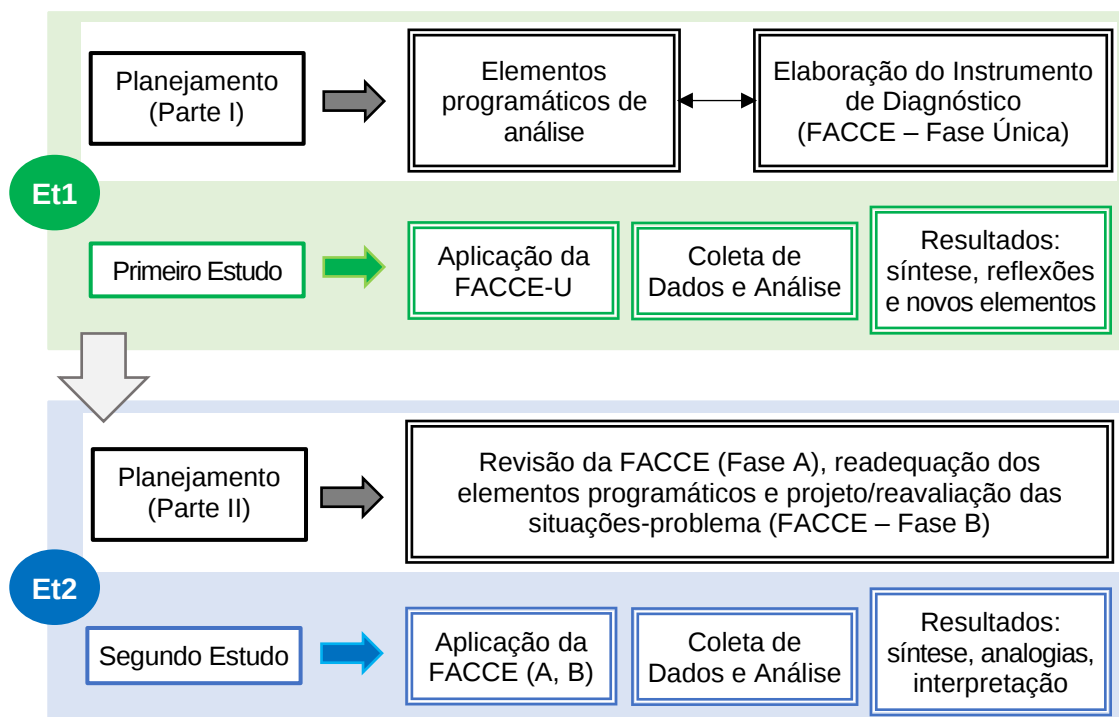
Como construto de validação interna, admitiu-se a estruturação de situações-problema a partir da Teoria dos Registros de Representação Semiótica para proporcionar relacionamentos causais e consequências para o ensino e para a aprendizagem de cada grupo de sujeito, organizando tipos de dificuldades. Quanto à capacidade de generalização, as amostras não permitiriam subsidiar, sozinhas, resultados universais. É possível, porém, juntamente com outros elementos da literatura e/ou aspectos epistemológicos levantados, orientar com fidelidade argumentações e sugestões, além de possibilitar confirmações ou afastamentos em relação às questões balizadoras.

Quando necessário, fragmentos de mensagens que sinalizem concepções não científicas ou dificuldades gerais auxiliam a geração de frequências (elementos quantificáveis). Observa-se a relação entre a situação, o raciocínio do sujeito e as dificuldades. Ainda, outras características nos permitem referenciar um modelo qualitativo da pesquisa (TRIVIÑOS, 1987, pp.128-130): o ambiente natural como uma das fontes de dados; o caráter descritivo na captura dos protocolos de resposta; a preocupação com o processo, com os aspectos evolutivos da análise e não apenas com resultados finais; uma análise indutiva dos dados (abstração, conceitos e interpretações inseridos em um contexto).

Ao longo da Tese foram caracterizadas fontes de indícios e algumas evidências (documentos históricos – *livros, artigos, patentes* – elementos didáticos e bibliográficos, pesquisas inerentes ao estado da arte, aspectos tecnológicos). Destacou-se também no texto o interesse focal no público (EPT), o contexto de aplicação do instrumento, o conhecimento do pesquisador e algumas inferências. No caso conceitual acerca das associações em série em paralelo, por exemplo, elementos de concepção se tornaram passíveis de categorização a fim de verificar a concatenação de proposições deduzidas pelo sujeito. Isto, com o intuito de expor a formação conceitual, ideias mais comuns e termos frequentes.

O delineamento do estudo contou com a realização das duas etapas descritas a seguir (Figura 43). A Etapa 1 (Et1) contemplou o planejamento inicial com alguns elementos da TRRS, mais fortemente aqueles voltados aos registros de representação semiótica. Foram definidos elementos programáticos para o instrumento de análise, reconhecendo a necessidade de extração de atributos conceituais, operacionalização de conceitos e procedimentos algébricos, interpretação e construção de casos. Foi empregada nesta etapa apenas um recurso empírico (*protoboard*). A partir deste estudo inicial, aprimoramentos seriam verificados, além da expansão das situações para a Etapa 2 (Et2).

Figura 43 - Estrutura da sequência investigativa.



Fonte: próprio autor.

O tamanho de cada amostra, fases administradas da FACCE e a forma de apropriação dos dados estão apresentadas no Quadro 8.

Quadro 8 – Estudos, amostras e administração das ferramentas.

Estudo	Amostra	Administração da FACCE	Apropriação de Dados
Primeiro	10 estudantes do curso superior em Engenharia Elétrica.	Fase Única	Coletiva (escrita e com imagens)
Segundo	16 estudantes do curso técnico em Eletroeletrônica (integrado ao ensino médio)	Fase A	Coletiva (escrita, com imagens, vídeos)
		Fase B	Coletiva (escrita, com imagens, vídeos)

Fonte: próprio autor.

As imagens e alguns vídeos curtos coletados pontualmente referem-se, principalmente, à parte dos processos de manipulação de elementos nos domínios analógico e digital (construções com uso de alguns recursos – *protoboard*, *software*). A Etapa 1, na qual houve administração de fase única da FACCE, refere-se ao Primeiro Estudo. Este permitiu a apreensão preliminar do cenário, das situações-problema concebidas, de construções conceituais por cada sujeito e, principalmente, da categorização preliminar delas. Disto, eclodem concepções e dificuldades, agrupamentos de características observadas no tratamento e na conversão de representações, admitindo também pontes com as concepções clássicas apontadas na literatura, estruturando argumentos para que se estabelecessem dados do entendimento dos sujeitos. Esta expansão argumentativa e a decorrente categorização é apresentada apenas ao fim do Primeiro Estudo, norteando e dialogando com as análises relacionadas à segunda etapa, realizadas à *posteriori*. Ela não é uma referência de caráter comparativo entre os grupos, apenas balizador admitindo que os grupos, em parte, são submetidos a cenários apenas parcialmente equivalentes. As concepções e dificuldades são avaliadas sob a perspectiva dos erros, noções, restrição ou generalização argumentativa, encadeamento estrutural de ideias. Descrição e ilustração são bastante explorados, norteando certas análises.

A avaliação dos resultados do Primeiro Estudo traria, portanto, reflexões sobre as construções, havendo potencial redimensionamento das situações para o Segundo Estudo, a inclusão de novas programações, expandindo aquelas previamente concebidas. Todavia, seriam mantidas características para o estudo de correspondência (referencial) entre os protocolos de resposta gerados pelos

dois grupos. A Fase A do Segundo Estudo é mais sintética em relação ao Primeiro, porém expõe novos elementos de apreciação, cuja justificativa é apresentada no próximo capítulo. Como já reportado, ela mantém o núcleo das características principais para possibilitar comparações entre os protocolos dos alunos do curso Técnico com aqueles dos alunos do Bacharelado.

No Segundo Estudo foram consideradas outras situações acerca das perspectivas conceituais sobre a associação entre resistores, o conceito de nó elétrico e aspectos posicionais morfológicos de ligações (da Fase Única de Et1 para a Fase A de Et2). A Fase B do Segundo Estudo, por sua vez, admite um momento mais conectado aos domínios tecnológicos, próprios da formação didático-profissional dos sujeitos em relação ao contexto empírico.

6.3 Administração das Etapas

Os estudantes de Engenharia Elétrica, à época de administração do Primeiro Estudo, se encontravam no 1º semestre do curso. Nesta etapa há apenas uma disciplina do núcleo profissional: “Introdução à Engenharia Elétrica” (02 créditos). Nela não se expõe conteúdo vinculado com Circuitos Elétricos bem como não se prevê o uso de aparatos experimentais. Assim, apenas um recurso tecnológico desta natureza foi utilizado no Primeiro Estudo para estes sujeitos – a matriz de contatos (*protoboard*), havendo pré-orientação sobre características construtivas, forma de seu uso e montagens durante quatro aulas consecutivas de 45 minutos (em semana anterior à aplicação do Primeiro Estudo). Os calouros que aderiram voluntariamente indicaram o interesse em Física durante o Ensino Médio, todavia, mencionaram não ter tido contato com atividades experimentais durante as aulas sobre Circuitos Elétricos. Neste encontro foram especificados detalhes da pesquisa, objetivos e a forma de condução do Primeiro Estudo.

As primeiras experiências diretas sobre Circuitos para os estudantes do curso de Engenharia Elétrica ocorrem de modo introdutório apenas a partir do segundo semestre, na disciplina “Fundamentos de Energia e Automação” (02 créditos). Há estudo em detalhes do quadro teórico-experimental sob interesse somente a partir do 4º semestre do curso, na disciplina “Circuitos Elétricos I” (04 créditos) e na homônima de Laboratório (02 créditos). Esta escolha (da turma no

1º semestre) foi intencional partindo da premissa de avaliar concepções a partir dos estudos transcorridos ao longo das séries anteriores – o tema é estudado normalmente no 3º ano do ensino médio com professor licenciado em Física. Nenhum dos sujeitos deste grupo participou anteriormente de cursos técnicos. O Primeiro Estudo foi realizado durante cerca de 06 horas (turno da manhã e parte do turno da tarde) no Laboratório de Eletricidade e Eletrônica da instituição.

Os sujeitos do Curso Técnico em Eletroeletrônica, à época de administração do Segundo Estudo – realizado em dois turnos (manhãs de dias consecutivos), estavam finalizando o principal componente curricular vinculado ao contexto dos Circuitos Elétricos, “Fundamentos de Eletroeletrônica”. Ela é ministrada no 1º ano do ensino médio integrado, de modo que já se havia transcorrido o conteúdo disciplinar a ser avaliado. O(a) docente que ministra este componente é vinculado(a) à coordenação do curso técnico, normalmente um(a) Engenheiro(a) Eletricista(a), e não ao núcleo profissional integrado da instituição. Deste último, fazem parte os docentes Licenciados em Física.

6.4 Análise dos Dados

Do contexto microscópico, a Análise de Conteúdo foi escolhida para avaliar os dados provenientes dos dois estudos (Primeiro, Segundo). Envida-se a materialidade linguística do discurso (escrita, falada, comunicada através de gestos e, fortemente, imagens). É uma abordagem que se baseia na ideia de discurso como objeto de descrição, *conteúdo da mensagem* (DE PÁDUA, 2002, p.22). De outro modo, se espera compreender o pensamento do sujeito através do conteúdo (CAREGNATO; MUTTI, 2006, p.684). Admite-se recortes de materiais escritos, outros expressos através de ícones, figuras, símbolos, além daqueles desenvolvidos/produzidos a partir da manipulação digital ou física.

Quanto ao detalhamento deste tipo de análise, três etapas (BARDIN, 2006; TRIVIÑOS, 1987): Pré-análise, Descrição analítica e Interpretação Referencial, em que caracterizamos no devido contexto:

- *Pré-análise*: Inclui a caracterização do público, do instrumento de pesquisa (FACCE) e dos protocolos de aplicação, dos conceitos principais e auxiliares que subsidiarão a Análise do Conteúdo; Houve agendamento para aplicação do instrumento, diálogo com apontamento às perspectivas bibliográficas, ao Instrumento concebido e aos materiais técnico-didáticos sob uso no estudo da Teoria de Circuitos Elétricos. Ela permitiu estruturar as situações, revelando os processos de tratamento e conversão de interesse e reajustamentos entre aplicações a grupos distintos.
- *Descrição analítica*: Admite quadros de referência, transcrições, a codificação e classificação dos dados por meio da seleção do conteúdo das ideias nas expressões verbais e em operações com imagens e recursos analógico-digitais; envolve a categorização, análises locais, segmentando palavras, formas e procedimentos, caracterizando concepções, dificuldades, agrupando informações quali-quantitativas em quadros e tabelas.
- *Interpretação referencial*: Contempla reflexões com suporte dos resultados decorrentes dos materiais empíricos e inclui a análise de transformações. Admite o estreitamento das interações entre referências citadas e novas, ampliando o horizonte dos estudos. Desdobra-se, ainda, sobre sínteses que coincidem e que divergem das expectativas, chamando atenção para a docência.

Parte da *Pré-análise* foi contemplada ao longo da Tese até este ponto, havendo ainda uma leitura flutuante acerca dos protocolos de resposta quanto à aplicação da FACCE. Os conceitos principais abordados foram de resistência equivalente, de associação série e paralelo, além de, pontualmente, outros tipos (associação mista, ligação Δ). Na maior parte das situações, os conceitos foram abordados de maneira isolada; em outros de maneira simultânea aos conceitos de tensão, corrente e potência elétrica. Estes últimos conceitos têm vínculo resultante dos componentes para com os tipos de ligação. Há, notadamente, outros conceitos: nó elétrico, ramo e malha. Análise sobre apropriação conceitual associada com situações de caráter teórico-profissional ocorreu através de

diversos registros e domínios (linguagem natural, simbólica algébrica, icônica pictórica, icônica formal, icônica empírica, domínio tecnológico analógico, domínio tecnológico digital). A unidade de análise principal é o estudante, de onde se desdobra a sua construção conceitual, revelada através de vocábulos, orações, figuras, expressões simbólicas e ações materiais/manipulativas.

Parte da *Descrição analítica* também foi realizada em relação aos materiais da literatura, sendo explorada em relação aos estudos propostos ao público participante. Na categorização de parte das informações admite-se a avaliação de respostas corretas, incorretas ou sua não realização. É substancial verificar se, nas respostas, houve concepções não científicas, seja para um conceito específico tratado em certa situação, ou para ideias combinadas. Quando presentes, serão identificados/reconhecidos protocolos em que houver dificuldade em compreender o raciocínio desenvolvido na construção da resposta. Frequências, vocábulos, estruturas figurais, decodificações internas e externas dos registros irão subsidiar as análises, aplicados individualmente ou de maneira conjunta para cada situação, a depender da demanda contextual proporcionada por cada coleção de respostas. Também será avaliado se as concepções não científicas são geradas a partir da forma de apresentação das ligações, relações com o que se interpreta ou produz, aspectos posicionais dos componentes elétricos, se há parâmetros específicos de influência ou outros conceitualmente dependentes. Análise gerais sobre o raciocínio empregado serão detalhadas a partir do exame dos resultados, assim como sínteses a partir das expectativas. Ao fim da apreciação do Primeiro Estudo, categorias de construção conceitual serão descritas. Aproximações semânticas podem tornar possível agrupamentos ou raciocínios com elementos de influência distintos.

A Análise do Conteúdo torna possível o aperfeiçoamento do instrumento de pesquisa a partir das correlações e de eventuais redundâncias reveladas, ou aprofundamentos necessários. Na transição do Primeiro Estudo para o Segundo Estudo, vislumbra-se identificar marcas, pelo sujeito, nas ações de formação do conhecimento, além de expor traços recorrentes na Linguagem (vocabulário, imagética, compreensão). Avaliações durante o Primeiro Estudo irão expor

caráter descritivo pormenorizado. Em seguida, após a categorização proposta, à medida que seja realizada a Descrição Analítica do Segundo Estudo, sua investigação admitirá também aspectos previamente levantados no Primeiro Estudo, bem como novos, se necessário. Ademais, destacam-se aproximações e distanciamentos em relação às situações passíveis de comparação. Por fim, realizam-se as interpretações referenciais com suporte de várias fontes e dos construtos empíricos. Reflexões sobre a docência e a estruturação curricular serão apresentadas ao fim das etapas.

6.5 Elementos Programáticos do Instrumento

Considerando a construção de conhecimento apresentada, foram definidos elementos programáticos, sendo inseridos na FACCE:

- i. A manifestação acerca da *formação conceitual sobre seriação e paralelismo* construída previamente (no ensino médio para bacharelados) ou após instrução (início do ensino médio integrado a curso técnico).
- ii. A especificação de *concepções sobre equivalência de diagramas* vinculada a invariantes em operações de tratamento através de registro icônico formal.
- iii. A forma de *operacionalização do conceito de resistência equivalente* a partir de registro simbólico algébrico e de registros icônicos.
- iv. *A abordagem qualitativa sobre seriação e paralelismo* a partir de registros de representação discursivo (língua natural) e não discursivo (icônico).
- v. *A interpretação sobre ligações entre componentes elétricos* a partir do tratamento entre registros de representação icônica empírica e formal.
- vi. *A abordagem qualitativa sobre resistência equivalente e ligações entre componentes* a partir da representação icônica formal em perfil tridimensional com imagem individual e com superposição entre faces opostas de um objeto.
- vii. *A abordagem simbólica algébrica sobre resistência equivalente* a partir da interpretação de casos na representação icônica formal com heterogenia figural na apresentação de nó elétrico, ramo e malha.

- viii. A forma de *operacionalização das ligações entre componentes* a partir da linguagem natural em processo de conversão para a representação icônica e domínio tecnológico; e mediante atributos visuais fixos acerca da morfologia posicional dos componentes.
- ix. A *construção integrada da Lei de Ohm e das Leis de Kirchhoff* através de circuitos elétricos com ligações em série, em paralelo e ligações mistas entre resistores agrupando outros conceitos (corrente, tensão, potência).
- x. A *operacionalização das ligações entre componentes* (conversão) da linguagem natural para a representação icônica e domínio tecnológico.
- xi. A *interpretação simbólica algébrica* e o cálculo a partir do registro algébrico.
- xii. A *construção em protoboard* a partir da interpretação da linguagem natural.
- xiii. A *interpretação icônica pictórica de ligações* a partir de imagem do *protoboard* e de uma placa de circuito perfurado de dupla face.
- xiv. A *análise de operação de um circuito elétrico* admitindo a transposição de informações em linguagem natural para o software CCK/PhET.
- xv. A *realização pictórica de ligações* partindo da linguagem natural e outras com fixação de atributos morfológicos e terminais.
- xvi. A *realização física de ligações na maleta SD1202 + Módulo1103A* para obtenção de resistência equivalente a partir de terminais especificados.
- xvii. A *construção de arranjos em protoboard* partindo da interpretação pictórica e a análise da operação do circuito admitindo premissas na linguagem natural.

6.6 Premissas Admitidas

É admitido que os sujeitos que participaram das atividades responderam de maneira sincera às situações-problema administradas em cada Estudo. Logo, supomos, a partir das percepções do autor, o qual se encontrava no ambiente durante toda a atividade, que não houve diálogos ou compartilhamento entre os colegas acerca das construções individuais em cada protocolo, requisito mencionado a todos os participantes antes da administração da atividade. A forma de organização dos sujeitos no laboratório (Figura 44), as condições

ambientais proporcionadas (boa ergonomia, climatização e iluminação), além da disposição de participar voluntariamente da atividade, são outros aspectos que procuraram auxiliar na validade interna dos protocolos de resposta.

Figura 44 - Laboratório de Eletricidade e Eletrônica do IFPE Campus Garanhuns.



Fonte: próprio autor.

De modo complementar, tem-se como premissa que a análise de dados e as reflexões permitirão balizar comportamentos, significados e intenções dos estudantes na apropriação conceitual. Outro constituinte é que não se permitiu, em nenhum dos estudos, a comunicação entre os sujeitos sobre as atividades, mesmo quando necessário o deslocamento para reunião/ajuntamento dos recursos empíricos ou deslocamento para simulação digital em computador.

7 PRIMEIRO ESTUDO

O capítulo inicia com o escopo da FACCE, situações e etapas. Apresentam-se resultados da aplicação do Primeiro Estudo, ao passo do exame dos protocolos de resposta na Etapa1, detalhando situações com suas análises descritivas. Por fim, é apresentado um sumário geral das dificuldades reveladas a partir da análise de conteúdo dos protocolos de resposta dos sujeitos. Avaliações comparativas com o Segundo Estudo e interpretações referenciais são discutidas e detalhadas ao longo do próximo Capítulo.

7.1 Caracterização dos Dados

Os sujeitos do curso de engenharia elétrica serão citados com letra e algarismo que vão de E1 a E10 (10 estudantes), enquanto os do curso técnico de T1 a T16 (16 estudantes). No decorrer das atividades administradas, algumas situações-problema da FACCE foram subdivididas em duas ou três. O conjunto de situações do “Primeiro Estudo” foi administrado em etapa única. O mesmo ocorreu com relação ao “Segundo Estudo – Fase A”. No caso do “Segundo Estudo – Fase B”, houve duas etapas, as quais estavam mais diretamente vinculadas ao caráter tecnológico experimental. Uma síntese está indicada no Quadro 9.

Quadro 9 – Situações-problema e etapas em cada fase da FACCE.

Estudo	Administração da FACCE	Número de situações-problema	Número de Etapas
Primeiro	Fase Única	11	1
Segundo	Fase A	7	1
	Fase B	9	2

Fonte: próprio autor.

Nas próximas seções serão protocoladas informações conceituais e/ou acerca das dificuldades interpretativas e de estruturação das respostas.

7.2 Resultados e Discussões sobre o Primeiro Estudo

O diagnóstico inicial ocorreu junto aos calouros em Engenharia Elétrica e teve como finalidade observar conhecimentos prévios, dificuldades e causas, além de habilidades nos processos de tratamento e conversão. O Primeiro

Estudo contemplou 11 situações-problema, nas quais foram obtidas os seguintes conjuntos de resposta (Quadro 10).

Quadro 10 – Conjuntos de resposta apresentados pelos sujeitos no Primeiro Estudo.

Situação-problema (SP)		Sujeito									
		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10
1	Formação conceitual	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	Invariante: equivalência	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	Cálculo de R_{eq}	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
4	Resistência do chuveiro	X	X	X	X	X	X	X	X		X
5	Ícônico Empírico→Pictórico	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
6	Formal→Ícônico Empírico	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
7	Tetraedro	X	X	X	X	X	X	X	X		
8	Circuitos mistos	X	X	X	X	X	X	X	X		
9	Placa de circuito com trilhas	X	X	X	X	X	X	X	X		
10	LN*→Ícônico→ <i>Protoboard</i>	X	X	X	X	X	X	X			
11	Brilho de lâmpadas	X	X	X	X	X	X	X			

Fonte: próprio autor.

*LN - Língua Natural

Inicialmente, avaliou-se a percepção conceitual por meio de situações com esta finalidade. Para outras, os principais elementos experimentados nas situações-problema foram: a reconfiguração morfológica de diagramas com a exploração de invariantes, a construção algébrica, a avaliação qualitativa das associações e seus desdobramentos, o emprego conceitual nos diversos registros e domínios, incluindo a materialização física em *protoboard* e a avaliação concomitante de grandezas (corrente elétrica, tensão, resistência, potência) admitindo o diagrama como elemento basilar.

Na interpretação das respostas protocoladas, almejou-se verificar: como os conceitos auxiliares aparecem nos registros linguísticos, figurais e na consecução empírica; como os conceitos de tensão e corrente elétrica dão suporte à construção conceitual sobre seriação, paralelismo e outras ligações; como ocorre a inferência lógico-conceitual por meio das múltiplas possibilidades de representação do diagrama. Outros objetivos específicos são descritos juntamente com a descrição analítica dos protocolos de resolução.

7.2.1 Formação Conceitual sobre Seriação e Paralelismo

Aos sujeitos da pesquisa (bacharelandos em Engenharia Elétrica) foi solicitado comunicar informações sobre as ideias formadas acerca de seriação e paralelismo mediante questões idealizadas na Linguagem Natural (Figura 45).

Figura 45 - Situação-problema conceitual sobre seriação e paralelismo.

SC1 – Em sua interpretação, o que significa dizer que “ <i>resistores se encontram em série em um circuito</i> ”? Se possível, exemplifique sua resposta.
SC2 – Em sua interpretação, o que significa dizer que “ <i>resistores se encontram em paralelo em um circuito</i> ”? Se possível, exemplifique sua resposta.

Fonte: FACCE.

Envidou-se, neste caso, a possibilidade do uso de mais de um registro de representação na resposta, além da exemplificação por parte dos sujeitos.

Formação Conceitual – Associação Série

Para a Situação Conceitual 1 (SC1), aproximações semânticas das unidades linguísticas permitem verificar a influência vocabular associada com os aspectos morfológicos posicionais dos resistores para explicar a associação em série: “*em frente um ao outro*” (Sujeito E1), “*organizados em sequência*” (Sujeitos E2 e E4), “*alinhados*” (Sujeito E4), “*mesmo caminho*” (sujeito E5), “*modo linear*” (Sujeito E8). O raciocínio empregado pelos sujeitos, exemplos e termos de caráter morfológico estão no Quadro 11.

Quadro 11 – Associação série: raciocínio, exemplo e termos (Primeiro Estudo).

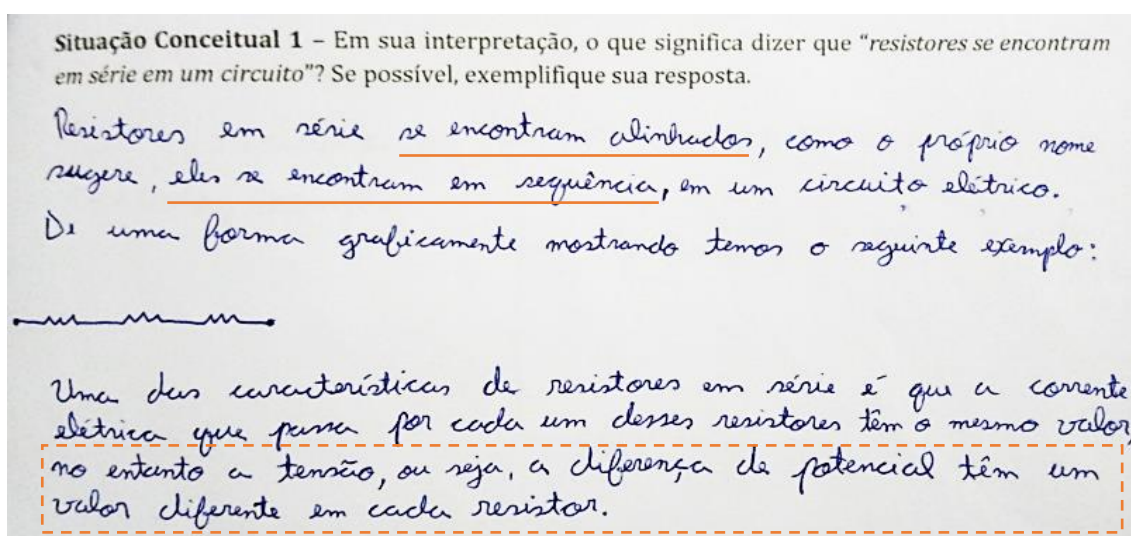
Conceito: Associação em série	Raciocínio empregado	Exemplo	Termos utilizados
	RES1 – alinhamento	“que eles estão um em frente ao outro”	Em frente, contínuo, alinhado, modo linear
	RES2 – mesmo caminho	“que os resistores partilham o mesmo caminho no circuito”	Sequência, alinhados, caminho
	RES3 – corrente é a mesma	“estão submetidos a mesma intensidade de corrente”	-
	RES4 – tensão é dividida	“a tensão (...) tem um valor diferente em cada resistor”	-
	RES5 – caso prático	“Luminárias de natal”	-

Fonte: protocolos de resposta (organizado pelo autor).

Outros resultados obtidos dos protocolos de resolução foram:

- Seis dos dez sujeitos (E1, E3, E4, E6, E7, E8) expuseram algum tipo de concepção não científica, inconsistências quanto ao conceito científico;
- O termo “exemplifique sua resposta” foi intuitivamente estruturado como uso figural mediante representação com o registro icônico formal;
- A maioria dos sujeitos apresenta uma noção dos conceitos referida ao concreto da forma; outros citam ideias concomitantes vinculadas a conceitos basilares;
- Alguns sujeitos reforçam o realismo morfológico das concepções descritas no registro da linguagem natural mediante aplicação de elementos icônicos manifestados em desenho. A ideia de alinhamento descrita na linguagem natural tem correspondência conceitual no desenho (Figura 46).

Figura 46 - Concepções sobre a associação série (sujeito E4).



Fonte: protocolos de resposta do Primeiro Estudo.

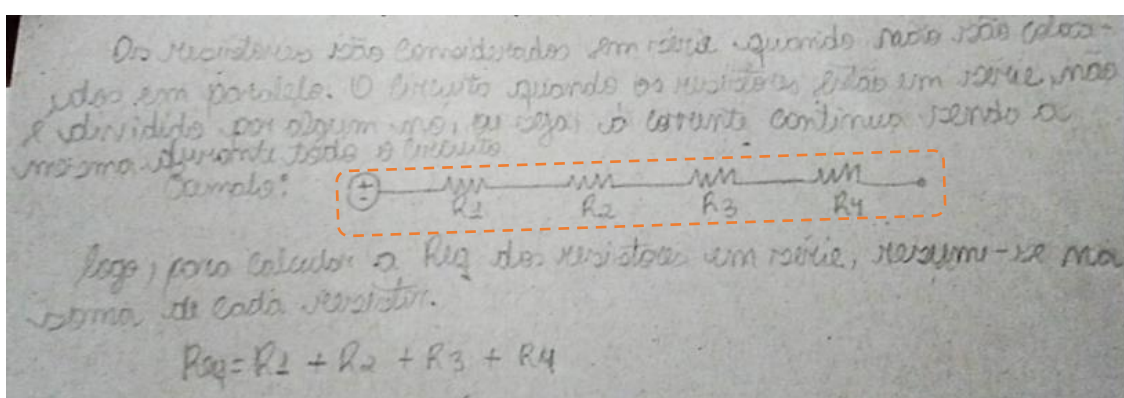
Apesar dos vocábulos sob uso, o sujeito E4 admite o desencadeamento de ideias a partir da classificação da ligação, entretanto, manifesta uma hipótese restrita associada com a ideia de divisão de tensão (últimas linhas do protocolo – Figura 46). Também como aspectos verificados nos protocolos:

- A palavra “nó” surgiu apenas três (03) vezes. Ainda houve concepção para explicar a seriação como se a interligação entre dois componentes não seja

um nó elétrico e sim um nó essencial (Sujeito E10 – “Quando se encontram interligados no circuito sem que um nó esteja entre eles”; Sujeito E3 – “O circuito, quando os resistores estão em série, não é dividido por algum nó”);

- Dois dos dez sujeitos (E3, E8) utilizaram corretamente protocolos com referência ao registro simbólico algébrico em suas explicações (R_{eq});
- Um registro de representação icônica revelou concepção de modelo coletor (*sink*), com a conexão única de fio condutor junto à fonte (Figura 47), havendo falha na aplicação do conceito de circuito completo ou malha;

Figura 47 - Concepções sobre a associação série (sujeito E3).



Transcrição: “Os resistores são considerados em série quando não são colocados em paralelo. O circuito quando os resistores estão em série não é dividido por algum nó, ou seja, a corrente continua sendo a mesma durante todo o circuito. Logo, para calcular a R_{eq} dos resistores em série, resume-se na soma de cada resistor. $R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$.”

Fonte: protocolos de resposta do Primeiro Estudo.

- A palavra “corrente” ou “corrente elétrica” apareceu 08 vezes, sendo que sete dos dez sujeitos (E2, E3, E4, E6, E7, E8, E9) ressaltaram que ela é igual nos resistores que estão associados em série, evidenciando-lhe como conceito primário no desencadeamento de suas ideias;
- O sujeito E8 narrou o efeito da retirada de uma lâmpada sobre outras em série (circuito aberto, corrente nula), expondo uma organização mais geral de possibilidades, apesar da idealização posicional da ligação;
- O sujeito E9 expôs confusão conceitual da corrente elétrica como “eletricidade que passa”, associando-a com a ideia de fluido;
- O sujeito E7 manifestou raciocínio de resistores em série por “componentes do circuito responsáveis por dificultar a passagem de corrente elétrica”, refletindo o modelo de concepção não científica de atenuação.

Formação Conceitual – Associação Série

O conceito de nó elétrico foi utilizado por cinco dos dez dos sujeitos participantes (E2, E3, E5, E6, E10) na construção de suas respostas, frequência um pouco superior ao caso da interpretação sobre a associação série.

É apresentado no Quadro 12 o raciocínio empregado pelos sujeitos, exemplos e termos vinculados com a associação em paralelo.

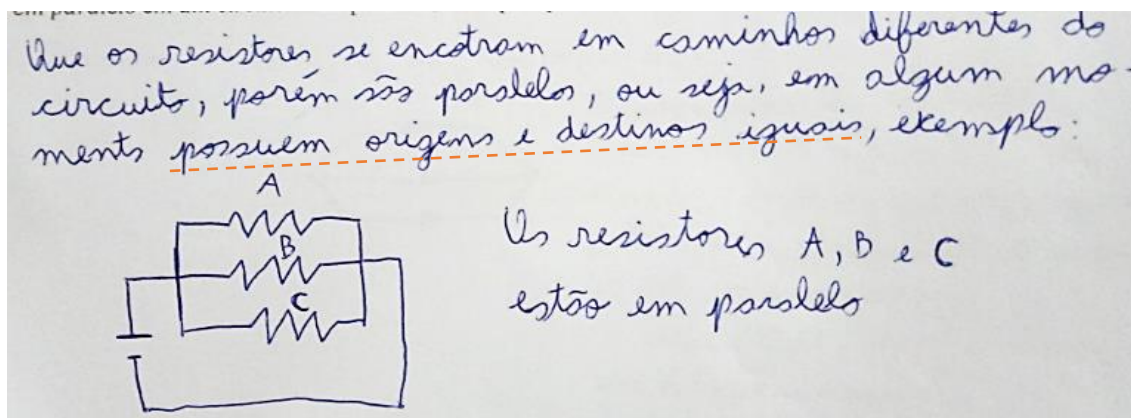
Quadro 12 – Associação em paralelo: raciocínio empregado, exemplo e termos.

Conceito: Associação em paralelo	Raciocínio empregado	Exemplo	Termos utilizados
	REP1 – morfologia paralela	“o próprio nome indica a característica de como se encontram organizados em um circuito”	Forma, linhas paralelas, próprio nome, característica de organização, localizados
	REP2 – caminhos distintos	“se encontram em caminhos diferentes do circuito”	-
	REP3 – corrente é dividida	“ela (a corrente elétrica) é distribuída para cada resistor”	-
	REP4 – tensão é a mesma	“separados por nós que garantem a mesma ddp”	-
	REP5 – caso prático	lâmpadas	-

Fonte: protocolos de resposta (organizado pelo autor).

No caso do sujeito “E5” chama atenção a ideia de compartilhamento de nós elétricos com a referência indireta por uso dos termos “origens” e “destinos” (Figura 48).

Figura 48 - Concepções sobre a associação paralelo (sujeito E5).



Fonte: protocolos de resposta do Primeiro Estudo.

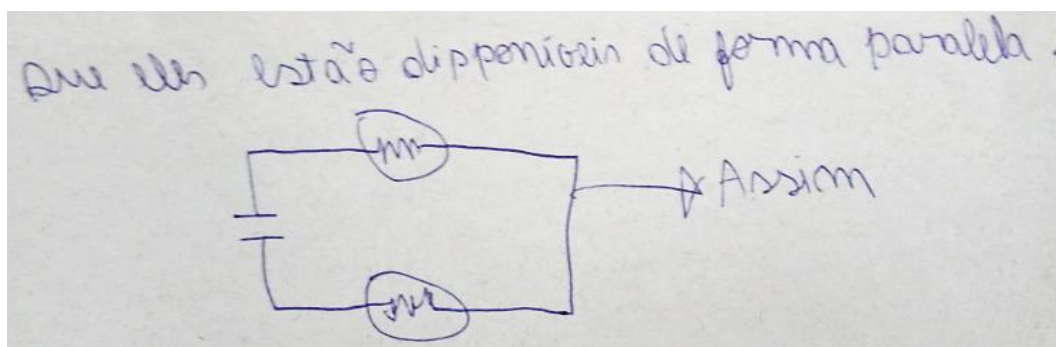
A ideia de divisão de corrente também foi um elemento importante verificado na descrição do conceito de associação em paralelo. Ele surge na maioria dos protocolos de resposta, em que citamos: *“não garante que a corrente seja a mesma, apenas se a resistência dos resistores sejam iguais”* (sujeito E2) – referindo-se a uma hipótese geral; *“a corrente é dividida”* (sujeito E3); *“não apresentam o mesmo valor de corrente elétrica, afinal ela é distribuída para cada resistor”* (sujeito E4); *“a corrente ao se deparar com esses nós diferentes se divide”* (sujeito E6); *“encontra-se um nó que divide a entrada de corrente em uma ou mais partes”* (sujeito E10).

Alguns sujeitos também fizeram menção de que a tensão (ou diferença de potencial) é a mesma nos terminais dos resistores em paralelo (protocolos dos sujeitos E2, E4, E6 e E7), refletindo uma compreensão conceitual mais consistente ao que é aceito cientificamente, de modo que no processo de equilíbrio dinâmico da acepção do conceito se refere a várias perspectivas.

As principais dificuldades constatadas se manifestaram pelo aspecto topológico diretamente associado ao construto discursivo do termo “paralelo”: *“o próprio nome indica a característica”* (sujeito E4); *“tem esse nome porque as duas resistências estão localizadas em dois ramos paralelos”* (sujeito E7); *“a primeira coisa que vai na cabeça seria a paralelidade do circuito estando estas linhas paralelas”* (sujeito E8).

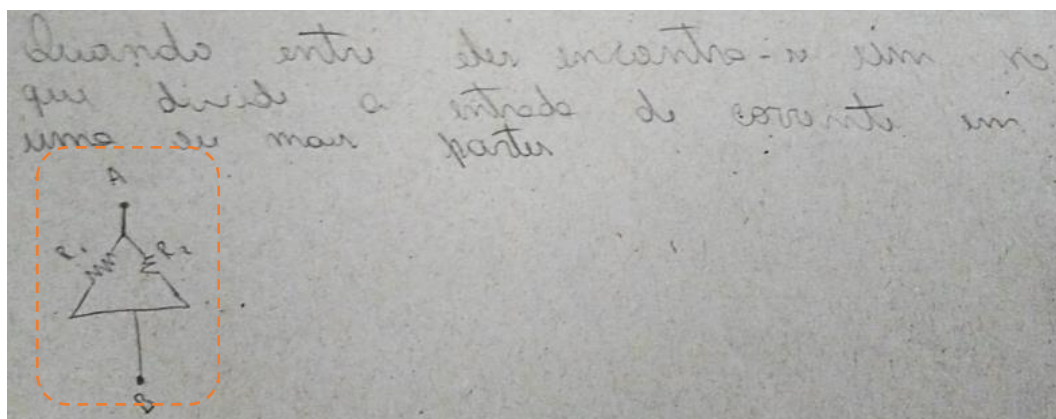
Houve desdobramentos na representação icônica pictórica acerca do conceito em tela, diretamente vinculada à disposição espacial dos resistores no diagrama de circuito (Figura 49) e, também, um diagrama não convencional para referir-se à divisão de corrente elétrica (Figura 50). Os protocolos revelaram também que dois sujeitos (E3, E8), tal qual na resolução da SC1, descreveram o registro simbólico algébrico para estruturar suas respostas em que, um deles, porém, o fez de maneira incorreta (E3), expondo dificuldade na manipulação da equação característica utilizada para cálculo da resistência equivalente.

Figura 49 - Concepções sobre a associação paralelo (sujeito E1).



Fonte: protocolos de resposta do Primeiro Estudo.

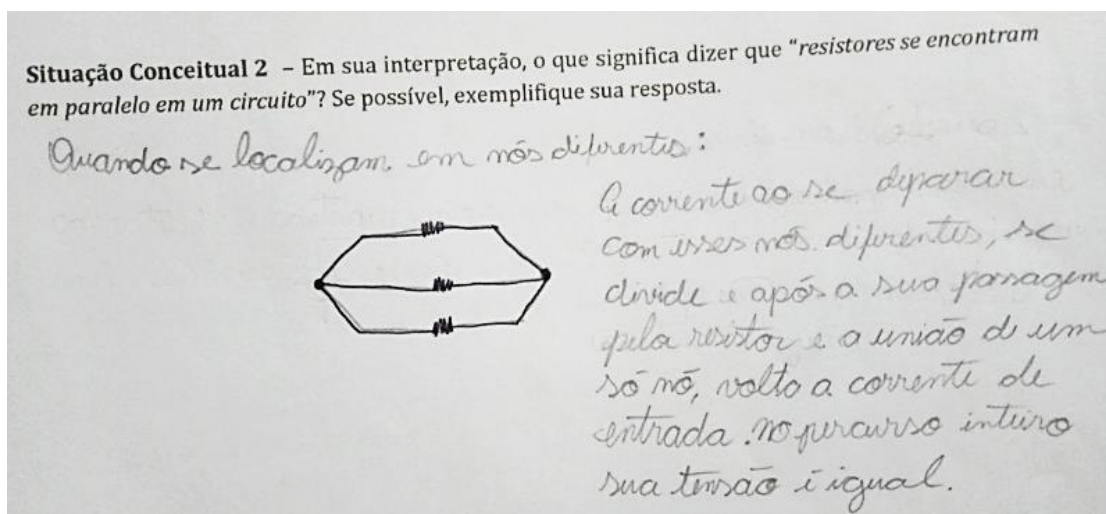
Figura 50 - Concepções sobre a associação paralelo (sujeito E10).



Transcrição: "Quando entre eles encontra-se um nó que divide a entrada de corrente em uma ou mais partes"

Fonte: protocolos de resposta do Primeiro Estudo.

Aponta-se ainda o protocolo de resposta do sujeito E6, em que utiliza uma compreensão mais detalhada sobre os conceitos de nó e ramo (Figura 51). Nota-se, no entanto, a confusa ideia de que a tensão elétrica é vinculada a movimento e não à diferença de potencial entre dois terminais. Isto, percebido quando descreve que "no percurso inteiro sua tensão é igual".

Figura 51 - Concepções sobre a associação paralelo (sujeito E6).

Transcrição: “Quando se localizam em nós diferentes: A corrente ao se deparar com esses nós diferentes se divide e após sua passagem pelo resistor e a união de um só nó, volta a corrente de entrada de entrada. No percurso inteiro sua tensão é igual.”

Fonte: protocolos de resposta do Primeiro Estudo.

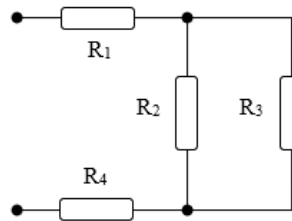
Por fim, pelo menos um sujeito diferente em cada situação-problema (SC1, SC2) expressou as ligações como havendo uma dualidade de uma para com a outra: “é uma quando não é a outra”, expondo certo “eco didático”, expressão aqui utilizada para se referir a uma provável restrição no estudo tipológico das possibilidades de ligações durante o processo de ensino-aprendizagem, havendo então ou supervalorização das associações série e paralelo em relação às demais.

7.2.2 Invariantes na Equivalência de Diagramas

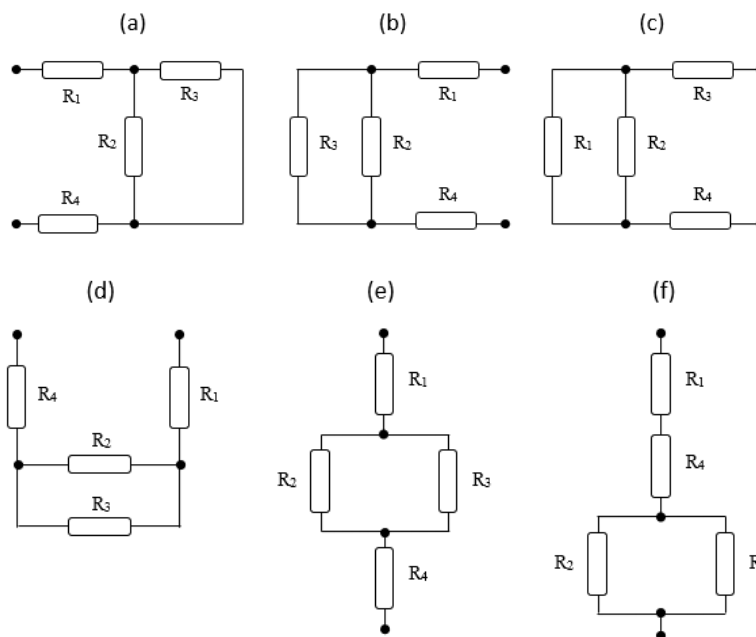
Em relação ao registro de representação icônica (formal), admitiu-se na situação em tela a disponibilização de respostas, exibindo o tratamento com as seguintes operações (com invariância da topologia elétrica do diagrama): deslizamento do componente ao longo do ramo (item a), simetria (item b), rotação (item d), rotação + deslizamento (item e) e rotação + deslizamento + permuta posicional (item f). A situação-problema é descrita na Figura 52.

Figura 52 - Situação-problema sobre equivalência de diagramas.

Situação 1 - Considere a topologia de circuito elétrico apresentada abaixo, formada por resistores.



Assinale a seguir a(s) alternativa(s) que **NÃO** representa(m) um circuito cuja resistência equivalente, vista dos terminais em aberto, é igual a do circuito anterior.



Fonte: FACCE.

No item c, o significado elétrico das ligações não é o mesmo apresentado pelo arranjo original, sendo a alternativa não equivalente. Ela expõe que “os resistores R_2 e R_3 estão conectados em paralelo. Esta associação está em série com os resistores R_1 e R_4 ”. Nos demais itens há equivalência topológica com o arranjo original. O conjunto de respostas é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Resposta sobre equivalência topológica – Primeiro Estudo.

Resposta	Sujeitos										(%)
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	
(a)	X		X	X		X	X				50
(b)											0
(c)	X	X	X	X	X		X	X		X	80
(d)											0
(e)		X						X			20
(f)	X	X	X	X					X		50

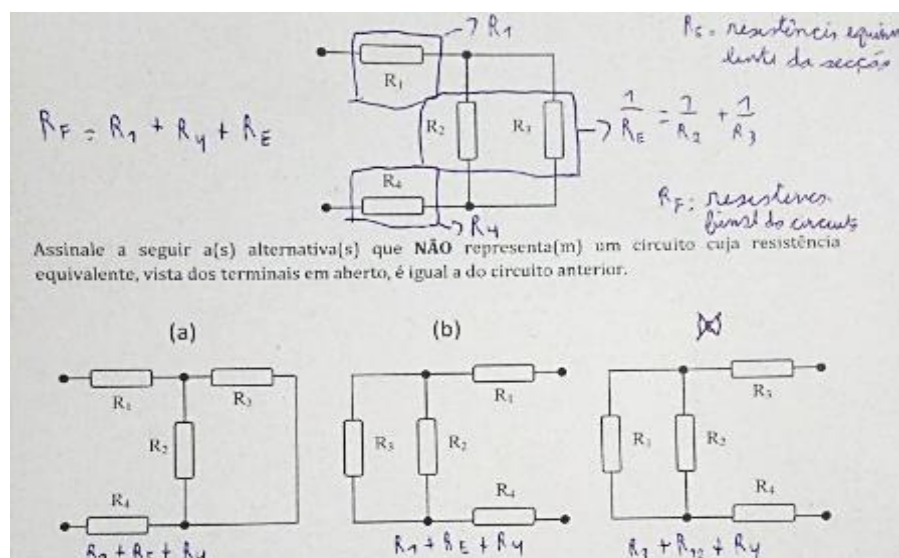
Fonte: protocolos de resposta (organizado pelo autor).

Duas operações foram mais difíceis para identificação de equivalência:

- deslizamento do componente ao longo do ramo ou, de outro modo, uma representação visual não convencional para o nó elétrico (item a);
- operação conjunta de rotação, deslizamento e permuta posicional (item f).

Nenhum sujeito apresentou dificuldade em relação à identificação de operações de simetria e rotação do arranjo original, itens b e d, respectivamente. Seis (06) dos dez (10) alunos fizeram uso do registro algébrico para mobilizar algum tipo de raciocínio parcial ou total (Figura 53) de natureza algorítmica, apesar do tratamento, a modificação morfológica da figura ou a identificação de nós, ramos e tipos de ligação ser suficiente para identificar a solução.

Figura 53 - Conversão ao registro simbólico algébrico (sujeito E5).



Fonte: protocolos de resposta do Primeiro Estudo.

7.2.3 Cálculo de Resistência Equivalente

A situação descrita a seguir (Figura 54) foi utilizada para avaliar dois pontos: (i) a análise de equivalência de diagramas (a partir do tratamento no registro icônico formal), uma vez que operações invariantes foram realizadas e, a partir da interpretação das ligações, (ii) a conversão deste ao registro simbólico para realização de procedimentos algébricos. A resistência equivalente de 7Ω , projetada a partir dos terminais em aberto, é obtida pela associação série de três componentes: um resistor de 3Ω ; outros dois arranjos semelhantes em que se obtém dois resistores equivalentes de 2Ω do paralelismo entre $(3\Omega + 3\Omega)$ e 3Ω .

Figura 54 - Conversão do registro icônico ao simbólico (sujeito E2).

Situação 2 – Determine a resistência equivalente em cada um dos circuitos apresentados.

Item	Circuito	Resposta
(a)		
(b)		
(c)		

Fonte: protocolos de resposta do Primeiro Estudo.

Avaliou-se a interpretação frente o polimorfismo visual intencionalmente gerado. Dos resultados, os sujeitos mobilizaram outro registro, o algébrico, para chegar à resposta, algo notadamente esperado face o modelo da situação. Todavia, a maioria expôs erros na manipulação das expressões (erro de tratamento) neste registro de análise. Apenas três sujeitos (E2, E6, E8) esboçaram tentativas de reorganizar o registro icônico formal em outros formatos, talvez em significados perceptíveis ao quadro simbólico das ligações internalizado individualmente.

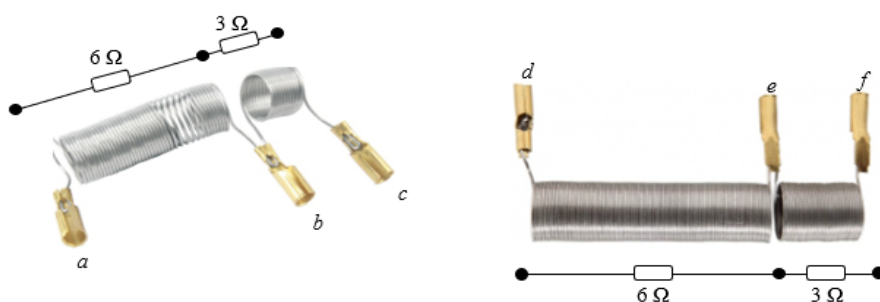
Dos trinta (30) protocolos (3 itens, 10 sujeitos), apenas um deles (sujeito J) expôs resolução completa correta à situação, no entanto, sem a coordenação de hipóteses generalizáveis. Outros dois tiveram êxito apenas no item (a) para um, e no item (c) para outro (protocolo do sujeito E2 - Figura 54). Nenhum sujeito referenciou a correspondência biunívoca entre os diagramas, incluindo aquele com resolução algébrica correta – demonstrando compreensão operatória. A maioria produziu soluções indicativas de que os arranjos eram distintos.

7.2.4 Abordagem Qualitativa: Resistência do Chuveiro

A situação-problema abordou uma análise qualitativa que envolve os conceitos de serialização e paralelismo na obtenção de resistência equivalente mediante associação de resistências de chuveiro elétrico (Figura 55).

Figura 55 - Situação-problema sobre R_{eq} : resistências de chuveiro.

Situação 3 - Considere os dois resistores elétricos apresentados abaixo. Eles são comumente utilizados em chuveiros elétricos comercialmente disponíveis, os quais possuem chaves seletoras tipo inverno/verão. São de materiais diferentes, porém apresentam características resistivas semelhantes. Seus terminais estão identificados.



A partir das informações, represente uma associação entre os resistores (produza combinação) de modo que a resistência equivalente a partir de dois terminais (que você deve informar) seja:

a) A maior possível

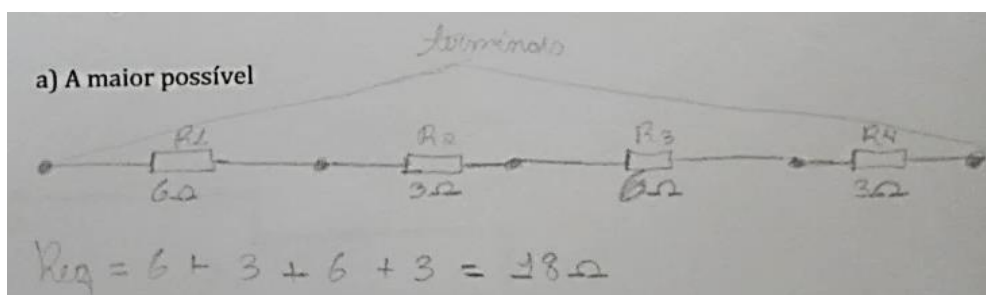
b) A menor possível

Fonte: FACCE.

O perfil semiótico icônico abordado na situação considerou a imagem de duas resistências comuns de chuveiro elétrico com representação formal também indicada. O foco era analisar a percepção qualitativa em relação à serialização e ao paralelismo como formas que poderiam levar à solução da situação apresentada: o aumento do número de resistores em série decorre em uma resistência equivalente maior; o aumento do número de resistores em paralelo desdobra-se em uma menor resistência equivalente.

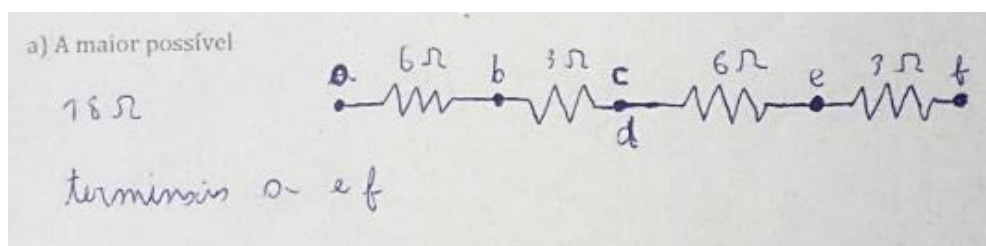
O estudante E9 abdicou da resolução do problema, de modo que nove (09) protocolos de resposta foram avaliados. Quanto à percepção conceitual de que a associação série entre resistores é aquela que permite o maior valor da resistência equivalente, desdobramento da aplicação da Lei de Kirchhoff para Tensões (LKT), seis (06) sujeitos expuseram protocolos de resposta adequados. Apenas um deste universo utilizou exclusivamente o registro da língua natural (sujeito E1) para expor sua resposta: “A maior possível será em série, em que a resistência equivalente será 18Ω ”. Os demais expuseram seu raciocínio com desenho (registro icônico) junto a alguma expressão simbólica (algébrica) – registro discursivo multifuncional – e/ou materializaram discursivamente por meio da língua natural (monofuncional) – Figuras 56 e 57.

Figura 56 - Associação série com resistências de chuveiro (sujeito E3).



Fonte: protocolos de resposta Estudo do Primeiro Estudo.

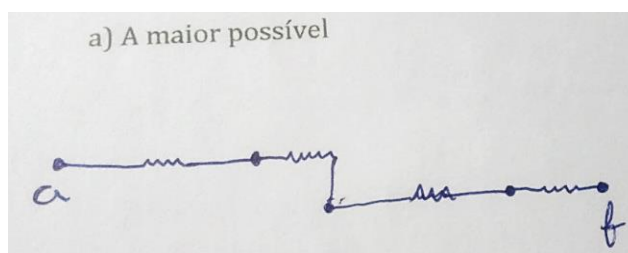
Figura 57 - Associação série com resistências de chuveiro (sujeito E5).



Fonte: protocolos de resposta do Primeiro Estudo.

Dos nove (09) sujeitos, três (E2, E4, E7) fizeram uso apenas do registro icônico pictórico para proferir respostas, sendo que apenas um (01) apresentou solução adequada (Figura 58). Foram verificadas “tentativas” (esboços apagados parcialmente) nos protocolos dos dois sujeitos que não chegaram à solução.

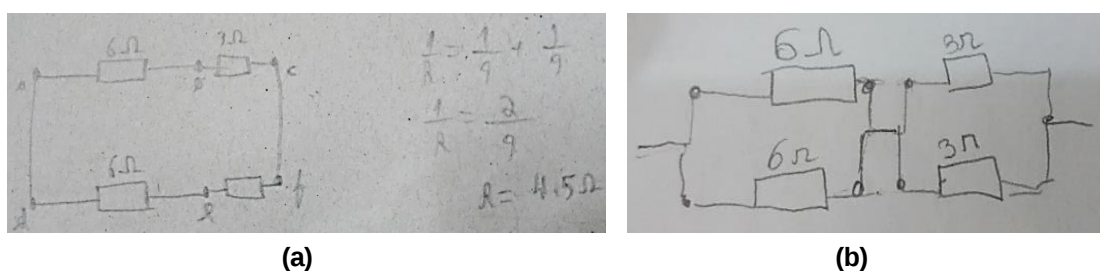
Figura 58 - Associação série com resistências de chuveiro (sujeito E4).



Fonte: protocolos de resposta do Primeiro Estudo.

Em relação à obtenção do menor valor de resistência equivalente, cuja solução é 1Ω (associação dos componentes em paralelo), apenas o sujeito (E10) fez correta referência em dois registros diferentes - simbólico e icônico. Este sujeito procedeu com uma série de operações de tratamento com transformações figurais. Seis dos nove estudantes não obtiveram êxito na resolução, de modo que a maioria propôs uma associação mista (série-paralelo ou paralelo-série) a partir dos terminais, visualmente, mais externos de cada combinação de resistores (Figuras 59a e 59b).

Figura 59 - Paralelismo das resistências de chuveiro: (a) sujeito E7; (b) sujeito E8.



Fonte: protocolos de resposta do Primeiro Estudo.

Outro sujeito (E1) fez referência correta no registro da língua natural mas apresentou resultado errôneo no registro simbólico, expondo, tal qual a maioria dos demais na operação de frações, dificuldades na manipulação de expressões (tratamentos) associadas com o registro simbólico: $R_{eqp} = [\sum_{k=1}^n (1/R_k)]^{-1}$.

Sendo:

R_{eqp} : Resistência equivalente da associação em paralelo;

$k = 1, 2, \dots, n$: número de resistores da associação;

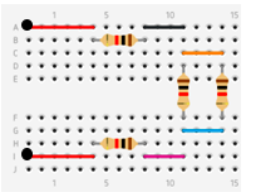
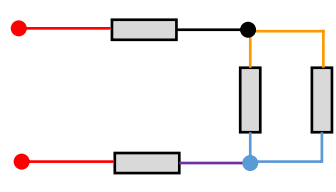
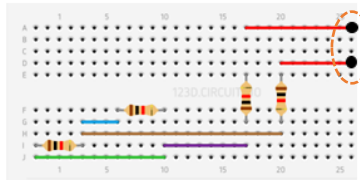
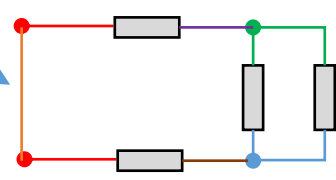
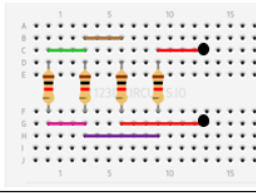
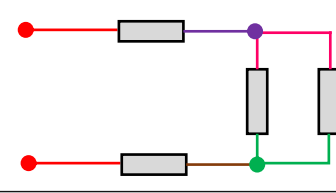
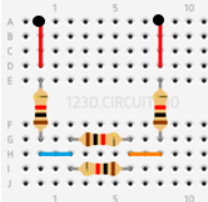
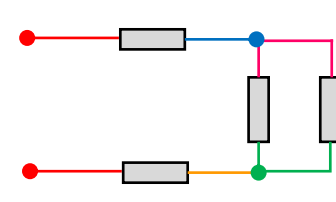
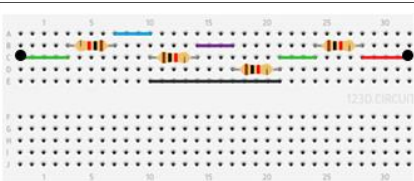
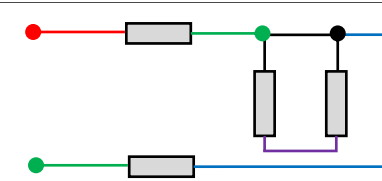
R_k : k-ésimo resistor da associação.

O sujeito (E5) apresentou resultado correto no registro simbólico algébrico, porém não conseguiu expor o diagrama resultante no registro icônico.

7.2.5 Interpretação do Registro Icônico: Empírico $\rightarrow$ Pictórico

O Tratamento no registro icônico objetivou reconhecer variabilidades morfológicas de representações empíricas no *protoboard* (Figura 60).

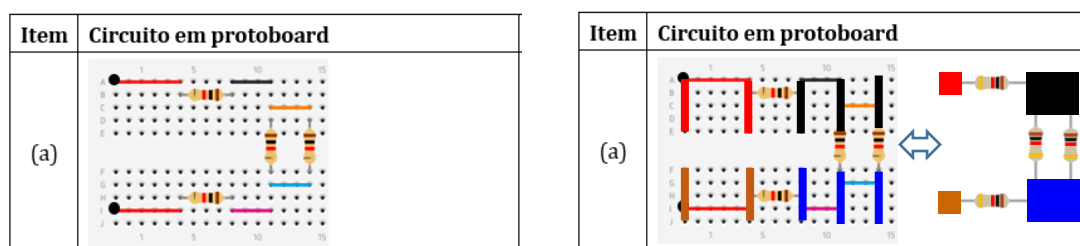
Figura 60 - Solução da situação-problema: representação icônica empírica.

Item	Circuito em protoboard	Representação formal
(a)		
(b)		
(c)		
(d)		
(e)		

Fonte: autor.

A maioria dos casos (itens a, c, d) foi administrada com um significado único: uma associação em paralelo entre dois resistores e, esta primeira, associada em série com dois outros. No item (b) há um curto-circuito entre os terminais em aberto. Em outro (item e), há um curto entre dois resistores. Uma nova perspectiva da matriz destacando-se os nós elétricos e os terminais em aberto pode enfatizar esta percepção (Figura 61). No trecho especificado, eles são representações icônicas de fios e das “soldas”. Portanto, observa-se que cinco terminais (pontos) na vertical estão conectados entre si.

Figura 61 - Destaque aos terminais dos componentes.



Fonte: autor.

A opção pela forma e organização das respostas no registro icônico pictórico dos cinco casos permitiu revelar alguns indicadores. Um elemento objetivo é o número de diagramas referenciados de maneira adequada; outro, se o tratamento revela raciocínios intuitivos não coordenados com a teoria. De maneira complementar, foi verificada a menção explícita às ligações paralelo (item “c”) e série (item “e”), as quais podem expor preponderância da resolução imediata em função da disposição dos resistores.

Ainda, foi avaliada a dificuldade de interpretação pictórica do nó em sua disposição horizontal (não há ligação direta entre os pontos na horizontal, apenas através de ligações externas). É passível, assim, atribuir-se em equívoco o significado topológico a nós elétricos adjacentes horizontalmente. Como citado, a sequência de cinco (05) pontos na “vertical” refere-se a um único nó elétrico, regra construtiva. Neste caso, a ligação efetiva entre dois terminais, ou dois ramos, não precisa ocorrer através de pontos adjacentes. Por fim, a percepção sobre curto-circuito (itens “b” e “e”) e a taxa de êxito foi especificada em relação ao total de casos disponibilizados para análise (Tabela 2).

Tabela 2 – Análise do registro icônico empírico revelado pelo desenho.

Indicadores		Sujeitos										%
		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	
Raciocínio influenciado por aspectos morfológicos		X	X	X	X		X	X	X		X	80
Menção explícita ao paralelismo (item c)		X	X	X			X	X				50
Menção explícita a seriação (item e)			X	X	X		X	X	X			60
Dificuldade na apreciação do nó elétrico (horizontal)			X	X	X			X	X			50
Dificuldade na apreciação do nó elétrico (vertical)		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	100
Percepção sobre curto	Parcial		X							X	X	30
	Total											0
Resposta correta	nº de itens	2	2	2	2	4	2	2	2	4	4	52
	(%)	40	40	40	40	80	40	40	40	80	80	-

Fonte: protocolos de resposta (elaborada pelo autor).

Apenas um (01) sujeito (E1) não proferiu tentativas de resposta a todos os itens, deixando “b” e “e” sem solução (no item “b” ainda houve uma tentativa preliminar, apenas com traços parcialmente representados). Este mesmo sujeito admitiu que o nó elétrico em uma trilha superior do *protoboard* se estendia à parte inferior (como se 10 pontos na vertical se referissem a um único nó), apesar de não existirem ligações externas. A maioria dos sujeitos expôs resposta correta aos itens “a” e “d”, considerados mais simples sob a ótica dos requisitos cognitivos de análise (disposição espacial com referência intuitiva das ligações reais).

Houve dificuldades em relação à apresentação de solução a situações com disposição morfológica de percepção distinta das ligações elétricas reais. Revelou-se para os sujeitos algum tipo de dificuldade em interpretar o significado do nó elétrico na representação icônica pictórica do *protoboard*, em especial na disposição “vertical”, a qual influenciava mais diretamente a interpretação da ligação série e de curto-circuitos. Apenas três sujeitos (E2, E9, E10) expuseram uma percepção parcial do nó em um dos casos. O emprego de conexões através de pontos “verticais” não adjacentes, gerador de várias possibilidades construtivas, se mostrou de difícil aceitação pelos sujeitos.

7.2.6 Interpretação do Registro Icônico: Formal → Empírico

Foi solicitado aos sujeitos representar, sob a imagem do *proto-board*, cada uma das topologias que lhes foram apresentadas no registro icônico formal.

- i) associação série entre dois resistores (R_1 , R_2) dispostos em alinhamento;
- ii) associação série entre três resistores (R_1 , R_2 , R_3) dispostos sequencialmente, sendo que um deles estava disposto figurativamente em 90° em relação aos demais;
- iii) associação mista: serialização (R_2 , R_3) e, esta, em paralelo com outro resistor (R_1), este último disposto figurativamente em 90° em relação aos demais;
- iv) associação mista: serialização (R_1 , R_2) em paralelo com outra serialização (R_3 , R_4);
- v) associação mista: serialização (R_1 , R_2) e, esta, eletricamente e morfologicamente em paralelo com outro resistor (R_3);
- vi) associação mista: paralelismo (R_1 , R_2 , R_3) e, esta, em série com outro resistor (R_4), com elementos figurativos em formato Δ .

Seis (06) itens foram explorados, resultando nos indicadores da Tabela 3:

Tabela 3 – Análise do registro icônico formal revelado pelo registro icônico empírico (desenho do *proto-board*) – Primeiro Estudo.

Indicadores		Sujeitos										%
		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	
Raciocínio claramente influenciado por aspectos morfológicos		X	X	X	X		X	X	X		-	77,8
Descuido/dificuldades quanto a regras explícitas do recurso		X	X	X	X		X	X	X		-	77,8
Tratamento resultou em, pelo menos, uma solução coordenada		X				X	X	X		X	-	44,4
Manifesta noção sobre a dimensão física dos componentes						X	X	X	X	X	-	55,6
Resposta correta	nº de itens	4	0	1	0	5	3	0	0	2	-	26,8
	(%)	66,7	0	16,7	0	83,3	50	0	0	33,3		

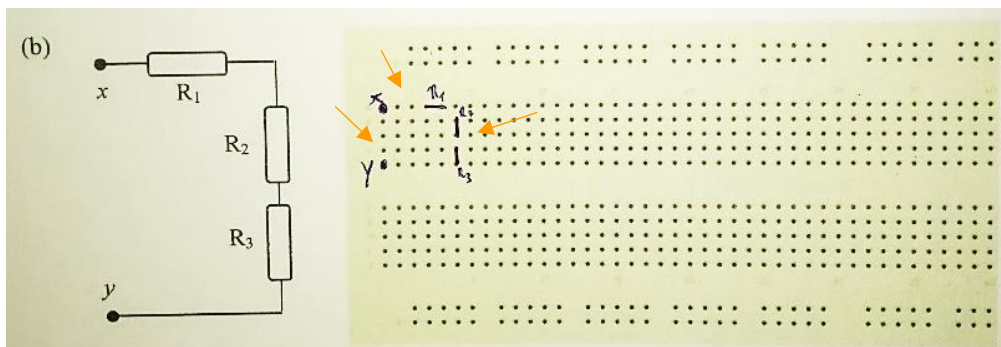
Fonte: protocolos de resposta (elaborada pelo autor).

Em síntese, através da análise dos protocolos é possível destacar:

- A construção de soluções com raciocínio superficial, sem evidências de que alguns sujeitos compreenderam as regras operativas do *proto-board*.

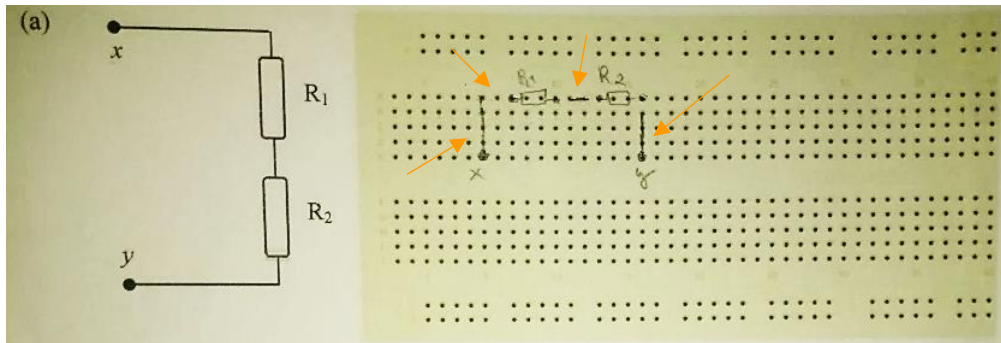
- A influência da imagem que subscreve as ligações. Os sujeitos produziram soluções vinculadas à aparência, por vezes sem tratamento icônico (Figura 62) ou sem relacionamento coerente com os tipos de ligação (Figura 63);
- A assimilação morfológica induz a violação das regras operacionais do recurso representado (*protoboard*): há a tentativa de reproduzir o padrão formal, revelando inclusive tentativas fisicamente não exequíveis (Figuras 64).

Figura 62 - Protocolo parcial: icônico formal → empírico (sujeito E4).



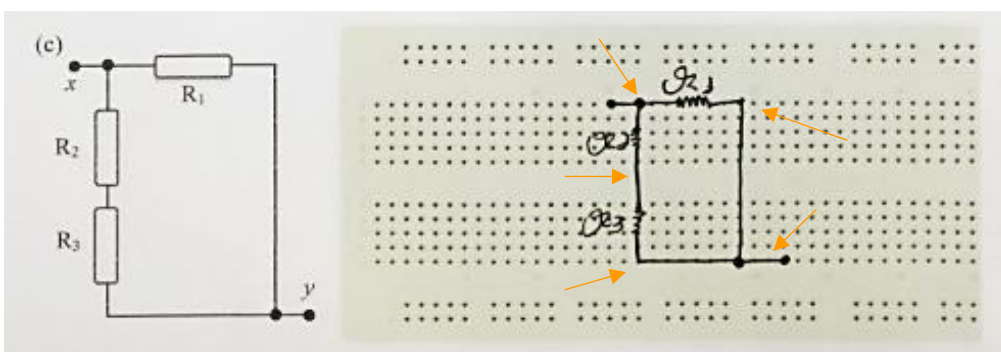
Fonte: protocolos de resposta do Primeiro Estudo.

Figura 63 - Protocolo parcial: icônico formal → empírico (sujeito E7).



Fonte: protocolos de resposta do Primeiro Estudo.

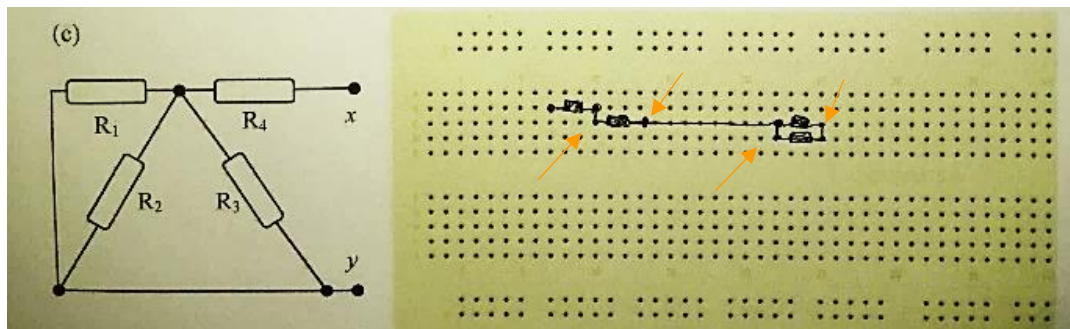
Figura 64 - Protocolo parcial: icônico formal → empírico (sujeito E2).



Fonte: protocolos de resposta do Primeiro Estudo.

Chama atenção que, mesmo considerando parcialmente as regras de posição e o compartilhamento de nó para os resistores, há a constatação em alguns protocolos da realização de ligação física entre dois pontos que se referem ao mesmo nó elétrico, além de superposição de terminais (Figura 65).

Figura 65 - Protocolo parcial: icônico formal → empírico (sujeito E6).



Fonte: protocolos de resposta do Primeiro Estudo.

Esses tratamentos quase-instantâneos produzem as informações e as significações que um sujeito tem imediatamente consciência (DUVAL, 2009). Na seleção do conjunto de caracteres de um registro para a produção na unidade figural empírica, fica evidente que pode haver atributos insuficientemente extraídos pelo sujeito, o que pode dificultar o processo de transformação icônica.

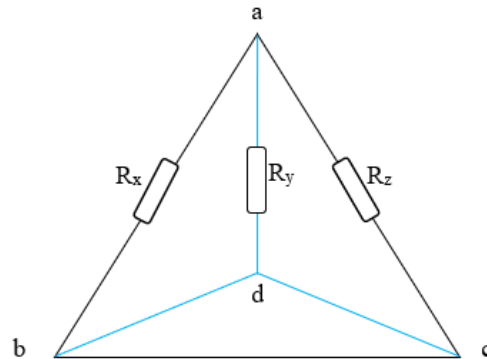
Ao comparar pontualmente esta situação (registro icônico: formal → empírico) com a situação apresentada na seção anterior (registro icônico: empírico → pictórico), nota-se que as atividades de conversão semiótica mudam segundo o sentido em que ocorre a passagem de um registro a outro, expondo dificuldades cognitivas distintas. A coordenação na apresentação da solução se mostrou mais difícil aos sujeitos no sentido da produção figural empírica.

7.2.7 Abordagem Qualitativa: Paralelismo no Tetraedro

A situação envolveu a análise da ligação paralela entre resistores admitindo duas representações distintas para o nó elétrico: um ponto que une os terminais de três resistores; uma figura que se assemelha a um triângulo, unindo os três outros terminais. A imagem gerada exibe formato não convencional. Quatro pontos são destacados (a, b, c, d), sendo que três deles têm o mesmo significado elétrico (b, c, d). A situação administrada é apresentada na Figura 66.

Figura 66 - Solução da situação-problema sobre representação icônica empírica.

Situação 6 – Considere a topologia abaixo, a qual é formada por resistores idênticos entre si e de resistência R .



Informe a resistência equivalente entre os pontos: (i) a e b; (ii) a e c; (iii) a e d.

Fonte: autor.

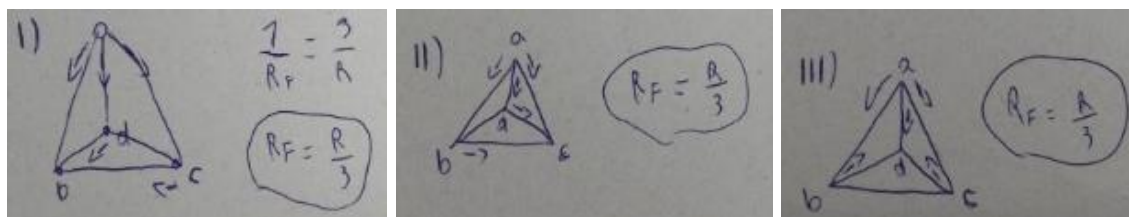
Apenas dois sujeitos (E4, E5) desenvolveram produções corretas, dentre oito apresentadas, de modo que a maioria não reconheceu a ligação em paralelo no formato apresentado. Mais detalhes sobre protocolos no Quadro 13.

Quadro 13 – Elementos dos protocolos sobre o tetraedro: Primeiro Estudo.

Sujeito	Análise descritiva dos protocolos
E1	Protocolo confuso. Registro simbólico com problemas dimensionais (unidade de resistência). Não foi possível identificar o raciocínio. Sujeito mencionou que a resistência equivalente (i) e (ii) eram as mesmas, porém distintas de (iii).
E2	Protocolo aponta que o sujeito admitiu que dois dos resistores se encontravam em paralelo e, esta primeira associação, estava em série com o terceiro resistor. Verificou-se uso do registro simbólico, porém de modo não conceitual. Sujeito descreveu que a resistência equivalente em (i), (ii) e (iii) eram as mesmas: $3R/2$.
E3	Protocolo produzido ignorou as ligações entre os componentes. Sujeito confunde resistência equivalente com resistência individual (raciocínio local). Sujeito indica que a resistência equivalente (i), (ii) e (iii) é a mesma: R .
E4	Protocolo aponta a utilização do registro algébrico adequadamente, indicando a resistência equivalente $R/3$ a partir dos terminais solicitados.
E5	Protocolo indica uso do registro algébrico e uma aparente análise da circulação eventual de corrente elétrica ao longo dos ramos, indicando diretamente a resistência equivalente $R/3$ a partir dos terminais solicitados (Figura 66).
E6	Protocolo não esclarece raciocínios mais detalhados. Não há como identificar se o sujeito interpreta o diagrama como uma associação série ou se ele admite que é uma associação em paralelo cuja concepção de raciocínio paralelo indicaria o aumento da resistência equivalente. Sua resposta foi $R_{eq} = 3R$.
E7	Protocolo permite notar que se admitiu que dois dos resistores estavam em paralelo e, esta primeira associação, estava em série com o terceiro resistor (semelhante a E2). Verificou-se uso do registro simbólico, porém de modo não conceitual e com problema dimensional (unidade de resistência).
E8	Protocolo revela uso adequado da formulação algébrica através do registro simbólico, no entanto, também expõe erro na manipulação de equação cuja variável principal a determinar se encontra no denominador de uma fração.

Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 67 - Protocolo de resolução: paralelismo no tetraedro (sujeito E5).

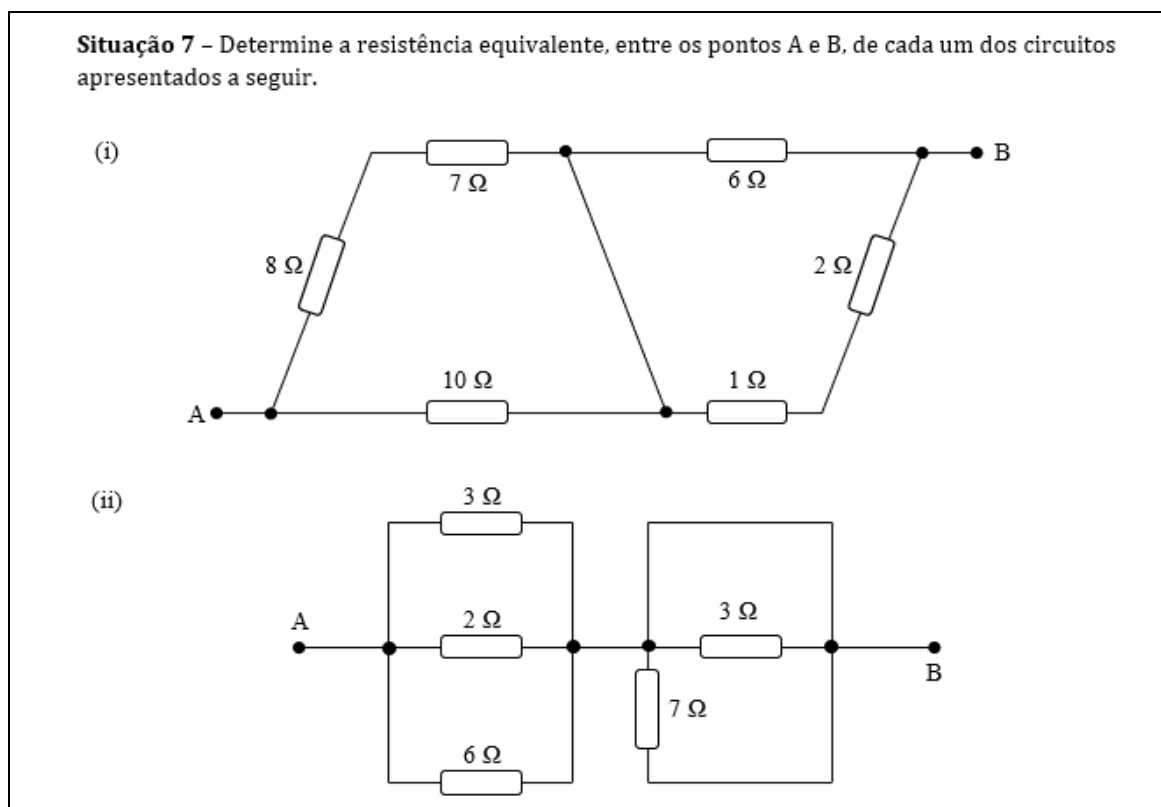


Fonte: protocolos de resposta do Primeiro Estudo (2020).

7.2.8 Resistência Equivalente em Circuitos Mistos

A situação-problema em tela envidou a interpretação de diagramas com vários resistores no intuito da realização do cálculo da resistência equivalente a partir de terminais específicos do arranjo (Figura 68), ampliando o conjunto não discursivo. No primeiro arranjo foi projetada uma resistência equivalente de 8Ω a partir dos terminais A e B. No segundo arranjo a resistência equivalente é 1Ω .

Figura 68 - Situação-problema para interpretação icônica e operação algébrica.



Fonte: FACCE.

As respostas permitiram observar os sujeitos a partir da interpretação do registro icônico formal, enfatizando a conversão ao registro algébrico e

características das operações de tratamento neste último (Tabela 4). Nos itens foram avaliadas dificuldades interpretativas quanto às ligações série e paralelo, elementos figurativos sobre o conceito de nó, curto-circuito, além da formulação e resolução algébrica diretamente induzidas para cálculo de resistor equivalente.

Tabela 4 – Elementos dos protocolos de resposta em relação aos processos de conversão e tratamento nos registros icônico e simbólico: Primeiro Estudo.

Registro	Dificuldades de interpretação reveladas sobre	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	%
Ícônico formal (tratamento)	associação em série	X		X	X		X	X		62,5
	associação em paralelo	X	X	X	X	X	X			75,0
	nó elétrico (figurativo seriação)					X				12,5
	curto-circuito (concepção)	X	X	X	X	X	X	X	X	100,0
Simbólico (tratamento)	Equacionamento (formulação)	X		X		X	X	X		62,5
	operação algébrica	X			X	X	X			50,0

Fonte: protocolos de resposta (elaborada pelo autor).

Em relação aos sujeitos, a análise dos protocolos ressalta:

- No item (i), a não percepção da associação série entre os resistores de 8Ω e 7Ω ou entre os de 1Ω e 2Ω , além da influência de uma noção falsa para propor que os resistores de 8Ω , 7Ω e 10Ω estão em série;
- A admissão ao falso paralelismo expressa por cinco (05) sujeitos - raciocínio morfológico entre os pares de resistores: 8Ω e 2Ω ; 7Ω e 10Ω ; 1Ω e 6Ω ;
- Que não foi uma aparente dificuldade reconhecer que o nó elétrico representado pelo segmento de reta (figurativo) no item (i) indicava a associação série dos resistores equivalentes adjacentes;
- A dificuldade de reconhecimento do conceito de curto-circuito, indicando sua concepção não científica associada (*short circuit*): o sujeito despreza a conexão caso não haja algum componente na ligação entre os nós elétricos.

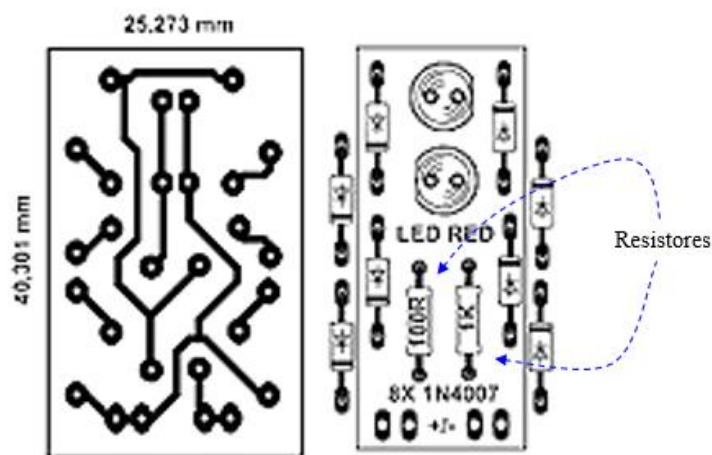
- Parcialmente, apenas dois sujeitos consideraram que o resistor de 3Ω (no caso de E7) ou o resistor de 7Ω (no caso de E8) se encontravam em curto;
- A dificuldade da maioria dos estudantes em formular (expressão para o cálculo de resistência equivalente - R_{eq}) e realizar a operação de soma com frações, fundamental quando da presença de resistores em paralelo.

7.2.9 A Imagem da Placa de Circuito com Trilhas

Nesta situação (Figura 69), procurou-se explorar a percepção sobre a ligação entre dois componentes dispostos sob placa de circuito perfurado a partir da exposição de suas duas faces. Em virtude de demanda física espacial e eventual critério de escolha do projetista, a maioria dos componentes se encontra como que sobre retas paralelas (visualmente). Contudo, isto não diretamente associa o tipo de ligação elétrica inerente à topologia do arranjo.

Figura 69 - Situação-problema para interpretação icônica empírica em PCB.

Situação 8 – Uma certa placa de circuito impresso apresenta dois resistores (100Ω e $1k\Omega$). As imagens a seguir representam a disposição dos componentes elétricos e as ligações entre eles, as quais devem ser analisadas sobrepostas.



Em relação aos resistores é CORRETO afirmar que:

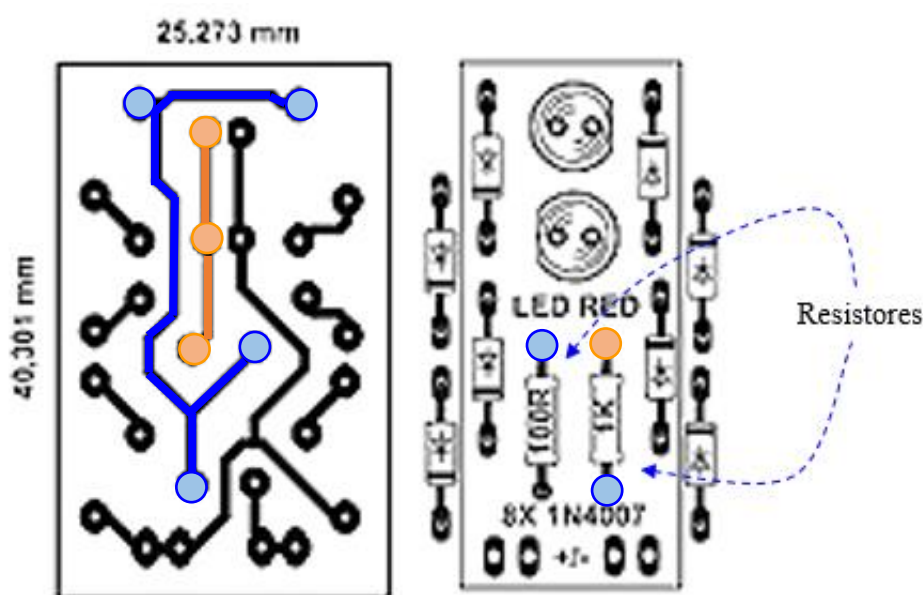
- (a) Estão conectados em série. (b) Estão conectados em paralelo. (c) Não estão conectados diretamente entre si.

Fonte: FACCE.

As conexões são interpretadas a partir das trilhas elétricas (caminho sobre a superfície da placa por onde circulará a corrente elétrica) em sua face

oposta. Esta é uma demanda comum a profissionais que lidam com a construção ou com o reparo de circuitos eletrônicos, além de que alguns programas computacionais oferecem opções para criação do *layout* dessas placas. A operação de tratamento do registro não discursivo, neste caso, tem uma regra perceptiva importante de visualização sob duas faces, apesar da representação no plano. Considerando uma percepção de camadas (*layers*) ou a necessidade de rotação de uma delas (faces opostas), nota-se que existe um nó elétrico comum, apontando que os resistores se encontram em série (Figura 70).

Figura 70 - Destaque aos nós elétricos através das trilhas de conexão do PCB.



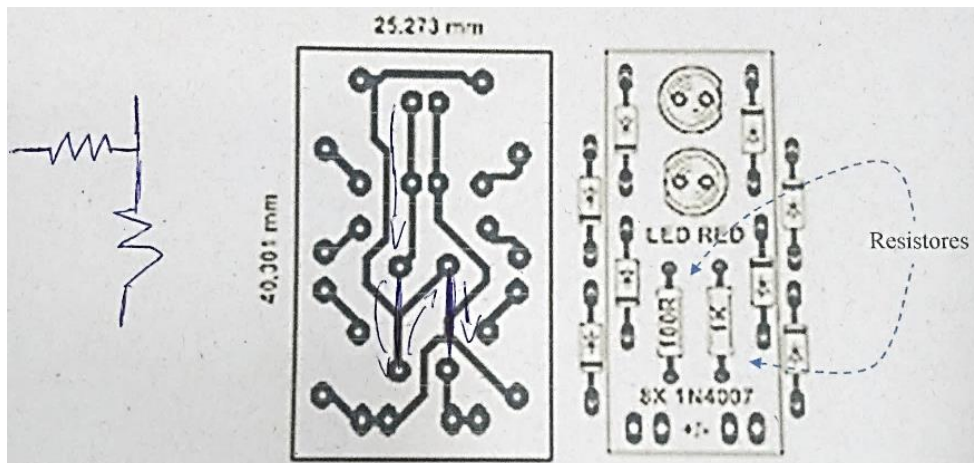
Fonte: autor.

Em relação aos resultados, foi efetuado o agrupamento das respostas admitindo-se quatro (04) possibilidades interpretativas: que se referia a uma associação em série, que tratava de uma associação em paralelo, a inexistência de conexão entre os resistores e, a manifestação de uma mudança de resposta durante a resolução. Oito (08) sujeitos responderam à situação, destacando-se:

- Quatro sujeitos (E1, E2, E5, E6) indicaram corretamente a associação série, sendo que um deles (E1) admitiu previamente não haver conexão entre os resistores, revelando uma “tomada de consciência” após algum tempo;
- Dois sujeitos (E3, E8) sugeriram existir uma associação em paralelo;
- Dois sujeitos (E4, E7) admitiram inexistir a conexão entre os componentes.

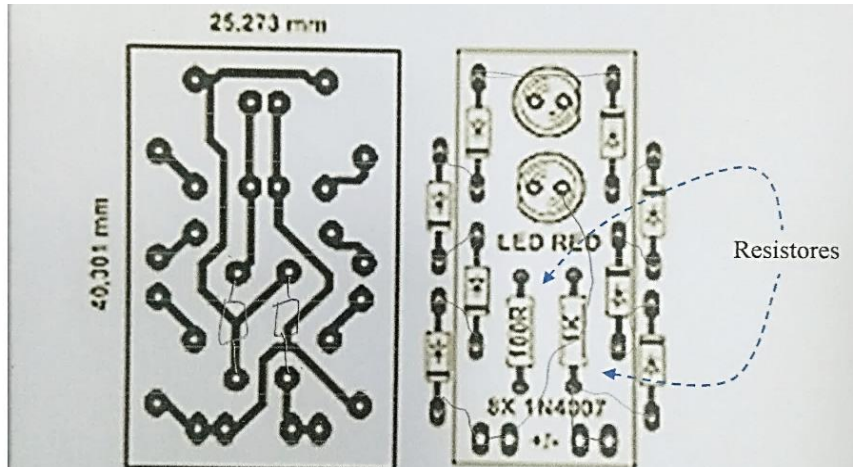
É importante mencionar que um dos estudantes (E5) efetuou um esboço sobre a circulação de corrente elétrica na placa, de modo a balizar sua resposta (Figura 71); outro (E7), apesar da tentativa de estruturação figural de parte de uma imagem sobre a outra, não conseguiu identificar as conexões (Figura 72).

Figura 71 - Protocolo: interpretação icônica do PCB (sujeito E5).



Fonte: protocolos de resposta do Primeiro Estudo.

Figura 72 - Protocolo: interpretação icônica do PCB (sujeito E7).



Fonte: protocolos de resposta do Primeiro Estudo.

Analisando os protocolos, percebe-se pontualmente a aplicação do conceito de corrente elétrica para identificar a associação série (Figura 71), fomentando equilíbrio dinâmico do sistema de interação sujeito/ambiente na compreensão conceitual. Para o caso da Figura 72, sugere-se um raciocínio qualitativo na estruturação parcial dos resistores da segunda imagem em superposição às trilhas, no entanto, o sujeito não conseguiu identificar a ligação.

7.2.10 Conversão: Língua Natural → Icônico → Protoboard

A etapa admitiu um processo de conversão da língua natural para o registro icônico e a construção no *protoboard*. Sete (07) sujeitos (E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7) produziram respostas a esta situação-problema (Figura 73).

Figura 73 - Situação para ilustração e representação física no *protoboard*.

Situação 9.1 – Esboce e em seguida construa redes resistivas na matriz de contatos (*protoboard*) respeitando as regras definidas abaixo.

Caso 1 – A rede deve conter cinco resistores associados em série.

Caso 2 – A rede deve conter três resistores associados em paralelo.

Caso 3 – Conecte as redes dos casos 1 e 2 em paralelo.

Situação 9.2 – Esboce e em seguida construa redes resistivas na matriz de contatos (*protoboard*) respeitando as regras definidas abaixo.

Caso 1 – A rede deve conter dois resistores associados em paralelo. Esta combinação de resistores deve estar em série com um terceiro resistor.

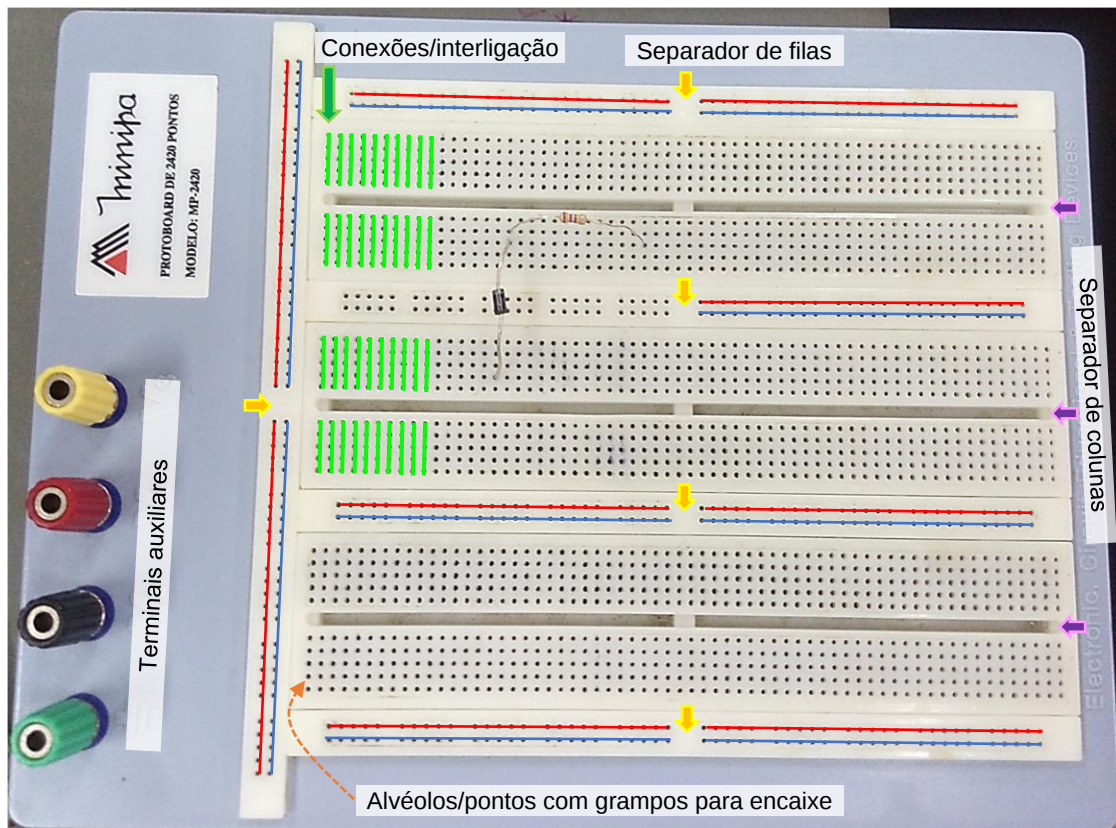
Caso 2 – A rede deve conter três resistores associados em conexão do tipo triângulo. Cada resistor, individualmente, deve apresentar um outro resistor em paralelo.

Fonte: FACCE.

A situação permitiu que os sujeitos tivessem a experiência de *ilustração* na representação de ligações série, paralelo, associação mista e Δ /paralelo. Foi disponibilizada matriz (2420 pontos), cuja pré-análise é essencial para reconhecer atributos e características de respostas (Figura 74). O recurso possui nós elétricos distribuídos através de filas horizontais/verticais e colunas verticais. Separadores são indicados ao longo da plataforma de modo que se entendam divisões. O *protoboard* é normalmente construído a partir de materiais condutores e isolantes. Ele dispõe de alvéolos metálicos que possuem grampos de encaixe para conexão dos terminais de componentes ou de cabos auxiliares.

Foi pré-definido o número de resistores, algo se desdobraria em uma análise físico-dimensional no recurso empírico a partir do tamanho real de cada componente e, desta forma, com demanda distinta do registro icônico pictórico (imaterial). Os sujeitos produziram arranjos mediante manipulação dos componentes na placa, expondo uma experiência concreta no domínio tecnológico analógico.

Figura 74 - Organização das interligações e divisões no *protoboard*.



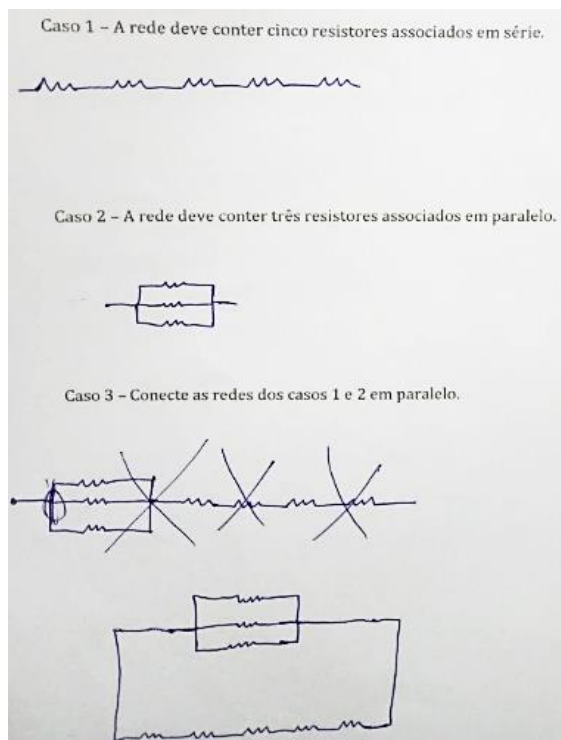
Fonte: autor.

O conjunto de respostas foi avaliado sob o ponto de vista da ilustração (conversão: língua natural → icônico) e da ação empírica (registros → domínio tecnológico analógico). Os principais resultados das análises foram:

- **Ilustração:**

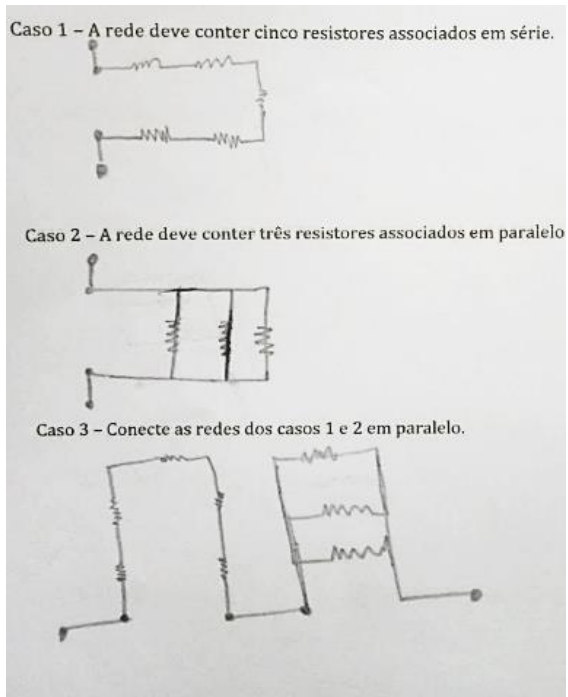
- Na associação série prevalece produção básica via representação alinhada dos resistores (E1, E3, E4, E5, E6, E7) – Figura 75. Apenas o sujeito E2 dispôs uma representação “não linear” (Figura 76). Os protocolos inerentes à associação em paralelo revelaram produção vinculada a propriedades espaciais, uma estruturação superficial;
- No caso da primeira associação mista (agrupando no mesmo diagrama a associação série e paralelo propostas), houve, pela maioria dos sujeitos, dificuldade no processo de tratamento a partir dos diagramas prévios (E1, E2, E3, E6, E7) – Figura 76;

Figura 75 - Protocolo: ilustração
(sujeito E4).



Fonte: protocolos de resposta do
Primeiro Estudo.

Figura 76 - Protocolo: ilustração
(sujeito E2).



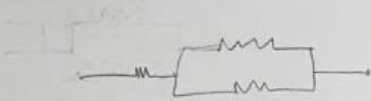
Fonte: protocolos de resposta do
Primeiro Estudo.

- Na associação mista - dois resistores em paralelo e, esta primeira associação, em série com outro resistor, houve prevalente produção de respostas corretas (86%). Exemplos nas Figuras 77 e 78;
- Na associação Δ com resistores em paralelo em cada ramo, as respostas representadas expuseram influência de atributos icônicos em relação à ligação física, incorporando-se também o aspecto vocabular na descrição. Contudo, a ilustração da ligação em paralelo de cada novo resistor na associação Δ foi feita pela minoria dos sujeitos (E2, E6, E7) – Fig. 77. Isto revelou que não seria simples a elaboração do diagrama admitindo a presença dos dois tipos de ligações. A causa provável é de que, para além do aspecto figural, o sujeito tem algum tipo de bloqueio na realização das ligações caso não seja percebida de maneira estrita na vertical ou na horizontal. A maioria dos sujeitos não gerou solução correta ou teve dúvida materializada através de tentativa correta abortada (Figura 78).

Figura 77 - Protocolo: ilustração (sujeito E7).

Situação 9.2 – Esboce e em seguida construa redes resistivas na matriz de contatos (protoboard) respeitando as regras definidas abaixo.

Caso 1 – A rede deve conter dois resistores associados em paralelo. Esta combinação de resistores deve estar em série com um terceiro resistor.



Caso 2 – A rede deve conter três resistores associados em conexão do tipo triângulo. Cada resistor, individualmente, deve apresentar um outro resistor em paralelo.

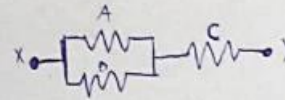


Fonte: protocolos de resposta do Primeiro Estudo.

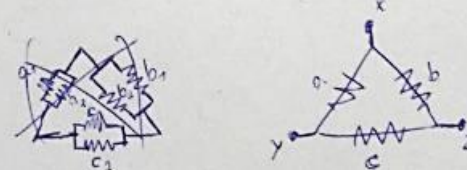
Figura 78 - Protocolo: ilustração (sujeito E5).

Situação 9.2 – Esboce e em seguida construa redes resistivas na matriz de contatos (protoboard) respeitando as regras definidas abaixo.

Caso 1 – A rede deve conter dois resistores associados em paralelo. Esta combinação de resistores deve estar em série com um terceiro resistor.



Caso 2 – A rede deve conter três resistores associados em conexão do tipo triângulo. Cada resistor, individualmente, deve apresentar um outro resistor em paralelo.



Fonte: protocolos de resposta do Primeiro Estudo.

- **Materialização experimental no protoboard – primeiro conjunto:**

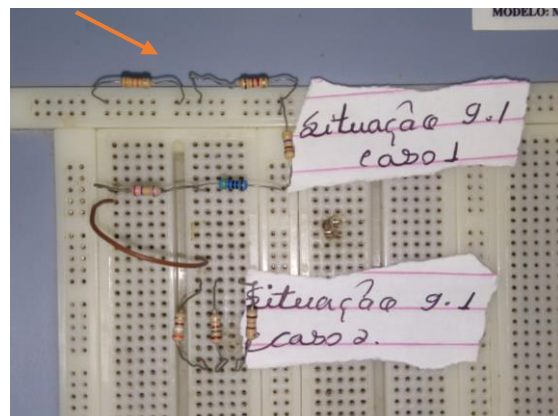
- Para o primeiro conjunto construtivo (série, paralelo, misto), seis sujeitos produziram solução à situação (E1, E2, E3, E5, E6, E7). Todos procuraram reproduzir no recurso experimental a aparência proposta no registro icônico. Na construção da ligação série, cinco deles elaboraram fidedignamente o perfil morfológico alinhado, sendo que apenas um (E7) dispôs os resistores em pontos razoavelmente afastados e os conectou por uso de cabos auxiliares;
- Ainda em relação às ligações em série, três dos seis sujeitos (E1, E2, E7) quebraram as regras básicas de operação do *protoboard*, desconsiderando agrupamentos de cinco pontos na vertical em detrimento à vizinhança “horizontal” do alvéolo de encaixe, ou provocaram algum curto-circuito a partir das filas (Figuras 79 e 80).
- Nas ligações em paralelo, revelou-se que a posição do *protoboard* (vertical, horizontal) pode obstruir a percepção sobre dificuldades. Mesmo que o sujeito manifeste raciocínio morfológico, a correta montagem pode ser obtida a *depende da predileção posicional da matriz*. Todos reproduziram características espaciais. Dois deles (E3, E7) curto-circuitaram os componentes, conectando os dois terminais de cada resistor no mesmo nó elétrico (conjunto de cinco pontos);

Figura 79 - Protocolo: montagem no protoboard (sujeito E1).



Fonte: protocolos de resposta do Primeiro Estudo.

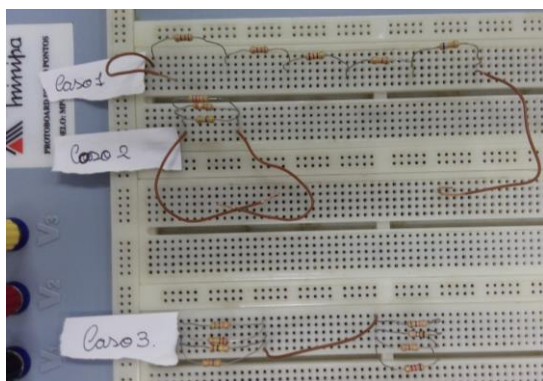
Figura 80 - Protocolo: montagem no protoboard (sujeito E2).



Fonte: protocolos de resposta do Primeiro Estudo.

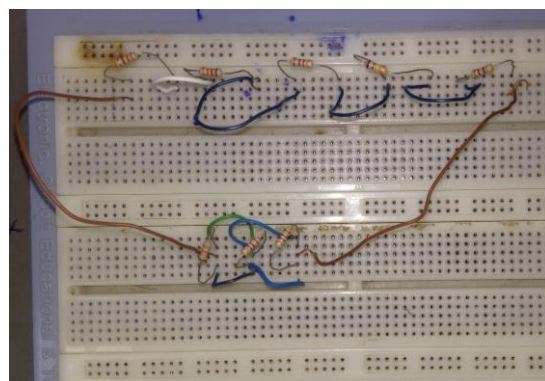
- Três sujeitos (E5, E6, E7) propuseram novas montagens (série e paralelo) para tentar conectar os arranjos em paralelo (Figura 81). Isto, em oposição ao fato da necessidade qualitativa de utilizar apenas dois cabos auxiliares para conectar os circuitos inicialmente propostos, processo realizado corretamente apenas por um sujeito (E3) – Figura 82 – e com tentativa incorreta por outro (E2), o qual utilizou apenas um cabo adicional, sugerindo raciocínio sequencial;
- O sujeito E5, embora tenha construído novos arranjos (Figura 83), não tendo utilizado aqueles previamente idealizados, produziu uma resposta mais elaborada e com diversos tratamentos figurais que mostram a capacidade de coordenar aspectos conceituais.

Figura 81 - Protocolo: montagem no protoboard (sujeito E6).



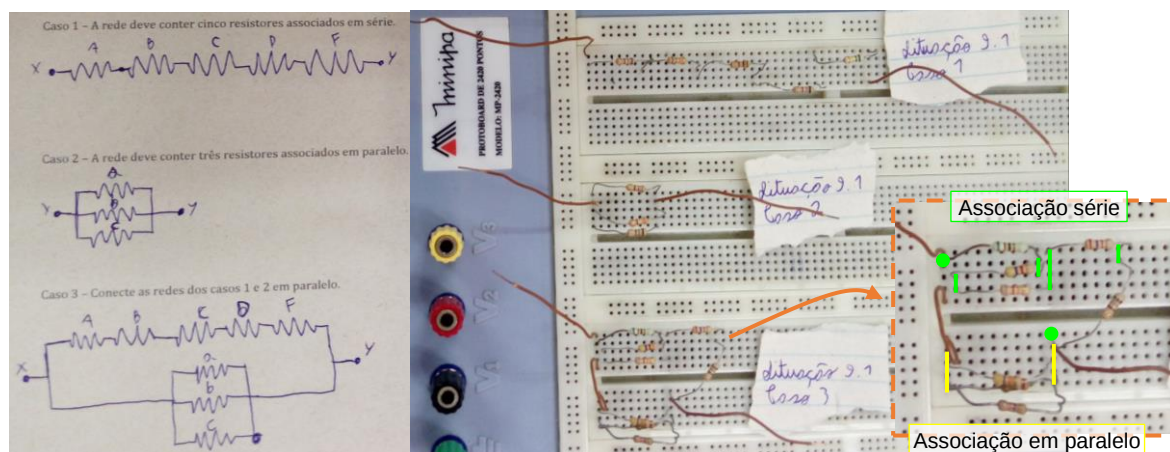
Fonte: protocolos de resposta do Primeiro Estudo.

Figura 82 - Protocolo: montagem no protoboard (sujeito E3).



Fonte: protocolos de resposta do Primeiro Estudo.

Figura 83 - Protocolo: montagem no protoboard (sujeito E5).



Fonte: protocolos de resposta do Primeiro Estudo.

• **Materialização experimental no protoboard – segundo conjunto:**

- Os sujeitos E1, E2, E4, E5, E6, E7 produziram respostas ao segundo conjunto construtivo (associação mista, Δ -paralelo). Três deles (E4, E5, E6) expuseram corretamente a associação mista, enquanto os demais apenas especularam ou exibiram propostas sensoriais morfológicas, negligenciando características do recurso;
- No caso da ligação Δ -paralelo, apenas um (E7) indicou a solução correta, o qual fez uso de transformação figural, destacando apenas dois dos três terminais da ligação Δ . A coordenação dos demais revelou falta de habilidade/bloqueio para resolução da situação (E1) ou, mais uma vez, preponderância morfológica às propostas (E2, E4, E7), além de um protocolo apresentar resolução incompleta (E5).

7.2.11 Brilho de Lâmpadas: Abordagem Conceitual Integrada

Com perspectiva à junção sobre tipos de ligação e o funcionamento de circuitos em corrente contínua, a situação envidou a captura da interpretação dos sujeitos acerca da abordagem integrada de vários conceitos a partir das leis básicas (Ohm; Kirchhoff), ainda que de modo qualitativo (Figura 84).

Figura 84 - Situação-problema para análise conceitual integrada das leis básicas.

Situação 10 – Uma lâmpada nada mais é do que uma resistência. Se essa lâmpada for ideal significa que a sua resistência é aproximadamente constante e desta forma obedece à Lei de Ohm. Suponha 4 (quatro) lâmpadas idênticas e ideais (A, B, C, D) e uma bateria ideal (V_0), compondo os circuitos, nos esquemas (I, II, III) abaixo. Para cada caso [(I), (II) e (III)], classifique as lâmpadas, por ordem de luminosidade. Explique sucintamente o seu raciocínio em cada caso.

Fonte: FACCE (Adaptado de Costa e Catunda, 2008).

O problema pode ser resolvido quantitativamente ou qualitativamente. No segundo caso, admitindo a bateria ideal, a resposta correta ao problema é:

- I. Lâmpadas A e B com a mesma luminosidade. Lâmpadas C e D com a mesma luminosidade entre si. A luminosidade de C e D é maior que a de A e B. No primeiro circuito a corrente é menor em cada lâmpada do que no segundo arranjo. A tensão em cada lâmpada também é menor: $(C=D>A=B)$.
- II. Lâmpadas C e D com a mesma luminosidade. Lâmpadas A e B com a mesma luminosidade entre si. Luminosidade de C e D maior que a de A e B. O mesmo raciocínio do item (I) é válido para este caso: $(C=D>A=B)$.
- III. Lâmpadas C e D com a mesma luminosidade. Lâmpada A com luminosidade superior a de C e D $(A>C=D)$. Maior tensão e corrente na lâmpada A.

Sete sujeitos produziram solução (E1 a E7) à situação. Houve dificuldade para produzir respostas coerentes. Resultados do Caso I são expostos na Tabela 5.

Tabela 5 – Síntese da situação (Caso I) com conceitos integrados (Primeiro Estudo).

Respostas		Justificativa	Concepção
E1	$A=B=C=D$	“as resistências vão ser iguais, portanto a luminosidade vai ser a mesma”	<i>Potência é função só da resistência</i>
E2	$A>B$ e $C=D$	“as lâmpadas A e B possuem luminosidades distintas, sendo que a lâmpada A possui uma luminosidade maior que a lâmpada B. (...) considerando que ambas possuem a mesma potência e a mesma resistência interna, elas teriam a mesma luminosidade se a I_c (corrente) em A fosse igual a I_c (corrente) em B. Mas não é pois há perda de energia durante o fluxo de elétrons. Já em relação às lâmpadas C e D, ambas possuem a mesma luminosidade, pois foram submetidas a uma mesma diferença de potencial”	Série: <i>atenuação;</i> Paralelo: <i>potência é função apenas da tensão.</i>
E3	$A>B$	“A lâmpada A terá mais luminosidade pois a B já terá como consequência a resistência da lâmpada A”	<i>Atenuação</i>
E4	$A>B>C>D$	“Levei em consideração o sentido da corrente elétrica e a tensão de cada associação”	<i>Atenuação + raciocínio posicional</i>
E5	-	<i>Tentou comparar os arranjos (I), (II) e (III). Fez tratamentos simbólicos (algébricos) para obter R_{eq} e indicou que “quanto maior a luminosidade maior a resistência”.</i>	<i>Potência é função da resistência</i>
E6	$A=B>C\neq D$	“(A e B) terão a mesma luminosidade pois a corrente vai ser a mesma que entra, já que está em um circuito em série. (C e D apresentarão) luminosidades diferentes já que a corrente vai ser dividida seguindo 2 nós diferentes”. Classificou A e B como “luminosas”, C e D como “pouco luminosas” - Corrente se divide: menor luminosidade -	Série: <i>potência é função só da corrente;</i> Paralelo: <i>explicação confusa.</i>
E7	$A=B>C=D$	“A e B são as que mais fornecerão luz, pois a corrente não é decomposta como no segundo caso. C e D ficarão em segundo lugar porque analisando $R = V/I$, e como a tensão na maioria das vezes é maior que a corrente então efetuando-se a divisão dará um número alto por causa da tensão alta. Só não será maior que A e B pois a corrente é menor”	Série e paralelo: <i>potência é função apenas da corrente.</i>

Fonte: protocolos de resposta (elaborada pelo autor).

A partir das respostas, nota-se que o modelo atenuação é prevalente - a corrente (i) se “desgasta” ao longo do circuito - tal qual a falsa percepção de que a potência P (representada luminosidade) é função de único parâmetro: $P = f(R)$; $P = f(i)$; $P = f(v)$. Certas concepções revelam ainda dificuldades acerca de outros aspectos: a decisão sobre a “luminosidade” pode estar vinculada exclusivamente a uma única variável, corrente ou tensão, a depender da forma de conexão dos componentes (série para o primeiro; paralelo para o segundo), como se houvesse um entendimento de várias funções distintas para calcular a potência elétrica. Quanto aos resultados do Caso II, eles são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Síntese da situação (Caso II) com conceitos integrados (Primeiro Estudo).

Respostas		Justificativa	Concepção
E1	A=B>C e D	“as lâmpadas A e B vão ter uma resistência maior, portanto a luminosidade de A e B vai ser maior que C e D” - a resistência equivalente define a potência individual -	Potência é função da resistência equivalente
E2	A>B e C=D	“as lâmpadas C e D novamente irão apresentar a mesma luminosidade. Já as lâmpadas A e B, não. A lâmpada A será mais brilhante que a lâmpada B”	Série: atenuação; Paralelo: potência é função apenas da tensão.
E3	-	-	-
E4	C>D>B>A	“Levei em consideração o sentido da corrente elétrica e a tensão de cada associação”	Atenuação + raciocínio posicional
E5	-	<i>Tentou comparar os arranjos (I), (II) e (III). Fez tratamentos simbólicos (algébricos) para obter R_{eq} e indicou que “quanto maior a luminosidade maior a resistência”.</i>	<i>Potência é função da resistência</i>
E6	A=B>C=D	“A corrente vai se dividir quando entrar no circuito em paralelo e uma outra parte segue em série”. Classificou A e B como “luminosas”, C e D como “pouco luminosas” - avalia a divisão de corrente no nó em virtude do esquema morfológico mas não a intensidade desta grandeza no ramo -	Série: potência é função só da corrente; Paralelo: explicação confusa.
E7	A=B>C=D	“Segue-se o mesmo princípio que a primeira mesmo que a tensão seja a mesma nos 4 ramos até porque A e B receberão a mesma tensão e corrente já que tem a mesma resistência” - mesma corrente independente da resistência do ramo -	Série e paralelo: potência é função apenas da corrente.

Fonte: protocolos de resposta (elaborada pelo autor).

Nota-se que alguns sujeitos não percebem a independência da corrente nas lâmpadas C e D uma vez que estas se encontram em paralelo com a fonte. Isto mostra certa influência de um modelo de raciocínio local (*local reasoning*) ao invés de global. Para o caso III, os resultados se encontram na Tabela 7.

Tabela 7 – Síntese da situação (Caso III) com conceitos integrados (Primeiro Estudo).

Respostas		Justificativa	Concepção
E1	A>C=D	“A luminosidade em A vai ser maior pois ela não está em paralelo”	Divisão de corrente: menor potência
E2	A>C=D	“A lâmpada A será mais brilhante. Em compensação, C e D terão a mesma luminosidade” - sujeito não mobilizou explicação de causalidade -	Paralelo: potência é função apenas da tensão.
E3	-	-	-
E4	A>C>D	“Levei em consideração o sentido da corrente elétrica e a tensão de cada associação”	Aparente raciocínio posicional
E5	-	<i>Tentou comparar os arranjos (I), (II) e (III). Fez tratamentos simbólicos (algébricos) para obter R_{eq} e indicou que “quanto maior a luminosidade maior a resistência”.</i>	<i>Potência é função da resistência</i>
E6	A>C e D	“se aplica o mesmo raciocínio dos demais”. <i>Classificou A como “luminosa”, C e D como “pouco luminosas”</i>	Série: potência é função só da corrente; Paralelo: explicação confusa.
E7	A>C=D	“Segue-se também o mesmo princípio”	Série e paralelo: potência é função só da corrente.

Fonte: protocolos de resposta (elaborada pelo autor).

Torna-se evidente, para a maioria dos sujeitos, que a mobilização de raciocínios distintos proporcionou respostas equivalentes. Fica evidente através da avaliação das tabelas que, mesmo após o estudo formal sobre Circuitos Elétricos ao longo do ensino médio, parte substancial dos sujeitos não concatena relações qualitativas ou quantitativas para chegar a conclusões cientificamente válidas. Na tentativa de ordenar a luminosidade (representada subliminarmente pelo conceito de potência elétrica), alguns analisam a corrente elétrica que circula em cada lâmpada. Outros elegem a tensão ou a resistência como grandeza que define a luminosidade. O cálculo da resistência equivalente, por outro lado, foi mobilizado sem que percebesse que ela auxilia na obtenção da corrente total fornecida pela fonte, esta última de tensão constante. O raciocínio algébrico relacionado com a Lei de Ohm fica implícito ou explícito neste processo, além da dificuldade dos sujeitos em avaliar de modo integrado um problema cuja demanda envolve analisar várias grandezas simultaneamente.

7.3 Uma Descrição Analítica das Dificuldades Reveladas

Na avaliação dos protocolos de resposta dos sujeitos no Primeiro Estudo (calouros do curso de Engenharia Elétrica), constata-se um conjunto de dificuldades associadas aos conceitos de associação série, em paralelo, de resistência equivalente, outros relacionados ao raciocínio imediato, às relações matemáticas, aos aspectos morfológicos do circuito e à análise combinada de grandezas. Assim, após a avaliação preliminar dos dados, optou-se um agrupamento do processo de revelação destas dificuldades: (a) aquelas relacionadas à Língua Natural, (b) aquelas associadas ao Registro Simbólico, (c) aquelas vinculadas ao Registro Icônico e, por fim, (d) as relacionadas ao Domínio Tecnológico. Em virtude da organização das situações, dos processos de tratamento (transformação interna), das passagens entre registros distintos (conversão) ou deles para o domínio tecnológico exteriorizaram-se também outros elementos, os quais serão apresentados na descrição a seguir.

a) Dificuldades Reveladas pela Língua Natural

- a.1 Vários sujeitos apresentam dificuldades de dissociar características conceituais basilares e auxiliares ao transitarem de representações do registro verbal para o não verbal e no sentido contrário.
- a.2 O conjunto vocabular estabelecido para explicar o significado científico das associações série e paralelo é fortemente influenciado por elementos sensoriais visuais, reverberação da construção histórico-didática.
- a.3 No caso da associação em série, a ideia de continuidade, de organização em sequência, de posição relativa ou de alinhamento produz uma *lógica dialética posicional*.
- a.4 Para a associação em paralelo, o relacionamento vocabular-morfológico reflete uma *superposição semântica* entre o que o termo significa no estudo da Matemática e no contexto dos Circuitos Elétricos. É possível avaliar que, inicialmente, o sujeito não entra em conflito cognitivo quanto a estas duas acepções ou não é estimulado a colocá-los em divergência argumentativa. Este é um ponto que sugere a análise do comportamento dos sujeitos em situação-problema com este contexto.

- a.5 A construção linguística revela-se um aparente obstáculo na aprendizagem em virtude do senso comum vinculado aos termos. Na associação em paralelo, a ideia de que a corrente é subdividida através de nó essencial, além do raciocínio imediato sobre o número de resistores em um circuito, pode ser a *fonte da concepção não científica de raciocínio paralelo*. Ainda, a construção lógica posicional sobre a associação série sugere ser esta uma *fonte da concepção não científica de raciocínio sequencial*.
- a.6 Na interpretação das associações não é preponderante o uso dos conceitos de nó elétrico, ramo e malha. Ainda, a descrição argumentativa de possibilidades, incluindo a aplicação significativa dos conceitos de corrente elétrica e diferença de potencial como basilares para explicar as associações, aponta uma *coordenação restrita*. A percepção limitada prevalece ao uso de hipóteses generalistas. Isto pode ser reflexo da exploração de um conjunto de exemplos com baixa diversidade qualitativa nos livros ou em sala de aula durante o ensino-aprendizagem.
- a.7 Manifesta-se o raciocínio de que a corrente é fluido, que é consumida nos resistores (*concepção não científica de atenuação*), além de que o resistor é um obstáculo, uma barreira à passagem de corrente. De modo complementar, a restrição didática pode induzir os sujeitos a pensarem a *dualidade* entre a associação série e a associação em paralelo. Isto pode ser reforçado quando se lida com as relações algébricas referidas às associações entre resistores (entre indutores, capacitores).

b) Dificuldades Reveladas pelo Registro Simbólico

- b.1 Há uma falta de clareza, de percepção dimensional e de habilidade quanto ao uso das expressões algébricas. Isto ocorre principalmente quando se envolve operações matemáticas com frações no cálculo da resistência equivalente em circuitos nos quais é requerida a análise de associações em paralelo. A obtenção de mínimo múltiplo comum, a soma de frações entre si, de frações com números inteiros, e a potenciação com expoente negativo são elementos de dificuldade.

- b.2 Há influência das figuras que subscrevem as ligações elétricas reais no raciocínio declarado algebricamente. Por vezes os sujeitos realizam os procedimentos adequados no registro simbólico, porém, a compreensão inicial sobre o tipo de ligação em jogo é realizada de maneira incorreta.
- b.3 Parte dos sujeitos prefere estruturar argumentações a partir da análise algébrica em detrimento ao raciocínio qualitativo. Isto se mostra evidente durante situações-problema que envolvem a avaliação comparativa de diagramas ou durante casos que admitem conclusões a partir da interpretação de várias grandezas simultaneamente. Do ponto de vista didático, a valorização algébrica pode ser reflexo induzido na escola.
- b.4 Não há um raciocínio algébrico ou qualitativo nítido sobre o curto-circuito, incluindo desdobramentos sobre o conceito de resistência equivalente.
- b.5 Não ocorre preferência pela estruturação algébrica quando a situação a ser avaliada envolve uma análise combinada de grandezas, revelada por várias equações ($P = v.i$; $v = R.i$; $P = R.i^2$), como é o caso da avaliação sobre a luminosidade de lâmpadas, em que é fundamental entender a potência elétrica. Os sujeitos apresentam um raciocínio que considera uma grandeza composta como função de uma única variável.

c) Dificuldades Reveladas pelo Registro Icônico

- c.1 Sujeitos não apresentam uma percepção qualitativa sobre a resistência equivalente nas associações (série, paralelo). Ainda, há confusão sobre a ideia de resistência equivalente com relação a de resistência individual.
- c.2 O deslizamento e a permuta posicional de resistores em um ramo proporcionam uma segmentação interpretativa no sujeito, a qual inibe o raciocínio acerca da correspondência das unidades significantes entre diagramas eletricamente equivalentes (relações biunívocas). De outra forma, a inversão da ordem dos resistores em um arranjo ou a reorganização dos atributos morfológicos que formam um diagrama pode ampliar o tempo de reação do sujeito e criar certa turbidez visual, bloqueando o raciocínio científico.

- c.3 O conjunto de representações referentes à coleção de diagramas que o sujeito considera possível para representar um tipo de ligação é razoavelmente restrito, impondo-lhe uma reação resistente frente à interpretação de diagramas cuja imagem lhe é desconhecida (novos).
- c.4 A percepção da rotação do diagrama na análise de invariantes para equivalência não expõe dificuldades pelos sujeitos. Contudo, quando se dispõe de uma fonte elétrica no arranjo resistivo, a sugestão acerca do sentido da corrente elétrica produz uma concepção cujo modelo se reflete pelo raciocínio sequencial.
- c.5 Parte expressiva dos sujeitos desconsidera a análise e, desta forma, os efeitos de um curto-circuito, da ligação de dois pontos no mesmo potencial, caso não haja expressamente um componente desenhado.

d) Dificuldades Reveladas pelo Domínio Tecnológico

- d.1 O comportamento do sujeito frente a imagem de um recurso experimental é diferente daquele quando manipula o referido recurso. Muitas regras de funcionamento do dispositivo tecnológico experimental podem ser desprezadas por uso exclusivo do registro icônico empírico, dificultando a passagem entre abstrato e concreto. Vários sujeitos demonstram que as inferências a partir de raciocínios restritos desconsideram critérios básicos de operação do recurso experimental.
- d.2 A manipulação concreta ressalta que alguns sujeitos não expõem uma abstração suficiente dos fenômenos e conceitos. Ainda, quando lida com o *proto-board*, um recurso que ressalta um formato de matriz de pontos, distinguir o nó elétrico nas várias possibilidades construtivas que aparece (via uso dos alvéolos diretamente ou através de fios) não se mostra uma tarefa simples, cognitivamente espontânea.
- d.3 A representação empírica é fortemente induzida por assimilação morfológica, superpondo a topologia elétrica. É uma dificuldade, assim, representar concretamente um circuito físico real a partir do seu diagrama elétrico correspondente, bem como no sentido contrário.

A partir do mapeamento realizado, códigos foram estabelecidos para expor nove categorias de dificuldades e concepções referidas a conceito ou aspecto interpretativo (Tabela 8). Foram inseridos também elementos debatidos na literatura, os quais foram apresentados e discutidos ao longo da Tese.

Tabela 8 – Codificação das dificuldades a partir de conteúdos e aspectos interpretativos.

Aspecto / Conteúdo	Dificuldade
Resistência Elétrica	
RE1	– de entender a resistência como propriedade de um elemento individual ou a resistência equivalente como propriedade decorrente de um arranjo ou circuito
Associação de Resistores	
AR1	– de entender/aplicar conceitos basilares
AR2	– de entender/aplicar conceitos auxiliares/subliminares
AR3	– de produzir algum tipo de associação
Coordenação Argumentativa	
CA1	– ação passiva: expõe apenas uma noção conceitual
CA2	– ação semi-estruturada: com inferências restritas
CA3	– ação estruturada: generalista, porém com erro(s)
Simbólico	
SB1	– na formulação da situação-problema
SB2	– na resolução algébrica
Morfologia/Topologia	
MT1	– de identificar/entender desdobramentos do curto-circuito
MT2	– de identificar associações em esquemas não convencionais
MT3	– de identificar invariante por rotação parcial ou total
MT4	– de identificar invariante por deslizamento
MT5	– de identificar mudança de posição
MT6	– de identificar invariante por operações combinadas
Previsão do brilho	
PB1	– emprega com erro avaliação composta (multi grandezas)
PB2	– emprega raciocínio posicional
PB3	– considera potência função apenas da resistência: $P = f(R)$
PB4	– considera potência função apenas da corrente: $P = f(i)$
PB5	– considera potência função apenas da tensão: $P = f(v)$
Experimental	
EX1	– emprega realismo físico-dimensional (morfológico)
EX2	– desconsidera parcialmente regras operativas do recurso
EX3	– desconsidera totalmente regras operativas do recurso
EX4	– construção especulativa resulta em curto-circuito
Referência vocábulo-icônica	
RV1	– emprega Lógica Dialética Posicional (série)
RV2	– emprega Superposição Semântica (paralelo)
RV3	– em citar/referenciar aplicação (exemplo prático)
Concepção/Raciocínio	
CR1	– Coletor (<i>sink</i>)
CR2	– Sequencial
CR3	– Atenuação
CR4	– Curto-circuito
CR5	– Outra concepção não científica

Fonte: elaborada pelo autor.

A fim de conduzir uma avaliação global do comportamento dos bacharelandos, correlacionar dificuldades, aproximações e distanciamentos, estruturou-se uma tabela do tipo categorias versus sujeitos (Tabela 9). A representação permite estabelecer informações cruzadas e comparativas de padrões de resposta ao longo de todo o estudo. Marcações em “X” referenciam um tipo de dificuldade do sujeito. Elementos preenchidos em cor indicam que a avaliação da dificuldade não se aplica porque o conjunto de protocolos de resposta do sujeito não permitiu conclusões a respeito.

Tabela 9 – Categoria versus sujeito: análise global para calouros da engenharia.

Categoria	Subcategoria	Sujeito									
		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10
Res. Elétrica	RE1	X		X		X			X		
	AR1	X								X	
Associação de Resistores	AR2	X		X	X	X		X	X	X	X
	AR3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	CA1	X								X	
Coordenação Argumentativa	CA2				X		X	X			
	CA3			X					X		
	SB1	X			X				X		
Simbólico	SB2	X			X	X		X	X	X	
	MT1	X	X	X	X				X	X	
Morfologia/ Topologia	MT2	X				X	X	X	X	X	
	MT3		X								
	MT4	X		X	X	X		X			
	MT5					X			X	X	
	MT6	X	X	X	X					X	
	PB1				X			X			
Previsão do brilho	PB2				X						
	PB3	X				X					
	PB4						X	X			
	PB5		X								
	EX1	X	X	X	X		X	X			
Experimental	EX2	X	X	X			X	X			
	EX3				X						
	EX4	X	X	X	X		X	X			
	RV1	X	X	X	X	X	X	X	X		
Referência vocábulo-icônica	RV2	X	X	X	X		X	X	X	X	
	RV3	X	X	X	X	X	X	X		X	
	CR1			X							
Concepção/ Raciocínio	CR2		X								
	CR3		X	X	X			X			
	CR4	X	X	X	X	X	X	X			
	CR5						X		X		

Fonte: elaborada pelo autor.

A avaliação dos dez sujeitos foi obtida a partir dos protocolos de resposta, aliando as diversas fontes estruturais de revelação nos registros semióticos. Entende-se que o delineamento escolhido é um processo mais complexo (quanto ao número de dados a analisar), porém detalhado nesta primeira parte para permitir uma apreciação do ponto de vista de modos de explicação e argumentos. Esta percepção é importante, por exemplo, quando a comparamos aos estudos que fazem uso de instrumentos com situações cuja resposta traz apenas alternativas de múltipla escolha. Este tipo dificulta a extração de atributos, raciocínios e detalhes explicativos mais profusos do ponto de vista icônico, linguístico e empírico. A categorização, então, se fez necessária e expõe, como já reportado nas seções anteriores, um precioso capital analítico em diversos registros de representação, revelando elementos outrora implícitos.

Observando os resultados, é interessante destacar que, na explicação sobre associações em série e em paralelo, apesar da presença de referências diretas aos conceitos basilares da teoria de circuitos (corrente elétrica, tensão), há simultaneamente uma dificuldade de estruturar raciocínios que envolvam os conceitos subliminares (nó elétrico, ramo, malha) – AR2, AR3. Há, ainda, uma alta frequência indicativa de dificuldades dos estudantes calouros de engenharia em produzir tais associações. Isto ocorre, principalmente, em consonância a um falso realismo morfológico consolidado nos protocolos dos sujeitos em diversos registros de representação, sendo mais assíduo naqueles com referências icônicas experimentais e nos tratamentos manipulativos no *protoboard*.

Nota-se que há dispersão em relação à coordenação argumentativa dos sujeitos deste grupo, entre a especificação de noções de um conceito (CA1), protocolos com certa coordenação entre vocabulário e imagem, porém com apresentação de hipóteses restritas (CA2). Além destes, verificam-se respostas que podem ser classificadas como uma coordenação estruturada, resultado de referências generalistas (CA3). Mesmo para os sujeitos com este perfil de resposta, constata-se algum tipo de concepção não científica ou influência morfológica em seus protocolos. As referências vocabulares e icônicas se relacionam à forma das ligações, posição dos componentes, e são presentes

nos protocolos: lógica dialética posicional – associação série, e superposição semântica – associação em paralelo (RV1, RV2).

A ideia de “exemplificar”, para que se acompanhe uma explicação do que o sujeito sabe sobre eventual aplicação do conhecimento sobre seriação e paralelismo, é encarada, pela maioria, como a solicitação de uma representação icônica formal e não como uma referência prática a partir do modelo (RV3). Tal fato evidenciou certa dificuldade do grupo em emprestar tais referências práticas (profissionais, cotidianas) da teoria de circuitos. Apenas um dos dez sujeitos o fez, considerando, inclusive, correlações com os conceitos basilares.

Embora a maioria dos sujeitos do grupo de engenharia saiba formular simbolicamente a expressão para cálculo de resistência equivalente (SB1), há uma notável dificuldade de operar, chegar a uma solução algebricamente (SB2) - tratamento. Em ênfase, as operações com frações e a inversão (muito utilizadas no cálculo de resistência equivalente para resistores em paralelo) são referências dos erros mais comuns, tendo ainda como consequência dificuldades de análise dimensional (da unidade de resistência, Ω).

Nas situações envolvendo registros discursivos ou não discursivos, as maiores dificuldades deste grupo em relação à influência interpretativa frente aspectos morfológicos foram: a identificação de invariantes quando o diagrama recebe operações de deslizamento de um resistor ao longo de um ramo (MT4), ou operações combinadas de rotação parcial, mudança posicional (MT6); na identificação de associações em esquemas não convencionais (MT2), seja nos registros icônicos formal, empírico, e também na produção de diagramas elétricos quando da manipulação de recurso no domínio tecnológico. De maneira acentuada, houve a produção de curto-circuito durante a construção de respostas no registro icônico (MT1), expondo dificuldade dos sujeitos em identificar processos realizados ao conectarem dois terminais de um componente no mesmo nó elétrico (ou fazê-lo através de linhas que representam fios), de modo que não houve compreensão acerca dos desdobramentos.

As interpretações e produções experimentais, prioritariamente indicadas nos processos de conversão dos registros para o domínio tecnológico bem como

na apreciação da conversão de outros registros para o icônico empírico, revelaram o emprego do realismo físico-dimensional (EX1). Há, no entanto, uma clara diferença entre a produção sobre a imagem do *protoboard* (icônico empírico) e a manipulação do recurso com os componentes elétricos reais (domínio tecnológico).

No primeiro (registro icônico empírico), a posição do recurso é fixa, e apenas uma área restrita é disponibilizada para expor a representação. A partir de um diagrama revelado, por exemplo, através do registro formal, a maioria dos sujeitos deste grupo não realizou tratamentos figurais para representar o conhecimento no registro icônico empírico de modo que, a *posteriori*, transpusessem de maneira adequada o diagrama de partida no registro de chegada. Há uma tentativa de “cópia”, de reprodução morfológica figural da imagem que subscreve as ligações em detrimento à Topologia Elétrica do Circuito (TEC). Outro ponto é a falta de percepção, no registro icônico, da dimensão física dos componentes e da materialização das ligações nos pontos que compõem a matriz.

No segundo caso (manipulação física), alguns sujeitos rotacionaram o *protoboard* em relação à disposição que lhes foi apresentada na bancada de laboratório. Ainda, alguns apresentaram uma topologia cujo núcleo figural é distinto daqueles propostos na situação com o registro icônico empírico. A dimensão dos componentes, a possibilidade de manipular o nó elétrico através de fios ou utilizar uma área mais ampla do *protoboard* é constatada. Para ambos os casos, contudo, os bacharelandos, em sua maioria, produziram configurações que resultaram em curto-circuito (EX4). Outras produções desprezam parcialmente ou totalmente as regras de ligação do recurso, em detrimento ao “raciocínio geométrico” imediato (EX2, EX3). Tal fato indica que a maioria não consegue agrupar elementos interpretativos suficientes para caracterizar o diagrama, em que se ressalta a ausência dos conceitos subliminares e a aprendizagem correlata das particularidades do recurso.

Acerca da previsão do brilho de lâmpadas, os resultados acentuam uma diversidade de raciocínios relacionados à percepção sobre a potência elétrica.

Os protocolos mostram que os sujeitos, apesar de já terem concluído o estudo formal sobre circuitos elétricos no ensino médio, mostram muita dificuldade no processo de ordenação em virtude de que esta grandeza pode ser percebida por eles como função de apenas uma grandeza (PB3, PB4, PB5) ou de várias (PB1), porém em dissonância com o conceito científico aceito. Da mesma forma, o raciocínio posicional em relação à fonte pode influenciar suas proposições (PB2).

Por fim, as análises acerca das situações-problema elaboradas e aplicadas no Primeiro Estudo revelam a forte presença da concepção não científica de Atenuação (CR3 - corrente consumida ao “atravessar” os resistores ao longo do circuito) e de Curto-circuito (CR4 - sujeito despreza o curto quando não percebe um componente na linha entre os nós). Atentamos de maneira reflexiva em relação à concepção não científica de Curto-circuito, distinguindo este modelo em relação à produção do curto-circuito tanto no registro icônico como no recurso do domínio tecnológico. Em ambos (concepção, dificuldade) há uma forte ausência de aplicação dos conceitos basilares e auxiliares da teoria, sendo que, nos dois últimos casos, nota-se forte associação da morfologia sobre as escolhas de gerar um curto-circuito e entender seus desdobramentos, não apenas de desprezar um elemento interpretativo particular como é o caso da concepção homônima.

Interpretações referenciais e comparativas com algumas das situações do Segundo Estudo serão apresentadas no próximo capítulo. Inicialmente, serão destacadas opções estabelecidas para o Segundo Estudo a partir da Descrição Analítica do Primeiro Estudo e de oportunidades observadas pelo autor, a serem exploradas quanto aos recursos do domínio tecnológico.

8 SEGUNDO ESTUDO

As novas situações projetadas para o Segundo Estudo são descritas expondo, para alguns cenários, correspondências ao Primeiro Estudo. Após transcorrida a análise do conteúdo dos protocolos de resposta na Fase A, são trazidas comparações, além de aprofundamentos argumentativos em caráter referencial. A Fase B é apresentada trazendo, sempre que possível, um escopo basilar comparativo quanto aos dois grupos de sujeitos. Situações na Fase B concentram alguns recursos tecnológicos analógicos e digitais utilizados na capacitação técnico-profissional de estudantes. O capítulo continua com a descrição analítica detalhada do comportamento global de cada grupo de estudantes e dos conceitos-chave tratados. Por fim, é proposto um retorno às hipóteses, trazendo ainda reflexões, desdobramentos da Tese para a docência em Circuitos Elétricos e para a estruturação curricular de cursos voltados à Educação Profissional Tecnológica.

8.1 Novos Elementos e Situações

Para o Segundo Estudo houve reorganizações do que foi implementado no Primeiro Estudo, bem como a proposição de novas situações (Apêndice A). A Fase A do Segundo Estudo é mais sintética em relação ao primeiro estudo, incluindo-se um cenário adicional, de confronto argumentativo aos sujeitos. Na Fase B foram abordados elementos aprofundando o aspecto tecnológico experimental, incluindo-se relações de transformação de saberes do contexto da língua natural e/ou do registro icônico para o *protoboard*, de ou para programas computacionais (CCK/PhET, PSIM). Também foi tratado o registro icônico pictórico através de representações dos elementos presentes no domínio tecnológico. Além disso, o caráter algébrico do registro simbólico foi contemplado. No Quadro 14 são apresentados detalhes, incluindo relações do Segundo Estudo com o arcabouço do Primeiro Estudo.

Quadro 14 – Divisão Completa da FACCE: Primeiro e Segundo Estudos.

Primeiro Estudo (Público: calouros em Engenharia Elétrica)		Segundo Estudo (Público: Estudantes do 1º ano do Curso Técnico em Eletroeletrônica)					
		Fase A			Fase B (Parte I)		Fase B (Parte II)
1	Formação conceitual	1	Formação conceitual	1	LN* → Icônico → <i>Protoboard I</i>	1	Retorno à referência fixa
2	Invariante: equivalência	2	Invariante: equivalência	2	LN* → Icônico → <i>Protoboard II</i>	2	Ligações: Módulo 1103A
3	Cálculo de R_{eq}	3	Produção com referência fixa	3	Ic. Empírico → Formal → Simbólico	3	Arranjos e Lei de Ohm
4	Resistência do chuveiro	4	Tetraedro	4	Placa de circuito perfurado		
5	Icônico Empírico → Pictórico	5	Cálculo de R_{eq}	5	LN → Domínio (CCK) → Outros		
6	Formal → Icônico Empírico	6	Formal → Icônico Empírico	6	Ic. Empírico (PSIM) → Outros		
7	Tetraedro	7	Icônico Empírico → Pictórico				
8	Circuitos mistos						
9	Placa de circuito com trilhas						
10	LN* → Icônico → <i>Protoboard</i>						
11	Brilho de lâmpadas						

Foi mantida correspondência total ou parcial em relação aos elementos de mesma cor. Total em relação à maioria. Parcial na situação-problema 10 do primeiro Estudo, em que foi subdividida em duas na Fase B (Parte I) – de maneira sequencial (situações 1 e 2). Ainda, na produção de referência fixa (Fase A do Segundo Estudo – situação 3) foi admitida uma correspondência posicional convencional, porém, houve realocação dos terminais de referência. Na Fase B (Parte II) do Segundo Estudo admitiu-se referências morfológicas não convencionais quanto à disposição espacial dos resistores (situação 1).

*LN - Língua Natural

Fonte: elaborado pelo autor.

O conjunto de protocolos de resposta obtido no Segundo Estudo é apresentado no Quadro 15.

Quadro 15 – Conjuntos de resposta expostos no Segundo Estudo.

Situação-problema (SP)			Sujeito															
			T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6	T 7	T 8	T 9	T 10	T 11	T 12	T 13	T 14	T 15	T 16
Fase A	1	Formação conceitual	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	2	Invariante: equivalência	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	3	Produção com referência fixa	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	4	Tetraedro	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	5	Cálculo de R_{eq}	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	6	Formal → Icônico Empírico	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	7	Icônico Empírico → Pictórico	X	X	X	X	X	X		X	X		X		X	X		X
Fase B (PI)	1	LN* → Icônico → <i>Protoboard I</i>	X	X	X	X	X	X	X	X		X			X	X		
	2	LN* → Icônico → <i>Protoboard II</i>	X	X	X	X	X	X	X	X		X			X	X		
	3	Ic. Empírico → Formal → Simbólico	X	X	X	X	X	X	X	X		X			X	X		
	4	Placa de circuito perfurado	X	X	X	X	X	X	X	X		X				X		
	5	Domínio Tec. (CCK) → Outros	X		X	X	X	X	X	X		X				X		
	6	Ic. Empírico (PSIM) → Outros	X		X	X	X	X	X	X						X		
Fase B (PII)	1	Retorno à referência fixa	X	X	X	X	X	X	X	X						X		
	2	Ligações: Módulo 1103A	X		X	X	X	X	X	X						X		
	3	Arranjos e Lei de Ohm	X	X	X	X	X	X	X	X						X		

Fonte: elaborado pelo autor.

*LN - Língua Natural

O aprofundamento das novas situações é exposto nas seções a seguir, previamente às análises de cada um dos resultados.

8.2 Resultados e Discussões do Segundo Estudo

Esta fase foi projetada para dar suporte comparativo entre os dois grupos de sujeitos (calouros de engenharia, alunos do 1º ano do curso técnico). Assim, logo após a síntese das situações, procede-se de imediato com a apresentação de aproximações e/ou diferenças entre os dois grupos.

8.2.1 Fase A – Descrição Analítica e Comparativa

(Fase A - SP1). Em relação à formação conceitual sobre associação série e associação em paralelo, nos protocolos de resposta dos estudantes do curso técnico em Eletroeletrônica exemplifica-se algumas das citações nas quais

também foram verificados argumentos inerentes ao raciocínio para os primeiros tipos de associação (série, paralelo):

- **Para resistores em série:**

- *de alinhamento (RES1)*: “significa que eles se encontram em determinada posição que segue uma série, ou seja, o que acontecer com um consequentemente irá acontecer com outro” (T3);
- *de mesmo caminho (RES2)*: “que eles seguem um único caminho e não fazendo a corrente se dividir” (T4);
- *de que a corrente é a mesma (RES3)*: “é quando eles estão compartilhando a mesma corrente” (T6);
- *de que a tensão é dividida (RES4)*: “eles estão com a mesma corrente, porém com tensões divididas para cada um” (T10).

- **Para resistores em paralelo:**

- *de morfologia paralela (REP1)*: “para mim significa que quando eles estão posicionados paralelo um ao outro onde a corrente divide-se e a tensão será a mesma” (T14); “quando um resistor está oposto ao outro, quando ele está separado, mas no mesmo circuito” (T6);
- *de caminhos distintos (REP2)*: “que a corrente em um ponto se dividirá” (T4) - ponto referenciando a ideia de localização;
- *de que a corrente é dividida (REP3)*: “compartilham a mesma tensão, porém com correntes divididas entre si” (T10).
- *de que tensão é a mesma (REP4)*: “significa que eles estão associados um do lado do outro compartilhando uma mesma tensão” (T11).

As respostas foram proferidas em sua maioria na língua natural e/ou na representação icônica (desenho), havendo uma única referência à expressão algébrica. Nas produções com imagens (desenho), apenas um sujeito fez referência inadequada à associação em paralelo, expondo circuito misto como exemplo. Dos 16 protocolos de resposta, onze (11) expuseram representações icônicas, dos quais sete (07) optaram pela exposição posicional clássica das associações em série e em paralelo. Quatro (04) sujeitos optaram por representações com resistores distribuídos ao longo da malha sem lateralização

visual dos resistores no caso da associação em série. A ideia de “exemplifique sua resposta” foi compreendida pela maioria como uso do registro icônico ou explicação do que inicialmente fora proposto em um registro específico (expansão argumentativa). Não houve nenhum caso prático (aplicação) citado nos protocolos (RV3). Outras características verificadas neste grupo foram:

- i. *Referência à polaridade da fonte e*, em sintonia, a correspondência de modo a indicar que o *resistor também possui certa polaridade*: (significa) “Que eles estão conectados entre as saídas da fonte juntos (em bifurcações), onde estão conectados positivo com positivo e negativo com negativo” (T9 sobre a associação em paralelo);
- ii. *Referência argumentativa de generalização* (corretos, incorretos): “em série a corrente que passa em R1 é a mesma que passa em R2” (T3 sobre a associação em série); “em paralelo a tensão em R1 não será a mesma em R2” (T3 sobre associação em paralelo); “exemplo: 2 resistores em série, se um terceiro for adicionado a tensão irá se alternar, mas a corrente será contínua” (T11 sobre associação em série); “exemplo: 2 resistores em paralelo, se um terceiro for adicionado a tensão será a mesma mas a corrente será alterada” (T11 sobre associação em paralelo); “com uma maior corrente indo para onde tem menos resistência” (T5 sobre a associação em paralelo);
- iii. *Referência indireta ao nó elétrico*: “os resistores têm 1 ponto comum (T13 sobre associação série)”; “os resistores têm dois pontos comuns” (T13 sobre associação em paralelo);
- iv. *Referência ao conceito de resistência elétrica e resistência equivalente* (RE1): “que um resistor está fazendo o papel de 2 resistores” (T15 sobre associação em série); “que 2 resistores estão fazendo o papel de 1 resistor” (T15 sobre associação em paralelo).

(Fase A - SP2). No que concerne à análise de equivalência de diagramas, o conjunto de respostas é apresentado na Tabela 10. Percentualmente, houve uma percepção menor do grupo de estudantes do curso técnico em relação ao de bacharelados quanto à resposta correta (Item c).

Tabela 10 – Resposta sobre equivalência topológica – Segundo Estudo.

Resposta	Sujeitos																(%)
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	
(a)					X	X					X	X			X		31,25
(b)		X						X							X		18,75
(c)	X		X	X			X		X	X			X	X		X	56,25
(d)																	0,00
(e)		X									X						12,50
(f)	X		X	X	X	X		X	X		X				X		56,25

Fonte: elaborada pelo autor.

Para o grupo de estudantes do curso técnico, as operações de maior dificuldade para identificação foram as mesmas do grupo de bacharelados: se referem, respectivamente, ao deslizamento do componente ao longo do ramo (item a) e à operação conjunta de rotação, deslizamento e permuta posicional (item f).

Embora menos representativo (18,75%), apareceu no grupo de estudantes do curso técnico a dificuldade de reconhecer a equivalência quando da *operação de simetria de reflexão* no arranjo (algo não verificado nos protocolos de resposta do grupo anterior). Mais uma vez, a rotação em 90° do diagrama não se apresentou como dificuldade na análise de equivalência. Apenas dois (02) dos 16 sujeitos (T12, T14) mobilizaram o registro simbólico (algébrico) para comparar os arranjos. Percentualmente, nessa última perspectiva há relevante diferença para o grupo do Primeiro Estudo (12,5% contra 60%).

(Fase A - SP3). No caso da produção de conexões com referência posicional fixa dos componentes, a situação-problema envolveu a simbologia icônica e a intenção de que se realizassem ligações admitindo uma morfologia convencional dos componentes, porém também dispendo os terminais de referência da associação em mais de uma opção (Apêndice A). Há a liberdade para representar as conexões, porém, os terminais nos quais se deseja observar a resistência equivalente são pré-fixados na situação. Aborda-se aqui uma macro tarefa de produção interpretativa a cada um dos tipos de ligações (série, paralelo, série-paralelo) e o tratamento do conceito de nó elétrico no registro pictórico.

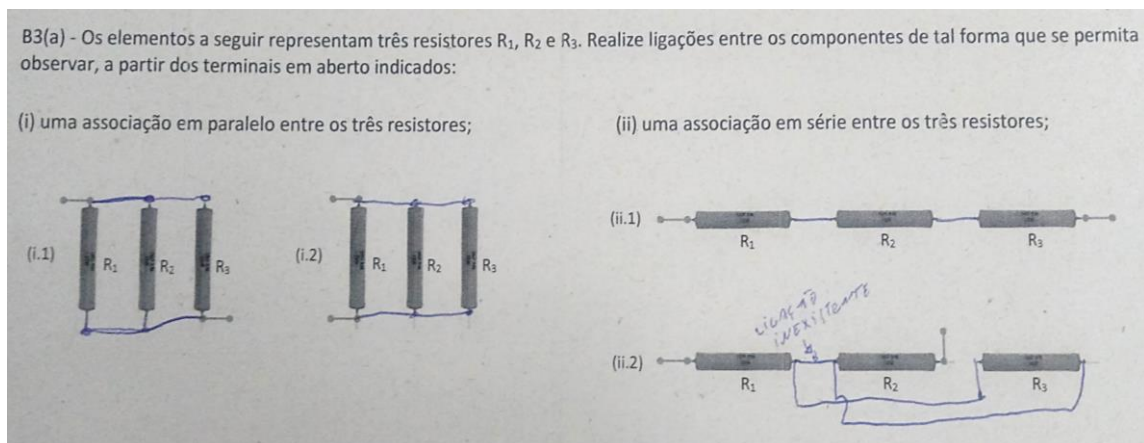
Em outras palavras, ao sujeito envida-se efetivar conexões entre os terminais admitindo: que existe um modo pictórico associado às convenções de

morfologia mais comuns trazidas nos livros didáticos e técnico-científicos; que há outro modo, em que as posições dos resistores também obedecem às convenções visuais, porém, os terminais de onde se envida o olhar da resistência equivalente são classificados como “não convencionais” do ponto de vista da exploração didática visual mais frequente.

É possível assinalar, nesta situação, se o tratamento dado aos *nós elétricos* como elementos de formação do conceito de resistência equivalente é entendido apropriadamente face a manutenção da posição espacial dos resistores. Também é factível perceber se existe o abandono aos formatos geometrizados que normalmente envolvem a especificação do nó elétrico em um circuito, assim como verificar se o sujeito percebe que, com alguns terminais fixos, certo tipo de ligação não é passível de ser produzida.

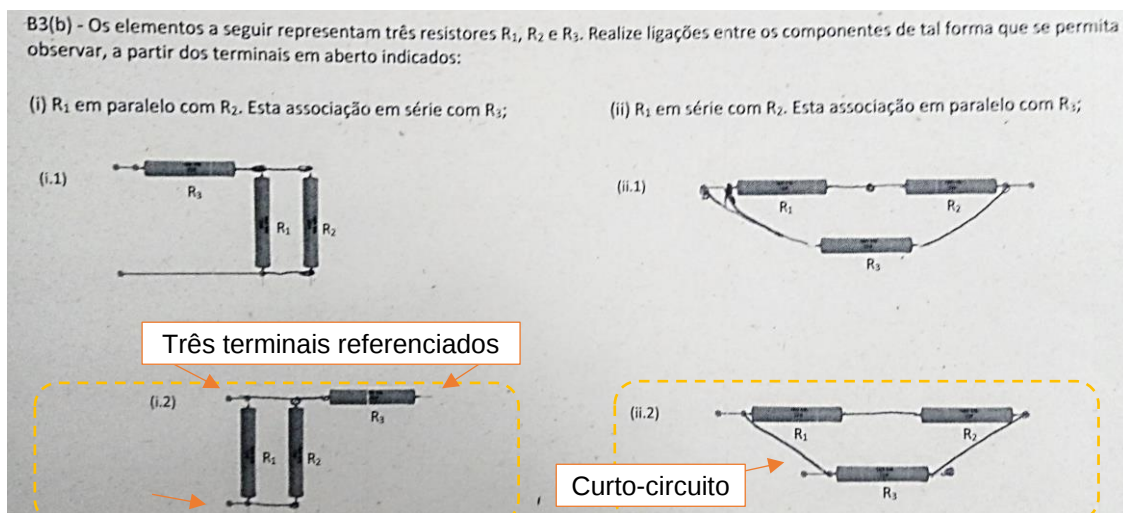
Dos resultados (SP3), todos os sujeitos expuseram alguma dificuldade (AR3). Três (03) dos dezesseis (16) responderam corretamente à maioria dos itens, estruturando algumas conexões conforme solicitado (Figura 85).

Figura 85 - Situação-problema para produção no registro icônico (T1).

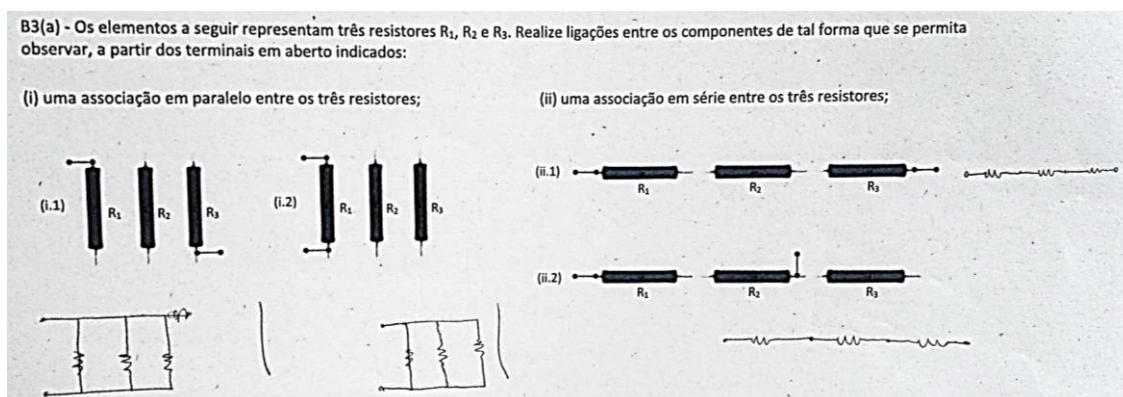


Fonte: Protocolos de resposta do Segundo Estudo.

Os sujeitos tiveram dificuldade em realizar ligações com alocação terminal não convencional (exemplo na Figura 86) ou não construíram ligações sobre o diagrama apresentado no registro icônico. Disto, precisaram expor um novo desenho com liberdade representativa ou abdicaram de uma solução (seis deles, 37,5%). Neste espectro, a maior parte dos sujeitos propôs produções segundo posição que satisfizesse seu raciocínio particular (Figura 87).

Figura 86 - Situação-problema para produção no registro icônico (T7).

Fonte: FACCE.

Figura 87 - Situação-problema para produção no registro icônico (T12).

Fonte: Protocolos de resposta do Segundo Estudo.

Ao menos 10 produções (62,5%) sugerem o raciocínio coletor/sink (CR1) e/ou de curto-circuito (CR4), não cogitando seus desdobramentos (MT4). Os resultados são relevantes para examinar consequências na abordagem experimental. Os sujeitos têm dificuldade de perceber que dois pontos ligados através de um fio apresentarão o mesmo potencial elétrico, ou seja, que se referem a um mesmo nó elétrico e, por conseguinte, entre os pontos a resistência tende a zero ($R \rightarrow 0$). Ainda, eles não conseguem compreender adequadamente um circuito em aberto ($R \rightarrow \infty$). A alimentação do arranjo por meio de uma fonte elétrica a partir dos terminais desejados resultaria em vários cenários de circuito-aberto ou de curto-circuito. Esta é uma situação passível de intermediar a transição de situações exclusivamente teóricas para o plano experimental. Kits didáticos, recursos profissionais e folhas de dados com orientação sobre

conexões construtivas de equipamentos trazem componentes com disposição espacial fixa, cabendo ao sujeito realizar ligações através de fios ou conectores específicos. O exame dos resultados confia que, mesmo após cursar a disciplina técnica, permanecem nos estudantes certas dificuldades e raciocínios não científicos. Isto, em parte, exprime a ausência de noções basilares, havendo o uso de hipóteses restritas, as quais preocupam o desenvolvimento de atividades empíricas vinculadas a situações técnico-profissionais.

(Fase A - SP4). Quanto aos protocolos da situação-problema inerente ao Tetraedro, a apreciação das respostas revelou:

- **Em relação ao conceito de nó elétrico**

A situação-problema junto aos discentes do curso técnico expôs algumas diferenças em relação ao primeiro grupo. A primeira, em relação à possibilidade de identificar o tipo de ligação (e não observações e cálculos a partir de terminais específicos). A segunda, a possibilidade de declaração conceitual do que se compreende sobre “nó elétrico” e a revelação conceitual a partir da identificação do número de nós no arranjo da situação (Quadro 16):

Quadro 16 – Declaração conceitual do nó elétrico e identificação, pelos sujeitos, do número de nós elétricos no tetraedro durante o Segundo Estudo.

Sujeito	Protocolos
T1	“é onde se ligam 3 ou mais terminais, 4”
T2	“nó elétrico = Quando três componentes estão ligados. Apenas um nó”
T3	“Entendo por nó, quando há mais de dois resistores ligados em um único local”
T4	“nó elétrico é onde a corrente se divide no percurso”
T5	“nó elétrico é quando 3 ou mais fios se conectam em um mesmo ponto. 4 nós elétricos”
T6	“é quando três ou mais componentes se encontram. Apenas um nó”
T7	“nó elétrico é a junção de um cabo, componente, etc. Existe 3 nós elétricos”
T8	“nós são os terminais que conectam os resistores. Nesse circuito são três”
T9	“onde o circuito se bifurca. (2)”
T10	“são áreas onde estão conectados 3 ou mais componentes. Apenas um nó”
T11	“um nó elétrico é um ponto onde alguns resistores se conectam. Nessa representação existem 4 nós elétricos”
T12	“A ponta na qual se encontram 3 componentes do circuito. 3”
T13	“Local onde 2 ou mais componentes elétricos se encontram. 2”
T14	“nó é a soma de todas as correntes. 1 nó elétrico”
T15	“nó elétrico é onde 2 ou mais correntes se juntam e se divide”
T16	“união de 2 ou mais elementos, 2”

Fonte: elaborado pelo autor.

- **Em relação à natureza das conexões**

- 25% dos sujeitos fez correta indicação do tipo de ligação (paralela) entre os resistores;
- Metade dos sujeitos fez alguma referência de que a conexão dos resistores se referia à ligação do tipo Δ e/ou Y;
- Foram referenciadas de maneira inadequada as ligações mista e série para o arranjo (paralelismo).

Preponderantemente, o conceito de nó elétrico declarado pelos sujeitos do curso técnico está vinculado à ideia de nó essencial - *três ou mais componentes conectados entre si* - e com o entendimento da divisão de corrente, em que surgem vários argumentos e termos na língua natural (T1, T2, T3, T4, T5, T6, T9, T10, T12, T15). Aparece ainda a ideia de nó como ponto de conexão entre dois componentes (T7, T8, T13, T16) e algumas ideias cuja aplicação ou desdobramento topológico são confusos (T11, T14). Quanto à especificação dos nós no arranjo proposto (existe apenas dois nós do tipo essenciais), apenas três sujeitos (T9, T13 e T16), de grupos com explicitação conceitual diferentes, efetuaram a correta indicação. Não apenas há uma confusão acerca do conceito, mas também de sua aplicação quando a organização morfológica do conjunto de resistores é feita de uma maneira menos difundida nos materiais. O sujeito explicita certa definição sobre o conceito de “nó elétrico” mas não se mostra, de modo geral, capaz de generalizar e aplicar o que reporta na língua natural.

(Fase A - SP5). Os protocolos das situações que exploram o registro simbólico algébrico permitem verificar que apenas cinco dos dezesseis sujeitos (31,25%) obtiveram a resposta correta em todos os itens avaliados (T4, T7, T9, T10, T14); outros três apresentaram êxito em um ou dois itens (T1, T13, T16). A resistência equivalente entre os terminais em aberto é de 7Ω . Tal qual no Primeiro Estudo, houve relevante dificuldade do grupo de sujeitos em lidar com polimorfismos visuais que sugeriam certa desconstrução da Lógica Dialética Posicional da seriação (RV1) e da superposição semântica/icônica da ligação em paralelo (RV2). A análise das respostas confessa que, para os sujeitos, o entendimento e a aplicação de conceitos basilares (AR1) e auxiliares/subliminares (AR2) não

está disponível no raciocínio imediato, de modo que proporcionassem modificações icônicas (transformações figurais). Estas, poderiam permitir uma aproximação do sujeito para com o conjunto de imagens mais diretamente identificado por ele, ao menos por atributos parciais ou, de outra forma, possibilitar um raciocínio mais estruturado, o qual permitiria dissociar aspectos morfológicos daqueles vinculados à Topologia Elétrica do Circuito.

É importante destacar que, dentre aqueles sujeitos que obtiveram sucesso na resolução da situação, houve os que procederam com avaliações estritamente algébricas, tal qual o único sujeito do grupo de bacharelados que obteve plenamente a resposta correta (E10) nesta situação. Embora em menor número, outros, contudo, expuseram solução qualitativa após a análise prévia das características de um dos arranjos propostos, sugerindo, a partir de alguns atributos de correspondência (não revelados na língua natural ou no registro icônico), a equivalência entre diagramas.

Chama atenção que os sujeitos do grupo não apresentaram problemas na formulação simbólica da situação-problema (SB1) e na resolução algébrica (SB2). O afastamento científico nos protocolos de resolução, impreterivelmente, ocorreu na decodificação do diagrama elétrico ou durante reconfigurações intermediárias. Neste escopo, a apresentação do nó elétrico como um “traço” que, fisicamente, conecta dois pontos, é de difícil apreensão por vários sujeitos nos dois grupos tal como o processo de decifrar ligações em série e em paralelo quando o arranjo é construído com algumas operações invariantes.

Há um reconhecimento, quanto à ligação em paralelo, sobre o recorrente uso do desdobramento da formulação algébrica inerente a este tipo: os sujeitos aplicam o raciocínio de que, matematicamente, a resistência equivalente (R_{eq}) é obtida do produto das resistências individuais ($R_1.R_2$) dividido pela sua soma (R_1+R_2). De outro modo: $R_{eq} = (R_1.R_2)/(R_1+R_2)$. Sua aplicação foi observada em pelo menos nove (9) dos dezesseis (16) protocolos de resposta (56,25%). Esta é uma averiguação importante para o autor, uma vez que, a partir de suas experiências, percebe-se que, em problemas para cálculo de resistência equivalente, para arranjos com mais de dois resistores em paralelo, reflete-se desta organização

simbólica que o sujeito produz uma falsa generalização de que a resistência equivalente é determinada a partir do “produto pela soma”. Tal aplicação, todavia (Lei de Kirchhoff para Correntes) é restrita para associações com dois resistores, resultado do tratamento simbólico, aparentemente memorizado pelos sujeitos: $1/R_{eq} = 1/R_1 + 1/R_2 \Rightarrow 1/R_{eq} = (R_2 + R_1)/(R_1 \cdot R_2) \Rightarrow R_{eq} = (R_1 \cdot R_2)/(R_1 + R_2)$. Talvez, o uso da expressão finalística seja um modo de evitar a potenciação ou a soma de frações, gesto induzido pelo docente/livro ou memorizado pelo discente.

Ademais, para esta situação (SP5) os sujeitos “enxergam” nos arranjos propostos vários tipos de ligação, boa parte inexistente no contexto da resolução: exclusivamente série (vizinhança) ou em paralelo (percepção de retas paralelas), tipo estrela (Y), tipo delta ou triângulo (Δ). Tal fato reforça a hipótese de que a aprendizagem é diretamente influenciada pelos signos ou, de outra maneira, que podem existir obstáculos à construção de conhecimento sobre circuitos elétricos que estão enraizados no desenvolvimento histórico discursivo e não discursivo.

(Fase A - SP6). Para os sujeitos do Segundo Estudo, os resultados da avaliação para a situação de passagem do registro icônico simbólico para o pictórico (SP6) são sintetizados na Tabela 11. Comparativamente, a média de acertos (6 casos) foi 1,67 para os alunos de engenharia e 2,93 para os do curso técnico.

Tabela 11 – Análise do registro icônico formal revelado pelo registro icônico empírico (desenho do *protoboard*) – Segundo Estudo.

Indicadores		Sujeitos																%
		T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6	T 7	T 8	T 9	T 10	T 11	T 12	T 13	T 14	T 15	T 16	
Raciocínio claramente influenciado por aspectos morfológicos					X		X		X			X			X	X		37,5
Descuido/dificuldade quanto a regras explícitas do recurso		X	X		X	X	X		X		X	X	X	X	X	X	X	81,2
Tratamento resultou em, pelo menos, uma solução coordenada		X		X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X		X	81,2
Manifesta noção sobre a dimensão física dos componentes		X		X		X	X	X	X	X	X				X	X	X	68,8
Resposta correta	nº de itens	6	0	1	3	4	2	5	1	6	3	2	2	5	4	0	3	-
	(%)	100,0	0,0	16,7	50,0	66,7	33,3	83,3	16,7	100,0	50,0	33,3	33,3	83,3	66,7	0,0	50,0	-

Fonte: elaborada pelo autor.

Os aspectos morfológicos não influenciaram diretamente o raciocínio da maioria dos sujeitos nesta situação. Este parâmetro se mostrou mais acentuado no grupo de calouros da engenharia (77,8%). Apesar disto, conflitos entre raciocínios e regras construtivas do *protoboard* se estabeleceram em patamar semelhante para os dois grupos (dificuldade em torno de 80%). É interessante observar que este último resultado impressiona pois os sujeitos que estavam finalizando o 1º ano do curso técnico tiveram mais experiência com o recurso do que os calouros da engenharia. Logo, seria esperado que este tipo de dificuldade fosse menos expressivo no Segundo Estudo. Quanto à realização de tratamentos (transformações figurais), reflexo de coordenação argumentativa mais estruturada, a análise dos protocolos revelou que se estabeleceu em patamar mais significativo para o segundo grupo (técnicos), assim como a noção geral sobre as dimensões dos componentes e do recurso representado na forma icônica empírica.

A solução coordenada prevalente nos dois estudos (Primeiro e Segundo) foi a associação série com dois e três componentes, sendo neste último com o deslocamento morfológico em 90° de um componente em relação aos dois outros. Os sujeitos propuseram mais comumente uma rotação simples na forma de apresentação do arranjo no registro formal. A partir disso, elaboraram uma disposição dos resistores no registro empírico com acompanhamento à imagem.

(Fase A - SP7). Na Tabela 12 são expostos indicadores da avaliação de protocolos na mudança do registro icônico empírico para o pictórico (desenho) – SP7. Há uma diferença em relação ao correspondente caso no Primeiro Estudo: o curto-circuito de um dos itens foi substituído por um arranjo equivalente à maioria.

Quatro sujeitos (T7, T10, T12, T15) não processaram respostas ou não compreenderam o problema. Outros dois (T4, T6) apresentaram solução por via do destaque aos nós sobre a imagem do registro icônico empírico, porém sem uma clara representação de suas ideias de forma que fosse possível analisar os indicadores com a correspondência devida. Seus protocolos não foram computados na avaliação percentual global. Comparando os grupos do Primeiro e Segundo Estudos, as médias de acerto quanto às cinco (05) situações-

problema propostas foram semelhantes (2,6 para os bacharelados x 2,8 dos estudantes do curso técnico).

Tabela 12 – Análise do registro icônico empírico revelado pelo desenho.

Indicadores		Sujeitos																%
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	
Raciocínio claramente influenciado por aspectos morfológicos		X		X	•	X	•	-	X		-	X	-		X	-	X	70
Menção explícita ao paralelismo (item c)				X	•	X	•	-	X		-	X	-		X	-		50
Menção explícita a seriação (item e)				X	•	X	•	-	X		-	X	-		X	-	X	60
Dificuldade na apreciação do nó elétrico (horizontal)			X	X	•	X	•	-	X		-	X	-		X	-		60
Dificuldade na apreciação do nó elétrico (vertical)			X	X	•	X	•	-	X		-	X	-		X	-		60
Resposta correta	nº de itens	4	3	1	•	3	•	-	1	4	-	2	-	4	2	-	4	
	(%)	80	60	20	•	60	•	-	20	80	-	40	-	80	40	-	80	-

Fonte: elaborada pelo autor.

Tal qual no Primeiro Estudo, as análises no Segundo Estudo expuseram que as situações que provocaram mais distanciamento da resposta foram aquelas cuja disposição morfológica se caracterizava como de percepção distinta das ligações elétricas com padrão visual convencional. É indispensável destacar também que as dificuldades associadas com a morfologia são altas tanto na partida como na chegada ao registro icônico empírico. Porém, estas dificuldades ocorrem em percentual menor no segundo caso, como se os sujeitos conhecessem, pelo menos em parte, algumas configurações que permitem, a partir de uma topologia proposta segundo signos formais, chegar a uma solução na imagem que representa o *proto-board*.

8.2.2 Aprofundando Comparações e Introduzindo Elementos Referenciais

Os Estudantes do curso técnico, apesar de algumas referências a concepções posicionais, utilizam, em sua maioria, argumentos vinculados às grandezas corrente elétrica e tensão quando se referem às associações dos

resistores em série e em paralelo. Isto também é percebido no grupo dos bacharelandos, porém de maneira menos agrupada (referem-se com mais frequência a um ou a outro, ou apenas a aspectos posicionais). De outro modo, nota-se uma referência mais presente dos conceitos basilares no segundo grupo. Nos seus protocolos há um nível argumentativo mais robusto, revelado quando se avalia de maneira comparativa respostas e indicadores mapeados neste grupo com relação aos calouros de engenharia.

Dos estudantes do curso técnico, há menor percentual de sujeitos que demonstram concepções não científicas ou dificuldades na generalização dos argumentos (37,5% contra 60% nos bacharelandos). Apesar do número de sujeitos nos grupos, o rastreamento das respostas nas situações mostra que o raciocínio, a produção e a compreensão sobre curto-circuitos são problemas em ambos, gerando mais atenção sobre este conceito. Expandindo o que é revelado por Sencar, Yilmaz e Eryilmaz (2001), o aluno não apenas despreza um fio entre dois pontos, ele também produz precipitadamente este curto. Logo, gera-se cuidado face riscos ao sujeito na construção física de um caso: ampliar demais a corrente que circula no circuito, superar limites operacionais de fontes (fornecimento), de *protoboard* (circulação), a capacidade de leitura dos instrumentos, queimar componentes.

Tal qual surgiu em protocolo de calouros da engenharia, foi exposto o modelo de raciocínio não científico tipo coletor (*sink*) também para alguns estudantes do curso técnico. Em relação a este aparecimento, em que um fio simples único entre um dos pólos da fonte e o resistor permitiria o funcionamento do circuito, é possível delinear algumas observações:

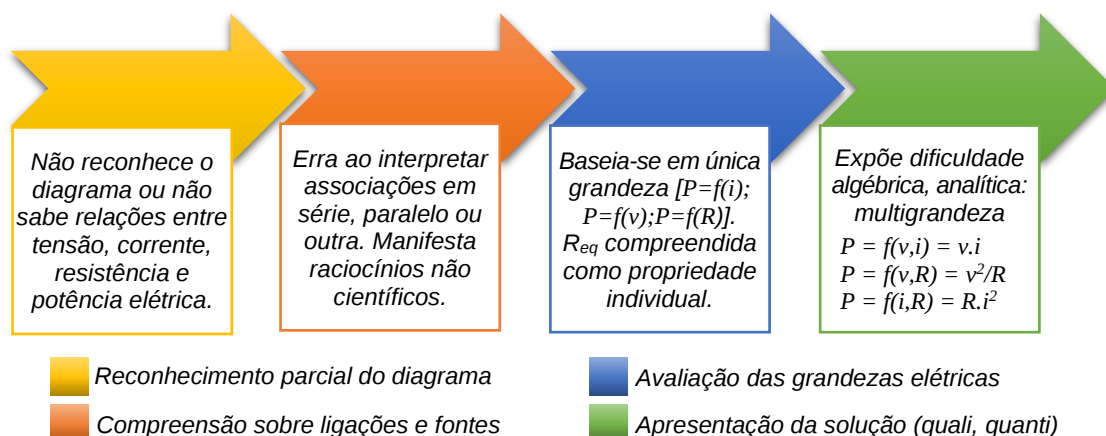
- A primeira, de que este raciocínio aparece em vários níveis de escolarização (SHIPSTONE, 1984; ANDRE; DING, 1991) e que a linguagem reforçaria concepções não científicas sobre a corrente (STOCKLMAYER; TREAGUST, 1996), o que pode significar lacunas conceituais sobre a aprendizagem do modelo atômico. Há também evidências no plano teórico e no experimental, em que há forte uso da ideia de “movimento” para a corrente elétrica, tipo de raciocínio mais ingênuo (JAAKKOLA *et al.*, 2011). Embora não tenha sido foco principal, a análise das situações indica que há ainda forte vínculo do modelo *sink* com dificuldades de aplicar o conceito de malha elétrica.

- Em segundo, as ideias declaradas através da FACCE permitem constatar que o raciocínio coletor pode originar-se da forma de apresentação do tema nos materiais instrucionais: parte delas foi manifestada espontaneamente a partir de estímulo proveniente da linguagem natural, sem figuras. Contudo, a proximidade da ideia de corrente elétrica com a de “fluido” se mostra alinhada nas respostas de alguns estudantes, em analogia ao circuito hidráulico (água-torneira-mangueira). Pesquisadores da UBC (University of British Columbia) no Canadá, mencionaram a existência de outras analogias que reforçam didaticamente a imagem de fluido na construção de significado no contexto pedagógico: referência ao transporte de vapor ou ar comprimido, ou a analogia mais popular entre professores que visa dar uma referência visível ao fenômeno elétrico: “o mesmo vale para um cano de água”, maneira encontrada por docentes para efetivar a ideia (TREMBEVILLA *et al.*, 2019).
- Uma terceira observação sobre o modelo coletor é que, em discordância ao que reportam alguns autores, não se trata apenas de que um ou outro modelo de raciocínio não científico reduz à medida que os alunos envelhecem (SHIPSTONE, 1984; BRNA, 1988). Notadamente, isto pode acontecer pelo crescimento das “experiências”, devido a intenções didáticas geradas por novas dinâmicas do sujeito com o ambiente de aplicação do conceito, testando e alterando a generalização de suas concepções. Contudo, alguns modelos podem persistir em níveis escolares e idades distintas, mesmo após a instrução formal, como constatado aqui. Pode haver influência também das concepções dos docentes (KÜÇÜKÖZER; DEMIRCI, 2008).
- Um quarto e último ponto: concepções não científicas, de modo geral, surgiram em percentual menor no grupo de estudantes do curso técnico. Embora mais jovens que os bacharelados, talvez por estarem inseridos em contexto pedagógico no qual estudos empíricos sejam mais explorados, teriam uma probabilidade menor de apresentar alguns tipos de concepções. Nota-se, contudo, que a presença do raciocínio coletor/*sink* nos dois grupos seria um indicador, até aqui, de que não é suficiente um ambiente “tecnologizado” para que haja redução plena deste ou daquele raciocínio não científico. Isto chama atenção para a organização intencional das situações e recursos, dos processos de transição entre registros e domínios tecnológicos, de modo que se torne proeminente e intencional minimizar problemas de aprendizagem.

Em relação às dificuldades dos jovens quanto ao conceito de potência elétrica nos estudos sobre o brilho de lâmpadas, é reconhecidamente difícil a interpretação de circuitos em série, em paralelo ou circuitos mistos. Apesar dos problemas típicos apresentarem natureza quali-quantitativa, lidar com múltiplas grandezas ao passo da interpretação das ligações elétricas expõe barreiras de aprendizagem. Determinar o brilho suscita a necessidade de compreender a corrente elétrica em componentes, a distribuição de tensão, além de avaliar cenários de igualdade, de “menor que”, “maior que”, conhecendo-se relações ou valores acerca da resistência de cada lâmpada. Assim, eles podem ignorar parte das avaliações vitais sobre uma ou mais grandezas, focalizando em uma única (tensão, resistência, corrente) tal como indicado nos protocolos de resposta.

É evidente haver casos em que o estudante não sabe a relação que define a potência elétrica em um resistor no circuito de corrente contínua. Porém, os resultados revelam indícios do acoplamento das concepções não científicas com as dificuldades matemáticas, com a manipulação de uma função P (potência elétrica), a qual depende de mais de uma variável, e cuja relação com a tensão ou a corrente tem formato de parábola (não linear). Li e Singh (2016) afirmaram que, quando os problemas envolvem lâmpadas não idênticas (resistências diferentes), eles se mostram difíceis até para alunos de doutorado.

Ao estudante se mostra laborioso avaliar os efeitos combinados de um tipo de associação sobre cada grandeza nos terminais do resistor (corrente, tensão) e, apenas depois, avaliar a potência elétrica. Os resultados revelaram que os caminhos de fuga da análise científica são (Figura 88): proposições analíticas inconsistentes, argumentações baseadas em uma única grandeza, referências posicionais além, no caso da avaliação baseada na resistência elétrica, de que o significado de “resistência equivalente” R_{eq} (nesse modelo de situação) pode ser tomado como parte da propriedade individual de um componente e não como parte da associação de vários componentes do circuito. Uma consequência experimental é o aparecimento de erros no uso de aparelhos (amperímetro, voltímetro) para medir grandezas (McDERMOTT; SHAFFER, 1992). Sujeitos podem desprezar as resistências internas dos equipamentos, o modo de conectá-los nos circuitos, realizando procedimentos que levam a riscos.

Figura 88 - Potência elétrica: alternativas ao desenvolvimento científico formal.

Fonte: próprio autor.

É interessante a reflexão sobre o tema anterior pois a dificuldade de ordenação sobre o brilho das lâmpadas apareceu fortemente na pesquisa. Costa e Catunda (2008), do Instituto de Física da USP, aplicaram este tipo de situação a 286 estudantes de quatro universidades (USP, UFSCar, UFPI e UERN) de vários cursos de bacharelado e licenciatura (química, computação, matemática, engenharia, física). O teste ocorreu ao final do semestre para alunos de diversas disciplinas: “Laboratório de Física III”, “Física III”, “Eletromagnetismo”, “Prática de Ensino de Física”; e no início da disciplina “Instrumentação para o Ensino das Ciências”. Os autores perceberam que as concepções não científicas persistem mesmo após atividades experimentais em laboratório. Profere-se uma observação importante a partir da análise de gráficos apresentados por estes autores: alguns problemas apresentaram desempenho superior por parte dos alunos do curso de Química, incluindo um cenário sobre curto-circuito. Disto, analisamos que haveria, então, um apontamento de que o conhecimento mais detalhado sobre o modelo do átomo, abordado em mais detalhes no curso de Química, poderia melhorar a compreensão sobre os fenômenos elétricos. De modo geral, os autores justificam as dificuldades dos estudantes pela falta de modelos, os quais lhe permitiriam fazer análises e resolver qualitativamente os problemas, sugerindo experimentos de natureza investigativa.

Outra relevante instância, a avaliação da equivalência de diagramas no Segundo Estudo, demonstrou que existem discentes do curso técnico que não

identificam a simetria de reflexão de um arranjo, uma reconfiguração figural que, do ponto de vista do circuito projetado, não afetaria a equivalência com relação ao circuito original. Ainda, nos dois grupos se mostrou cognitivamente complexo o tratamento, a interpretação e a construção de cenários que envolviam a análise icônica empírica ou a montagem com a matriz de contatos (*protoboard*). Os estudos revelaram que, neste caso, a coordenação argumentativa dos discentes do bacharelado transita em sua maioria entre noções do conceito (CA1), muito influenciadas pelo arcabouço morfológico, e argumentos semiestruturados (CA2). No caso dos sujeitos do curso técnico, embora alguns demonstrem noções em vários cenários, prevalecem alguns desencadeamentos conceituais, explicações categorizadas entre semiestruturadas (CA2) e estruturadas (CA3).

Na análise das situações, o emprego dos conceitos de nó elétrico, ramo e malha é, aparentemente, preterido pelos estudantes do curso técnico (surgiu em apenas um protocolo de resposta). Nos protocolos dos bacharelados também é mínima a referência linguística ou figural da aplicação destes conceitos. Erros na interpretação morfológica podem ser encarados como um reforço à exiguidade material e discursiva deles nos livros ou no processo de ensino-aprendizagem. De modo global, dos 26 sujeitos que participaram das atividades, a especificação dos conceitos auxiliares ocorre por menos de 20% deles. A referência a conceitos basilares nos dois grupos expõe percentual semelhante (em torno de 70%), porém havendo concepções não científicas associadas.

Para alguns sujeitos, a representação icônica (desenho) por si seria suficiente para explicitar os significados acerca das associações. A análise dos resultados aponta, de maneira geral, um processo de formação conceitual ainda em andamento, com lacunas expressivas, em que sobressai o uso pouco frequente ou a não utilização de conceitos basilares (AR1) mas, principalmente, dos auxiliares/subliminares (AR2) da teoria de Circuitos Elétricos.

Lacunas conceituais inibem o desenvolvimento de competências. Em virtude disso, os domínios tecnológicos de natureza analógica e digital estariam comprometidos? De outro modo, as dificuldades trazidas do contexto teórico, confienciada pela análise dos registros, teriam que tipo de consequência

quanto ao uso de equipamentos físicos ou na simulação digital? As situações empíricas demandam particularidades de aprendizagem específicas? A fim de estruturar parte das respostas a tais questões, se apresentam as situações da Fase B do Segundo Estudo. Algumas conclusões já puderam ser observadas a partir das situações que envolveram o *protoboard*: raciocínio posicional se sobrepõe às regras operacionais do equipamento; curto-circuito é elemento de aplicação frequente devido às acepções morfológicas. No entanto, acredita-se na possibilidade de concatená-las mais detalhadamente de maneira a estreitar o entendimento consoante a outras vertentes do domínio tecnológico.

8.2.1 Fase B – Descrição Analítica e Comparativa

Quando nos deparamos com o domínio tecnológico no contexto dos Circuitos Elétricos, se torna mais evidente que, geralmente, as transformações entre representações não possuem um caráter uno. Certos equipamentos podem trazer restrições relacionadas com construções rígidas que só permitem uma ou outra forma específica de ligação. Em complemento, há recursos que possibilitam um conjunto de cenários de produção com o mesmo significado elétrico. Também existem preocupações com dimensões, limites construtivos, transformações, atualizações e adaptações tecnológicas.

No escopo mencionado, a partir deste ponto será observado com mais detalhes os cenários que transitam do abstrato ao concreto e, também, do concreto ao abstrato, inserindo o contexto dos domínios tecnológicos, cujos exemplos estão propositadamente associados a recursos didáticos e profissionais para técnicos e engenheiros em formação.

PARTE I

(Fase B | PI - SP1, SP2). As situações-problema 1 e 2 administradas nesta fase trazem a possibilidade de análise comparativa com situações presentes no Primeiro Estudo (Apêndice A). Operações de transformação do quadro teórico para o experimental, neste caso, envolvem a recorrência a modelos, técnicas, estratégias de montagem, envidando a transição do abstrato ao concreto, da língua natural para o registro icônico pictórico, e dele para a montagem.

A manipulação de objetos nos dois casos iniciais deveria ocorrer após o planejamento das condições de montagem, da organização técnica sobre a conexão de cada componente no *protoboard*, mas, sobretudo, posteriormente à apresentação de uma proposta no registro icônico admitindo o que é solicitado (na língua natural) para construção de uma rede: Caso 1.1: cinco resistores associados em série; Caso 1.2: três resistores associados em paralelo; Caso 1.3: conter as redes dos casos 1.1. e 1.2 em paralelo; Caso 2.1: dois resistores em paralelo e, esta combinação inicial, em série com um terceiro resistor; Caso 2.2: Três resistores em Δ ou em Y. Cada resistor da configuração escolhida deve, individualmente, conter um outro resistor em paralelo.

Os cenários trouxeram correspondência com a situação-problema 10 do Primeiro Estudo (SP10). Os protocolos expuseram a ilustração (conversão: língua natural $\rightarrow$ icônico) e a montagem (registros $\rightarrow$ domínio tecnológico analógico).

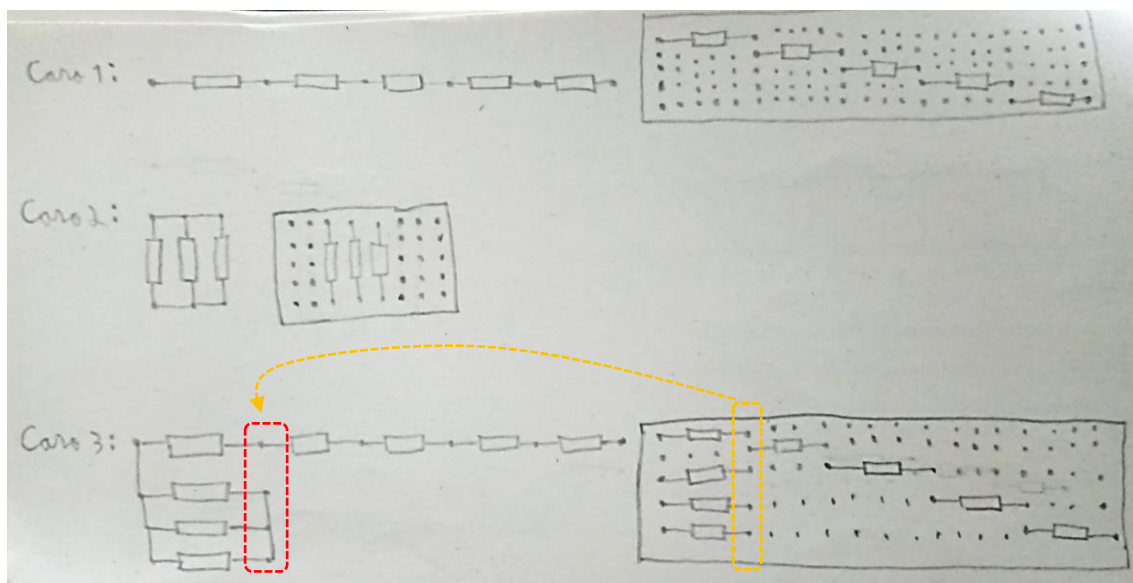
- **Ilustração:**

- O imediatismo motivado pela realização da montagem resultou, na primeira conversão, em apenas onze (11) respostas dentre vinte e quatro (24) possíveis. A primeira conversão não foi realizada pela maioria, havendo a conversão língua natural $\rightarrow$ domínio tecnológico;
- Percentual semelhante nos dois grupos de sujeitos produziu a seriação a partir do alinhamento dos resistores (em torno de 60%). Alguns discentes do curso técnico, contudo, reproduzem ligações como que superpostas a um desenho do *protoboard* (Figura 89), algo que não apareceu no Primeiro Estudo. O desenho da matriz de contatos é um tratamento anterior à construção no equipamento. Surgiu também caso de uso combinado icônico formal + empírico;
- Nos dois grupos predomina uma representação que se assemelha ao que é prescrito na construção morfológica do significado, o que pode proporcionar algumas concepções não científicas (Figura 90).

Na representação simbólica empírica da Figura 89 (SP1), identifica-se uma correta referência à ligação série (caso 1). No caso 2 nesta mesma figura há uma dificuldade declarativa visual inerente à regra de formação no *protoboard*,

embora a representação simbólica adjacente esteja correta. A tentativa de correspondência espacial fez com que o sujeito (T11) não avaliasse regras do recurso representado através do desenho, havendo erro de correspondência. Sugere-se que este é muito influenciado pela disposição espacial do desenho de partida e da representação no desenho de chegada (horizontal, vertical).

Figura 89 - SP1 - produção no registro icônico (T11): desenho do *protoboard*.



Fonte: Protocolos de Resposta - FACCE.

Figura 90 - SP2 - produção no registro icônico (T3): influência imagética.

Caso 1 – A rede deve conter dois resistores associados em paralelo. Esta combinação de resistores deve estar em série com um terceiro resistor.

Estudante sugere que os resistores R_2 e R_3 estão em série.

Caso 2 – A rede deve conter três resistores associados em conexão do tipo Δ ou em conexão tipo Y. Cada resistor, individualmente, deve apresentar um outro resistor em paralelo.

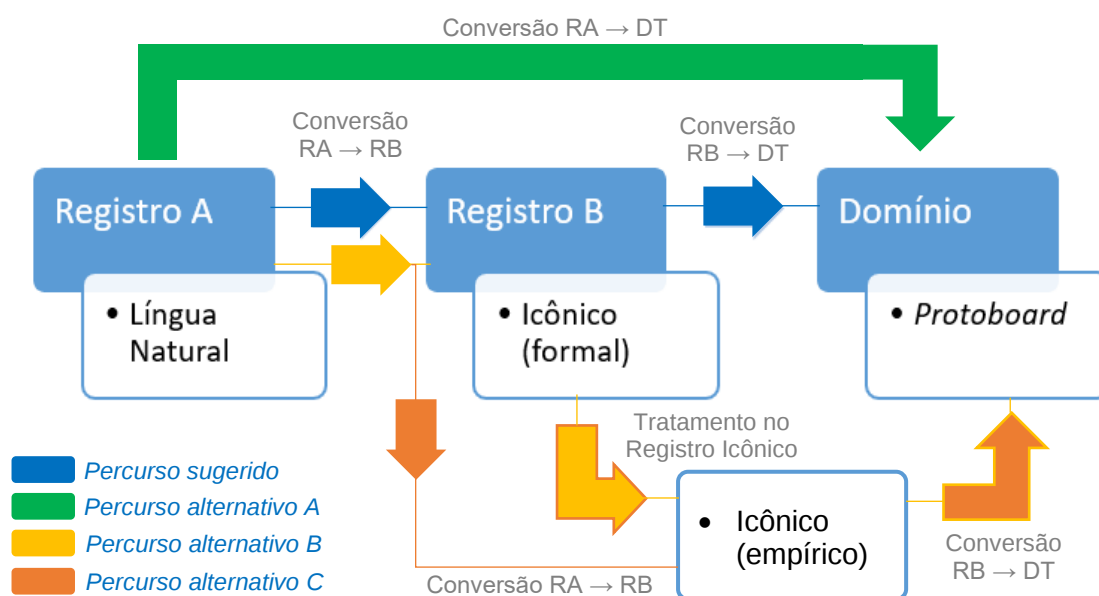
Dificuldade na produção combinada

Fonte: Protocolos de Resposta - FACCE.

No caso 3 (Figura 89) nota-se uma confusão ao que foi solicitado: no registro icônico (formal) há cinco resistores em série e, esta primeira associação, em série com outros três resistores em paralelo entre si. Na representação imagética do recurso empírico, há quatro resistores em série e, esta associação primeira, em paralelo com outros quatro resistores. Já em SP2, o protocolo de outro sujeito (T3) – Figura 90, mostra referência posicional em associação mista (caso 1), dispondo três resistores em paralelo (situação não solicitada), refletindo ainda dificuldade em produção combinada (caso 2: Δ -paralelo). Esta, porém, foi uma dificuldade pontual no grupo de sujeitos do curso técnico. Aos que responderam à situação, 75% dos itens estavam corretos.

Em resumo, tal qual junto aos sujeitos do curso superior, os protocolos dos discentes do curso técnico revelaram uma produção muito associada à natureza morfológica do que prescreve o imaginário posicional da ligação. De modo geral, contudo, apesar desta influência, os estudantes do curso técnico apresentaram mais acertos. Chama atenção ainda três comportamentos alternativos na resolução: a proposição direta entre a língua natural e o domínio (conversão RA $\rightarrow$ DT: evita-se um registro intermediário); a inclusão de um tratamento adicional (icônico formal $\rightarrow$ icônico empírico), aproximando referência ao domínio tecnológico e um outro que substitui o registro icônico formal pelo empírico (Figura 91).

Figura 91 - Percurso sugerido e processos alternativos nas situações-problema 1 e 2.



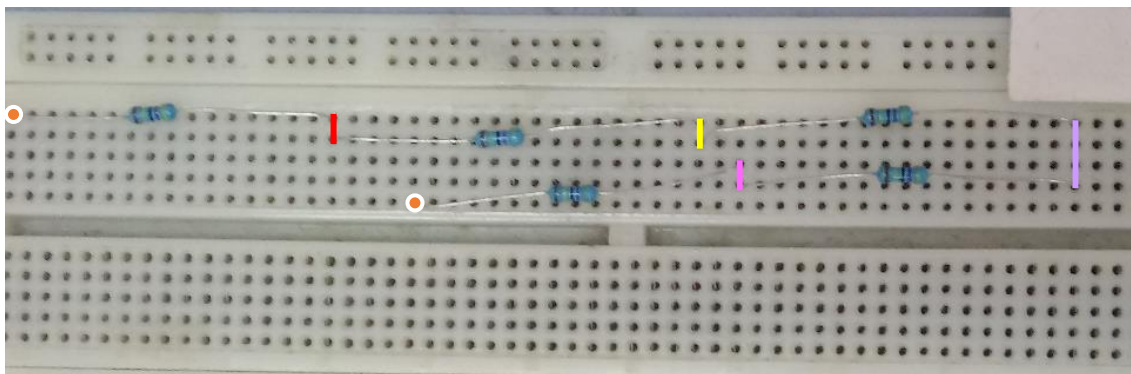
Fonte: Próprio autor – Segundo Estudo.

Em relação à conversão do registro A (Língua Natural) e do registro B (Icônico) para o domínio tecnológico, considerações são expostas a seguir.

- **Montagem (ação empírica):**

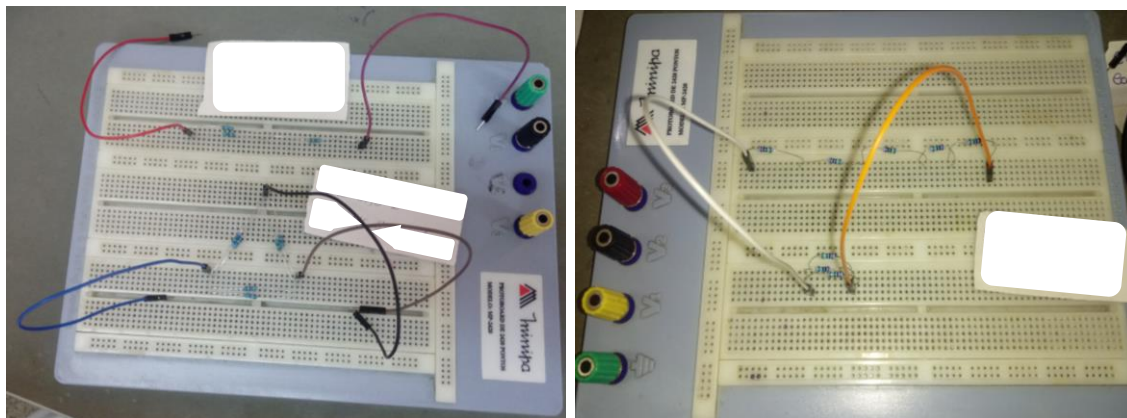
- Os sujeitos do curso técnico que expuseram a lógica dialética posicional na conversão $RA \rightarrow RB$, também tentaram implementá-la durante a conversão $RB \rightarrow DT$, expondo incorreções na montagem;
- No processo de conversão direta $RA \rightarrow DT$, houve referência estruturada das ligações no *proto-board* (Figura 92), minimizando, no recurso experimental, o raciocínio estritamente morfológico (EX1);
- Houve casos em que o sujeito não conseguiu demonstrar as ligações no Registro B (icônico formal), mas o fez no Domínio Tecnológico. Além disso, há cenários nos quais a implementação ocorre com sucesso na primeira conversão ($RA \rightarrow RB$), mas não é realizada deste último para o domínio tecnológico ($RB \rightarrow DT$);
- Transcorreu-se a produção de curto-circuito nos dois grupos, sendo, nesta situação, apenas um caso no segundo grupo. Nos sujeitos do curso técnico, a ligação mista foi feita com a predileção pelo uso de cabos adicionais na representação dos nós elétricos (Figura 93);
- O aspecto vocabular-imagético das ligações Δ e Y mostra que os atributos do desenho são imediatamente utilizados pelos sujeitos dos dois grupos no registro icônico. Contudo, este raciocínio ou resposta impulsiva/imediata gera dificuldade na montagem;
- No grupo de bacharelados há mais dificuldade de construir ligações do tipo Δ -paralelo ou Y-paralelo. Talvez, porque o estudo de conversões Δ -Y esteja mais presente na estrutura curricular e nos materiais do curso técnico em relação ao ensino médio regular, prevalecendo aproximação ao uso destas ligações. Ambos são tipos construtivos importantes na análise de sistemas elétricos trifásicos, temas tratados mais à frente nos cursos. De modo complementar, nos dois grupos apareceram sujeitos que não consideram as regras operativas das ligações (cinco pontos) no recurso (EX3) – Figura 94, com dificuldades na produção de associações (AR3).

Figura 92 - Articulação estruturada da ligação série no *protoboard*.



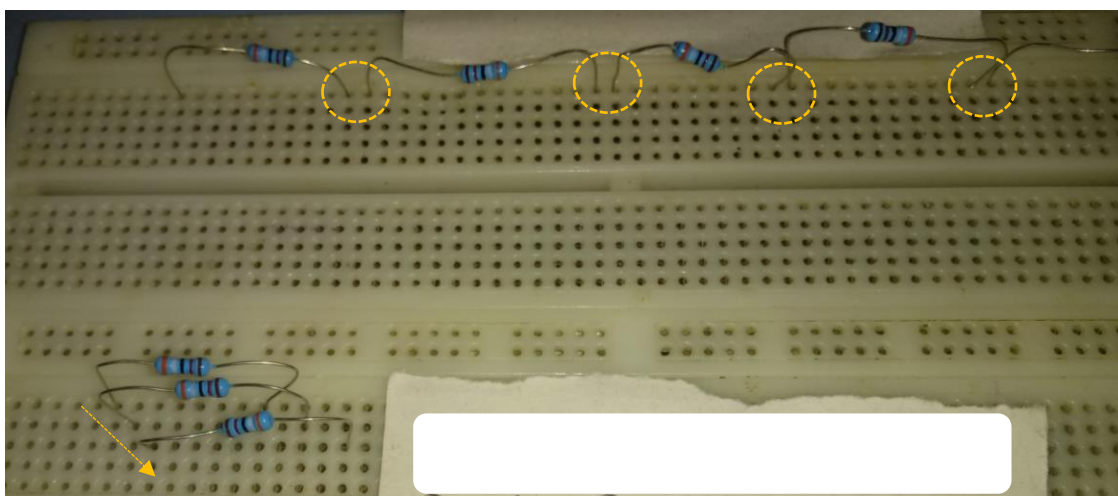
Fonte: Protocolos de Resposta - FACCE.

Figura 93 - Uso de cabos para indicar nós elétricos / terminais de referência.



Fonte: Protocolos de Resposta - FACCE.

Figura 94 - Desconsideração das regras do recurso nas ligações série e paralelo.

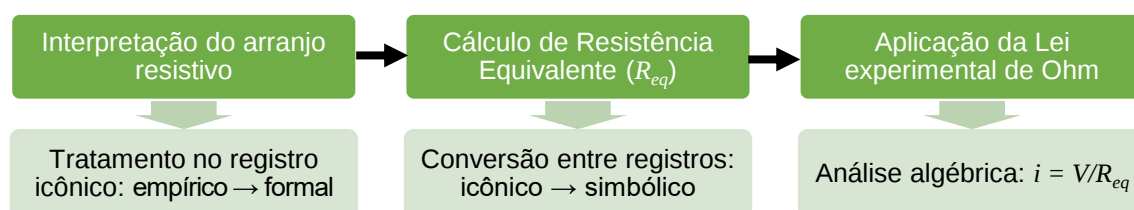


Fonte: Protocolos de Resposta - FACCE.

(Fase B | PI – SP3, SP4). Existem necessidades de associação do conhecimento teórico ao empírico seja no como saber, sobre o que se deve saber e sobre a forma de fazer. São raras discussões sobre a diversidade construtiva, escolhas, interpretação das trilhas como nós elétricos de um circuito, a transição do conhecimento teórico para o experimental. Neste sentido, em sintonia às hipóteses, concepções na elaboração empírica poderiam estar endereçadas não apenas à morfologia das conexões, mais também à dimensionalidade e característica física. Se mostra interessante, neste caso, entender como ocorre a interpretação do sujeito quando se depara com a imagem de uma construção experimental, de uma montagem nestes recursos. Este foi o cerne das situações 3 e 4 do Segundo Estudo na Fase B.

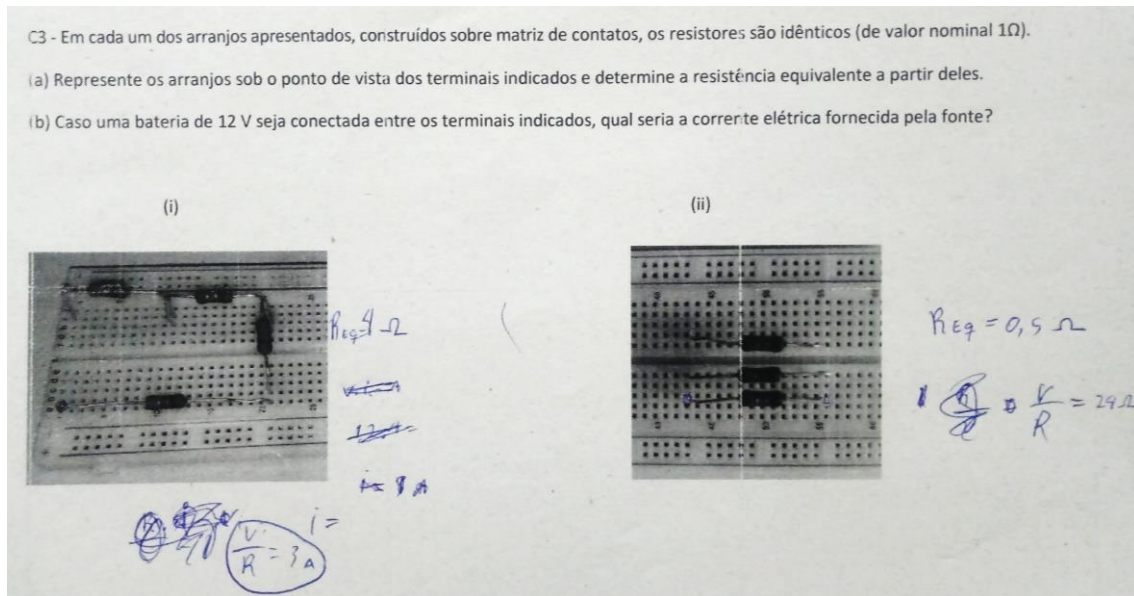
A situação-problema 3 desta fase apresentou dois circuitos representados através do registro icônico empírico (foto de dois arranjos com associação entre resistores), cujo percurso até a resolução sugeriu o que é indicado na Figura 95.

Figura 95 - Percurso para resolução da situação-problema 3 (Fase B – Parte I).



Fonte: Próprio autor – Segundo Estudo.

O primeiro arranjo (C3i) representa uma associação entre quatro resistores em série. A resistência equivalente é de 4Ω . Uma fonte de 12V sendo conectada entre os terminais em aberto favorecerá a circulação de uma corrente elétrica de 3A (Figura 96). No caso do segundo arranjo, apenas dois resistores estão conectados entre si (em paralelo: $R_{eq} = 0,5\Omega$, $i = 24A$). Embora a morfologia sugira uma conexão em paralelo entre todos os componentes, inexistente ligação de um dos resistores para com os demais em virtude do seccionador estrutural. A avaliação da corrente elétrica fornecida por eventual fonte no circuito paralelo permitiria, inclusive, verificar que não seria suportável tal montagem no *protoboard*, assim como haveria permissividade, em ambos os casos, à análise da potência dissipada pelos resistores, para fins de comissionamento/escolha.

Figura 96 - Resolução SP3 – Sujeito T1 (Fase B – Parte I).

Fonte: Protocolos de Resposta - FACCE.

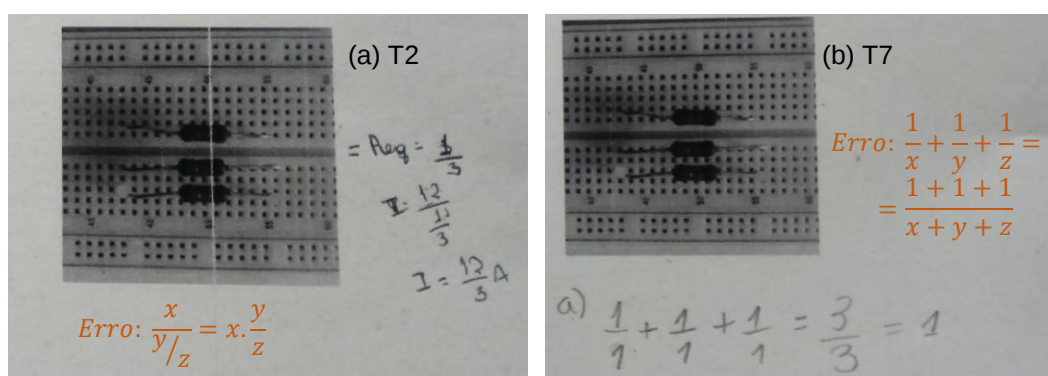
Cabe destacar que a maioria dos sujeitos do curso técnico (em torno de 60%) optou por não realizar o processo de tratamento associado à conversão interna de mudança do registro icônico empírico para o formal. Assim, para estes, quando o tratamento solicitado não foi demonstrado, a conversão ocorreu do registro icônico empírico para o simbólico (algébrico). Esta é uma escolha que, tal qual em outros cenários transcorridos ao longo das análises, surge aparentemente pela familiarização da imagem percebida ao conjunto de signos construído no imaginário do sujeito e que, quase que imediatamente, lhe é classificado por um realismo ingênuo, se mostrando como um obstáculo à aprendizagem.

Na realização de conversão entre registros, maior taxa de êxito acontece envolvendo a ligação série (mais de 80% dos sujeitos). A ideia de vizinhança foi mantida neste caso, facilitando de certo modo a mudança de registro (EX1 – emprego do realismo físico dimensional). Um deles reportou a percepção para obtenção da resistência equivalente na seriação através da língua natural (T8: “Vai somar as resistências pois estão todas em série”). Apenas um (01) dos doze (12) sujeitos que propuseram solução o fez corretamente na associação em paralelo, revelando a dificuldade de compreender o nó no *protoboard*: o divisor físico indica a inexistência da continuidade da solda interna (do nó elétrico) na vertical.

O raciocínio paralelo (*parallel reasoning*) foi observado em um dos protocolos de resposta (T15), no qual o sujeito deduz que o aumento do número de resistores no arranjo vai acarretar o aumento da resistência equivalente, apesar da forma de conexão entre os componentes. Neste caso, inibe-se, inclusive, o raciocínio qualitativo ou a percepção que se desdobra do algoritmo algébrico: a resistência equivalente em uma associação com resistores em paralelo é sempre menor que a menor resistência da associação.

A aplicação da Lei de Ohm na conversão do registro não discursivo para o simbólico foi realizada com sucesso pela maioria, mesmo junto aos que obtiveram valor incorreto para a resistência equivalente. O problema interpretativo se acentua, de fato, quando envolve frações, ao obter a resistência equivalente na associação em paralelo. Esta é a fonte de erro mais frequente, relativa à análise algébrica (soma de frações, divisão, função exponencial). A aplicação indevida acarreta, inclusive, erros dimensionais do problema, das unidades das grandezas (SB1, SB2). Além disso, do contexto matemático constata-se erros conceituais (Figura 97), muitas vezes admitidos superados (pelos docentes) quando lidam com os estudantes após o ensino fundamental ou nas séries finais do ensino médio.

Figura 97 - Resolução SP3 - erros nas operações com frações (Fase B – Parte I).



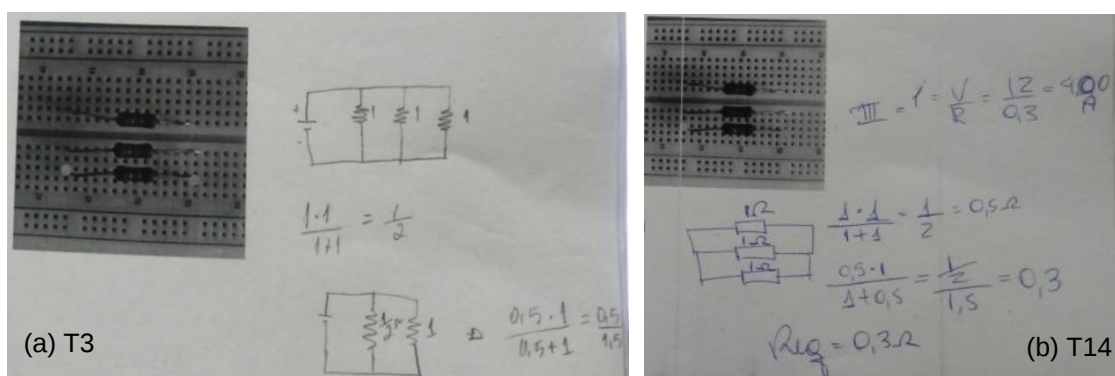
Fonte: Protocolos de Resposta - FACCE.

A desorientação na soma, na divisão com frações, gera dificuldades ao pleno domínio do conhecimento. Experiências do autor como docente revelam que há maior evidência quando a operação de soma inclui parcelas com denominadores diferentes. Isto significa, na teoria, uma associação em paralelo com componentes de resistências diferentes, envidando a análise de mínimo múltiplo comum.

Prevalece nos protocolos o raciocínio morfológico, em que o sujeito desconsidera regras de montagem do recurso (EX1, EX2). Na situação SP3, o estudo do comportamento dos circuitos propostos é precedido de processos de tratamento e de conversão, extraordinariamente valiosos no desenvolvimento de argumentos pelos sujeitos. Após interpretação preliminar, o simbolismo algébrico é fortemente requerido, em que dificuldades trazidas de séries anteriores, discutidas há pouco, afetam a compreensão plena da teoria de circuitos.

Uma operação alternativa de cálculo da resistência equivalente é aplicação de resultados algébricos quando se envolve apenas duas parcelas. Como resultado, a resistência em paralelo com mais de dois resistores associados é obtida por partes agrupando-os dois a dois (multiplicação dividido pela soma). Este é um algoritmo semelhante ao detectado junto a alguns sujeitos do curso de bacharelado para obter a resistência equivalente neste tipo de associação (Figura 98).

Figura 98 - Resolução SP3 – resultado do algoritmo na aplicação por partes para cálculo de resistência equivalente na associação em paralelo (Fase B – Parte I).



Fonte: Protocolos de Resposta - FACCE.

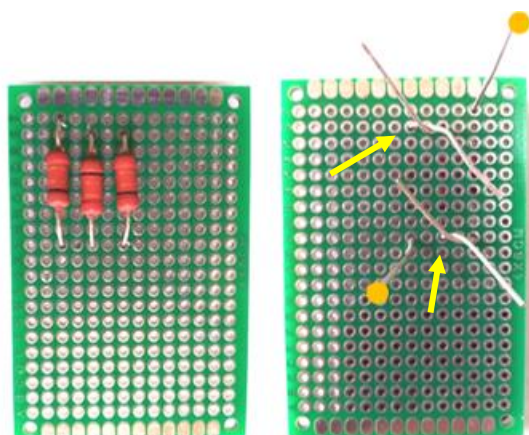
Assim, alguns erros atribuídos ao contexto algébrico ou analítico da aplicação da Lei de Ohm ou das Leis de Kirchhoff podem, na verdade, estar associados a problemas de aprendizagem não solucionados plenamente no ensino fundamental. De modo complementar, é possível que estas dificuldades se mantenham ao longo do ensino médio, fato que nos fez registrar em outras situações-problema, erros semelhantes processados pelos calouros da engenharia.

A situação-problema 4 (Fase B – Parte I) traz certo relacionamento com o problema da imagem da placa de circuito da Fase A. No caso aqui tratado, porém, utiliza-se uma placa de circuito perfurado de dupla face, enfatizando a tridimensionalidade do problema não através de trilhas e sim de pontos (perfurações). Gerou-se a necessidade de avaliar as duas faces para compreender e classificar o tipo de ligação em jogo (Figura 99).

Figura 99 - Situação-problema: placa de circuito perfurado de dupla face.

Situação C4

A placa de circuito impresso a seguir é apresentada em suas duas faces. Esboce a representação do arranjo entre os resistores do ponto de vista dos terminais em aberto.



Fonte: Protocolos de Resposta - FACCE.

Esta situação permitiria verificar o nível de aderência do raciocínio do sujeito ao aspecto morfológico de uma única face do recurso (imageticamente representado através de foto). Isto, mesmo quando a ligação realizada na face oposta enfatizasse eletricamente divergência a eventual acepção inicial indicativa de paralelismo. Tal como a situação problema anterior, esta é uma demanda simples a profissionais durante a construção ou reparo de circuitos. Ela também aponta requisitos diferentes quanto ao uso do *proto board*, sendo que, neste último, as ligações elétricas não estão aparentes, são movidas diretamente pelas regras implícitas previamente requeridas. Em SP4, resistores foram dispostos espacialmente em paralelo (demonstrado em uma das faces), porém conectados eletricamente em série (demonstrado na face oposta).

É importante observar, dos resultados (Tabela 13), que o percentual de acertos (45,4%) se aproxima daquele obtido pelos bacharelados diante do problema semelhante (SP9, Primeiro Estudo), no patamar de 50%. Considerando o trajeto individual dos estudantes do curso técnico no Segundo

Estudo, é essencial pontuar que vários deles (T2, T7, T8, T9) não repetiram o raciocínio estritamente morfológico manifestado na situação de interpretação das ligações no *proto-board*. Todos os estudantes envolvidos tinham mencionado nunca ter tido contato anterior com a placa de circuito utilizada.

Tabela 13 – Interpretação da associação série em PCB – Segundo Estudo.

Associação (tipo)	Sujeitos											%
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T11	T15	
Série	X	X					X	X	X			45,4
Paralelo				X		X				X		27,3
Mista (série-paralelo)			X		X							18,2
Outro											X	9,1

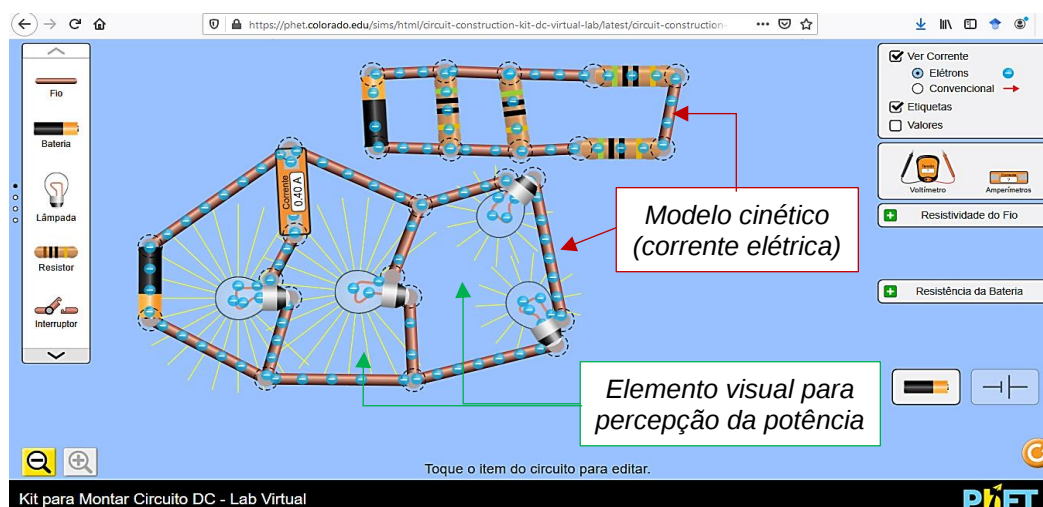
Exprime-se, então, que a interpretação da associação entre resistores é menos complicada quando o sujeito lida com cenários em que as ligações são expostas tridimensionalmente, passíveis de apreciação visual direta (diferente do *proto-board*), em que os nós elétricos são observados através de soldas na forma de pontos ou retas. O grau de dificuldade interpretativa é semelhante ou pode, notadamente, aumentar quando os caminhos inerentes à efetivação das ligações elétricas se estabelecem por outros formatos, mais complexos (como as que aparecem em placas de circuito com trilhas). É possível que a referência icônica permita, assim, redimensionar o escopo do conjunto vocabular. Isto, através de exemplos que ponham em conflito as referências intuitivas ou pré-formadas por cada sujeito (RV3), orientando a um modelo abstrato mais complexo a partir de uma percepção empírica (material).

Quando as regras não se encontram visualmente tão explícitas, como é o caso da matriz de contatos, a interpretação requer coordenação interpretativa mais estruturada. Avaliando os três recursos analógicos explorados até então, observa-se que é possível aparentemente propor uma categorização baseada nas dificuldades de interpretação, em que as placas de circuito (perfurado, impresso), na aprendizagem das associações mais básicas (série, paralelo, série-paralelo), podem ser administradas em etapa anterior ao uso do *proto-board*. Esta seria uma ordenação sugestiva ao ensino quando tais recursos tecnológicos estão disponíveis na formação científico-profissional dos sujeitos.

(Fase B | PI – SP5, SP6). As últimas situações da Fase B (parte I) versaram sobre a inclusão de recursos digitais no estudo de Circuitos Elétricos (Apêndice A). É notória a expansão de programas para simulação através de aplicativos para *smartphones*, *tablets*, computadores, e sua relevância ao contexto experimental dadas as restrições de investimento de muitas instituições em relação à aquisição de equipamentos para laboratórios físicos. O uso de programas para simulação visa, ainda, uma oportunidade para desenvolver novas habilidades ao discente, prospectando ganhos de aprendizagem conceitual. Houve a proposta de conversão do registro discursivo da língua natural para o domínio tecnológico. Como recurso em SP5 fez-se uso do simulador CCK/PhET. Para interpretação a partir do conjunto imagético, com posterior representação (tratamento) e avaliação das leis básicas de circuitos, admitiu-se o programa PSIM (SP6). Nos dois casos, destaca-se a permissividade em compreender como o sujeito lida com outras grandezas elétricas, a conexão de medidores digitais (amperímetro, voltímetro). Em SP5 é incluído o estudo sobre a potência elétrica. As situações foram projetadas reconhecendo *interfaces*, opções de exame do fenômeno, limitações e potencialidades dos programas para simulação, focalizando entendimentos ao domínio tecnológico digital.

A construção do circuito em SP5, conforme mostrado na Figura 100, permitiu que os sujeitos pudessem observar, em um circuito com associação mista, os efeitos da corrente em resistores ou sobre o brilho de lâmpadas.

Figura 100 - Protocolo da construção do misto circuito no CCK/PhET (T9).



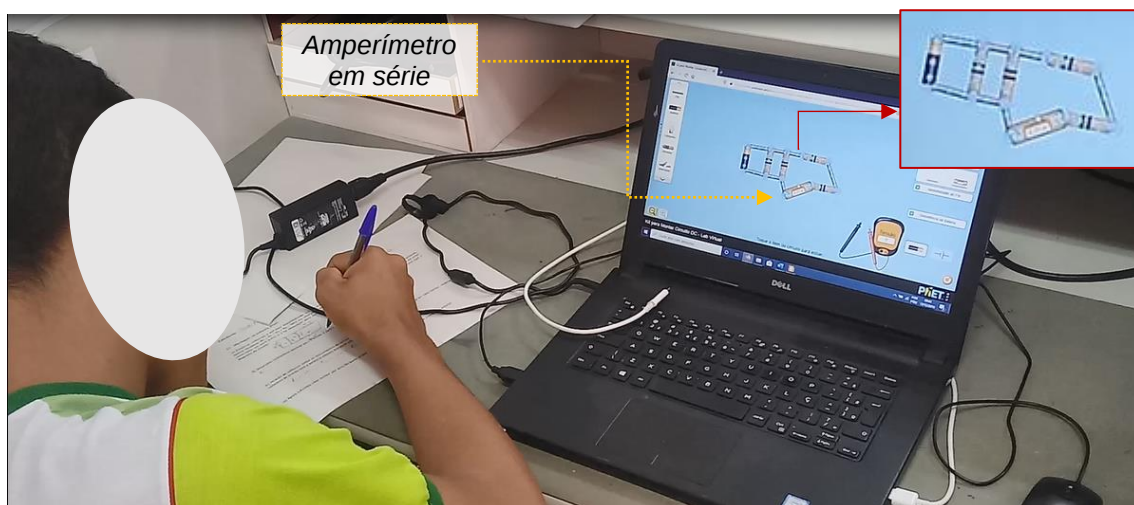
Fonte: Protocolos de Resposta - FACCE.

O circuito é formado por quatro resistores idênticos (50Ω), sendo dois em paralelo com uma fonte de tensão de 20 V ($i_1 = i_2 = 0,4$ A; $v_1 = v_2 = 20$ V; $P_{R1} = P_{R2} = 8$ W). Outros dois resistores foram dispostos em série entre si e, esta primeira associação, conectada em paralelo com a fonte ($i_3 = i_4 = 0,2$ A; $v_3 = v_4 = 10$ V; $P_{R3} = P_{R4} = 2$ W). A intensidade da corrente foi percebida através da “velocidade de deslocamento”, um modelo cinético expresso por meio da representação do “movimento” de elétrons. A potência elétrica foi revelada por segmentos de reta proporcionais a sua intensidade, como “raios luminosos” saindo da lâmpada.

Dos resultados, em SP5 nota-se exagerada confiança dos sujeitos pelos resultados obtidos com o programa, mesmo quando os dados (erroneamente medidos) contrapõem análises qualitativas da natureza da associação ou após aplicação algébrica. Houve vários sujeitos que não souberam conectar os instrumentos digitais na situação (amperímetro em série, volímetro em paralelo).

Para dois dos dez sujeitos (T1, T9), a análise dos protocolos de resposta sinaliza que o uso do recurso digital auxiliou completamente a análise qualitativa em SP5. Eles são orientados através da percepção dinâmica da corrente facilitada pelo uso do programa, pela forma de realizar as ligações. Seus protocolos expressam planejamento e organização dos resultados, na aplicação das leis. A medição através de instrumentos digitais foi feita de maneira apropriada no CCK/PhET (Figura 101).

Figura 101 - Construção do caso e medição digital na situação-problema SP5 (T1).



Fonte: Protocolos de Resposta - FACCE.

Ainda em relação aos primeiros sujeitos citados (T1, T9), verificaram tensão e corrente em cada ramo, além de terem avaliado e determinado a potência elétrica, realizando correspondência nos resultados pelo programa.

De modo global, a liberdade de manipulação na interface do recurso digital permitiu a geração de diversos diagramas, morfologicamente distintos das construções propostas no registro icônico. Assim, vários sujeitos perceberam, no contexto do domínio tecnológico, a flexibilidade e variabilidade em relação ao conjunto visual de um caso, inclusive quando foi preciso realizar digitalmente a medição de corrente elétrica. Rotação e deslizamento, a exemplo, ocorreram sem que fossem estas julgadas como operações que alterassem a correspondência topológica entre diagramas (desenho, programa). Neste sentido, o programa surge como alternativa potencial para o projeto de cenários que envidem a superação de raciocínios baseados na morfologia dos circuitos.

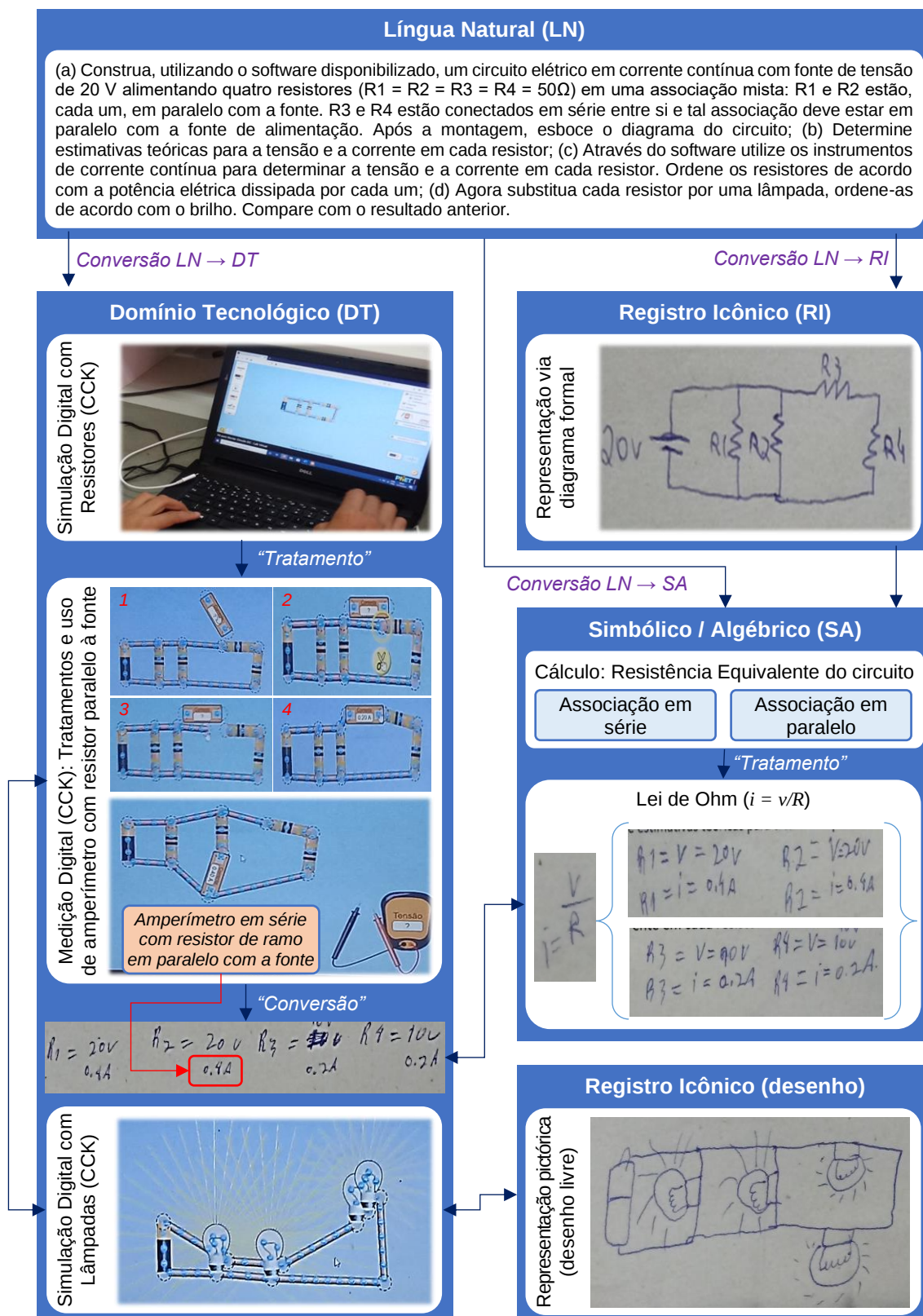
A influência morfológica ainda se mostrou presente nos protocolos de resolução. A maioria realiza as conversões da Língua Natural (LN) para o registro icônico (interpretação) sem problemas. Outros também a realizam para o domínio tecnológico ou apenas para ele. Dos sujeitos, 90% expõem de maneira correta a conversão ao desenho. É apresentada a seguir uma síntese de inconsistências e dificuldades, as quais chamaram atenção nos protocolos:

- T3: Realiza as conversões e verifica as consequências do tipo de associação sobre as grandezas elétricas: “tanto as tensões quanto as correntes nos resistores R_1 e R_2 (conectados em paralelo) são as mesmas. Já nos (resistores) R_3 e R_4 as tensões e correntes são menores (do que nos demais resistores)”. Sua conclusão está fortemente baseada na observação do modelo cinético no CCK/PhET. Este argumento é sugerido porque não houve medição digital no programa. Assim, há provável dificuldade também vinculada ao contexto teórico, sobre como conectar cada instrumento no circuito. Em seu protocolo não houve formulação (EX1) ou resposta analítica;
- T4: Nota-se dificuldade no uso do amperímetro para medir a corrente elétrica. Ele realiza a medição da tensão com o uso do voltímetro (em paralelo com o componente a medir). Estimativas teóricas não são feitas;

- T5: Medição digital da corrente feita inapropriadamente. Em R₁, disposto pelo sujeito na malha que contempla a fonte (em paralelo com a alimentação), é confundida com a corrente total fornecida. Tipos de associação, consequências analíticas do caso e respostas visuais na interface são deixadas de lado quando da análise da potência elétrica. Conclusões baseadas em medições e estimativas incorretas são sustentadas como, por exemplo, que resistores idênticos submetidos à mesma tensão elétrica expõem potências distintas;
- T6: Apresenta referência morfológica (EX1). Utilizou apenas a medição digital da tensão para obter informação qualitativamente exposta: a tensão entre os terminais dos resistores conectados em paralelo com a fonte;
- T7: Realiza tão somente a conversão ao plano do recurso digital. Não realiza estimativas e medições. Ele mede digitalmente a corrente nos resistores em série, todavia erra ao medir a corrente nos resistores em paralelo com a fonte (dificuldade de identificar o ramo). A avaliação qualitativa é sobreposta a dados incorretos de medições, admitidos pelo sujeito como verdadeiros;
- T8: Elabora dois circuitos eletricamente equivalentes, visualmente distintos. Contudo, não soube conectar medidores para extrair dados. O resultado revela a aplicação da Lei de Ohm em resistor em paralelo com a fonte;
- T11: Expôs dificuldade nas conversões. Não obstante, há inconsistência entre o circuito construído e sua resposta analítica;
- T15: Realizou a medição digital da tensão nos resistores, mas não exprimiu resultados sobre a corrente elétrica. A aplicação das leis (Ohm, Kirchhoff) não é apresentada e, tal como outros sujeitos, não demonstra habilidade de reestruturar o circuito para conectar o amperímetro em série com resistores dispostos em paralelo. Avalia o brilho das lâmpadas com o recurso digital, abdicando ou demonstrando desconhecimento de expressões analíticas.

É notório que a extração de atributos e a aplicação de conceitos e leis na construção científica sobre Circuitos Elétricos não são processos simples e, em parte, ou de maneira integral, se manifestam fortemente nos protocolos. Em SP5, em particular, o percurso para alcance da resolução plena passava por conversões internas e externas dos registros (Figura 102), expondo barreiras interpretativas ou de dificuldade conceitual, no início ou ao longo da resolução.

Figura 102 - Etapas envolvidas na resolução da situação-problema SP5.



Fonte: Próprio autor.

Na previsão acerca do brilho das lâmpadas, aparece em SP5 o raciocínio não científico da potência como função da tensão - PB5 (sujeito T7). Observou-se ainda, apesar de não solicitado, que os sujeitos realizaram espontaneamente testes de outras configurações. Em decurso da facilidade em refazer conexões em um curto tempo e observar os efeitos em tempo real (em virtude do modelo dinâmico), o recurso de simulação oferece esta vantagem quando comparado a uma construção física do circuito. É imprescindível destacar, inclusive, que o domínio tecnológico, de maneira geral, tem ampla admissibilidade interpretativa em virtude da possibilidade variada de representações, transformações internas (tratamento), desdobramentos sobre medição e avaliação simbólica (conversão).

Quanto aos detalhes manifestados no organograma da Figura 102, atenta-se para o contexto do domínio tecnológico. Há um tratamento topológico-figural efetivado no programa, o qual se assemelha contundentemente ao que se executa em uma montagem física real (etapas), em que foi exemplificada a medição da corrente elétrica: 1 – disposição do instrumento; 2 – escolha do ramo; 3 – abertura do circuito (um nó elétrico dá origem a dois distintos, sendo um novo nó incluído no diagrama); 4 – conexão do amperímetro em série e medição. Neste processo, os resultados revelaram maior dificuldade dos sujeitos quando o amperímetro deveria ser conectado para medir a corrente de resistores em paralelo com a fonte. Tal ocorrência se coaduna com uma das hipóteses, em relação a lacunas no debate conceitual (nó elétrico, ramo, malha), gerando confusões relacionadas ao modo de conectar o instrumento no circuito elétrico.

A maioria dos sujeitos não consegue perceber que o nó pode ser representado por um fio. Assim, erros são gerados ao tentar substituir um fio entre dois terminais pelo amperímetro digital, realizar a medição de uma corrente que é a soma das correntes em vários ramos e não um único no qual se deseja obter dados de algum componente elétrico.

Em relação à situação-problema 6 (SP6) da Fase B (parte I), referiu-se à análise de um circuito série com cinco resistores (R1 a R5) idênticos (resistência individual de $3\ \Omega$; resistência equivalente de $15\ \Omega$ vista da fonte). O circuito foi construído a partir do programa de simulação PSIM, com registro icônico

empírico disponibilizado ao sujeito, seguindo devidamente as regras construtivas disponíveis na interface do programa (Figura 103). O recurso permite a construção de circuitos em sua *interface* na forma de pontos não dependentes, sendo diferente do *protoboard*. Nós essenciais aparecem em destaque na *interface*.

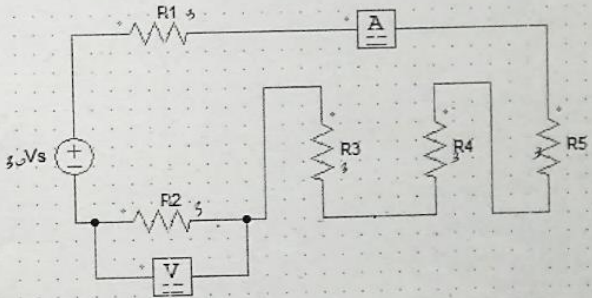
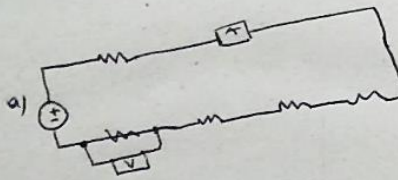
Figura 103 - Exemplo de resolução da situação-problema SP6 (T7).

C6 - Considere o circuito a seguir construído no software PSIM. Todos os resistores são iguais e de valor 3Ω . A alimentação ocorre através de uma fonte de tensão $V_s = 30\text{ V}$.

(a) Represente, utilizando a simbologia formal, o circuito completo.

(b) Informe a corrente medida pelo amperímetro e a tensão indicada pelo voltímetro.

(c) Qual a corrente sobre o resistor R_4 ? E a tensão sobre R_3 ?

$$a) I = \frac{30}{15} = 2\text{ A}$$

$$c) \text{ corrente na } R_4 = 2\text{ A}$$

$$\text{tensão na } R_3 = 3 \cdot 2 = 6\text{ V}$$

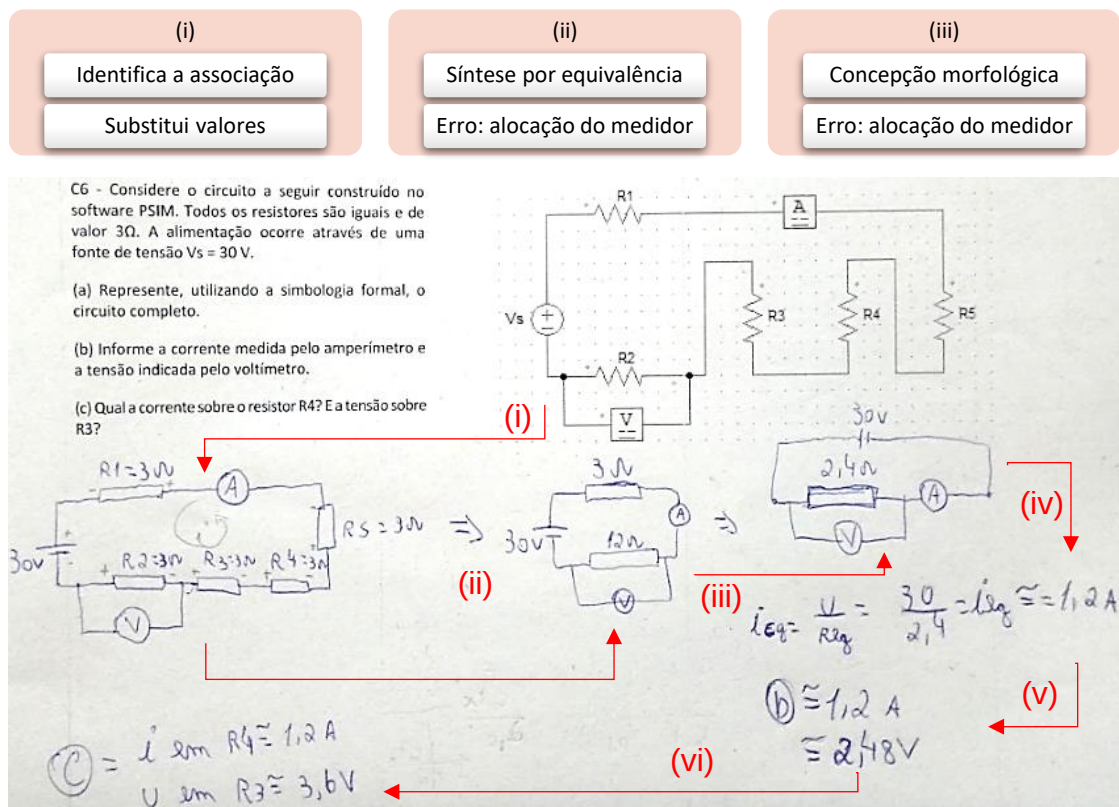
Fonte: Protocolos de Resposta - FACCE.

A associação de resistores foi alimentada por uma fonte de tensão de 30 V . Um amperímetro foi colocado em série na malha de modo que o sujeito poderia compreender a necessidade de informar a corrente elétrica fornecida pela fonte de tensão ($i = 2\text{ A}$). Um voltímetro foi disposto em paralelo com o resistor R_2 a fim de acenar a indicação da medição da tensão neste resistor (aplicação da Lei de Kirchhoff das Tensões ou da Lei de Ohm: $V_{R2} = 6\text{ V}$). A seguir, uma síntese dos resultados com olhar comparativo à situação anterior e ao Primeiro Estudo:

- *Sobre o comportamento perante a morfologia do circuito*, a exteriorização das representações mentais através de signos no registro icônico revela que alguns estudantes (T5, T8) possuem dificuldades de identificar associações em esquemas não convencionais (MT2). Mesmo tratando-se de um exemplo simples, menos de 50% dos sujeitos acertou à demanda plena da situação. Para explicar a complexidade do raciocínio morfológico necessário à

análise de circuitos, observe o protocolo de resposta de T5 (Figura 104). Note que a resistência equivalente, resultado da serialização entre R2, R3, R4 e R5 é indicada (12Ω) na primeira conversão interna. Todavia, quando o sujeito representa apenas este resistor equivalente com R1 no diagrama, ele sugere que estão em paralelo. Ou seja, a serialização é apontada quando R3, R4 e R5 estão morfologicamente em ramos paralelos na vertical, no entanto o raciocínio é outro quando há uma morfologia paralelo na horizontal.

Figura 104 - Resolução da situação-problema SP6 (T5) e análise de tratamento.



Fonte: Próprio autor e protocolos de resposta - FACCE.

- Sobre a coordenação argumentativa e resolutiva nas situações, os sujeitos T1 e T9 permanecem procedendo de maneira mais estruturada em relação ao demais. Tratamentos figurais (transformações do registro icônico) são realizados de maneira espontânea, mantendo-se equivalência elétrica entre a partida e a chegada. Os sujeitos T4 e T7 apresentaram este desempenho, apesar das dificuldades instrumentais na situação anterior;
- Quanto ao formalismo, comparando os grupos de sujeitos, nota-se, pelos mais jovens, maior rigor no tratamento simbólico (grandezas e unidades);

- *Sobre o cálculo da resistência equivalente e aplicação da Lei de Ohm:* Houve certa confusão de alguns sujeitos (T3, T6, T15) entre a resistência individual e a resistência equivalente de um circuito quando da aplicação da Lei de Ohm. McDermott e Shaffer (1992) informaram que este tipo de dificuldade, relacionada à concentração no número de elementos ao invés da propriedade individual, aparece também em situações mais avançadas como as que avaliam a previsão sobre o brilho de lâmpadas;
- *No aspecto instrumental,* ressalta-se que o sujeito T3 modificou a disposição esquemática do voltímetro (também observado no protocolo de T8), conectando o instrumento em série com os demais no circuito elétrico. Isto atesta a suposição vinculada aos protocolos deste sujeito em SP5, onde foi mapeada dificuldade de entender a forma de conexão dos instrumentos no circuito ou, mais diretamente, as características construtivas e o tratamento.

Os protocolos em que aparece a concepção relacionada à interpretação da resistência individual em relação substitutiva à resistência equivalente revela que alguns sujeitos são influenciados por uma supervalorização algorítmica. Em decorrência, isto faz com que, mesmo quando não solicitado no problema, o sujeito venha a priorizar cálculos em detrimento a avaliações qualitativas conceituais. Ele raciocina a potência elétrica (P) a partir das grandezas equacionadas na Lei de Ohm, o que o instiga a uma abordagem intuitiva unidimensional da potência elétrica [$P = f(v)$, $P = f(i)$ ou $P = f(R)$], evitando avaliação combinada de grandezas ou a verificação sobre a expressão de cálculo da potência em corrente contínua ($P = v.i$, $P = R.i^2$ ou $P = V^2/R$).

Comparando-se, de modo geral, o recurso da simulação digital com a atividade experimental em laboratório físico, observe que não são colocados argumentos que exponham conflito de um para com o outro. Dificuldades conceituais podem se apresentar nos dois ambientes, de maneira distinta, seja na manipulação analógica com *protoboard* ou com programa digital. Propor ligações, conectar os instrumentos para medir grandezas, em que pese o voltímetro (em paralelo) e o amperímetro (em série), é uma atividade difícil quanto à natureza das associações. É necessário compreender conceitos subliminares da teoria (nó, malha, ramo), algo difícil e recorrente nos recursos sob uso até aqui.

No contexto do domínio tecnológico digital, em especial, percebe-se as vantagens de diversificar o plano de montagens de componentes, algo muito expressivo na educação tecnológica experimental. No caso do CCK/PhET, os recursos visuais podem auxiliar na compreensão, nos desdobramentos sobre a forma de conexão dos componentes do circuito elétrico. Ainda, se mostra como uma vantagem aparente utilizar programas de simulação digital para explorar cenários mais complexos ou construtivamente não recomendados (curto-circuitos, erros de aplicação instrumental). Todavia, destaca-se outro ponto: a valorização visual das grandezas, seja através do modelo cinético ou por meio da indicação imagética referenciada da potência elétrica, deve ocorrer ao passo da exploração conceitual. Alguns sujeitos, motivados pela “visualização” de um cenário, podem expor avaliação intuitiva não científica, sem a devida coordenação argumentativa entre teórico e empírico. Disto, desistem da exploração qualitativa ou algébrica do fenômeno elétrico em virtude da facilidade convidativa dos recursos visuais do programa de simulação.

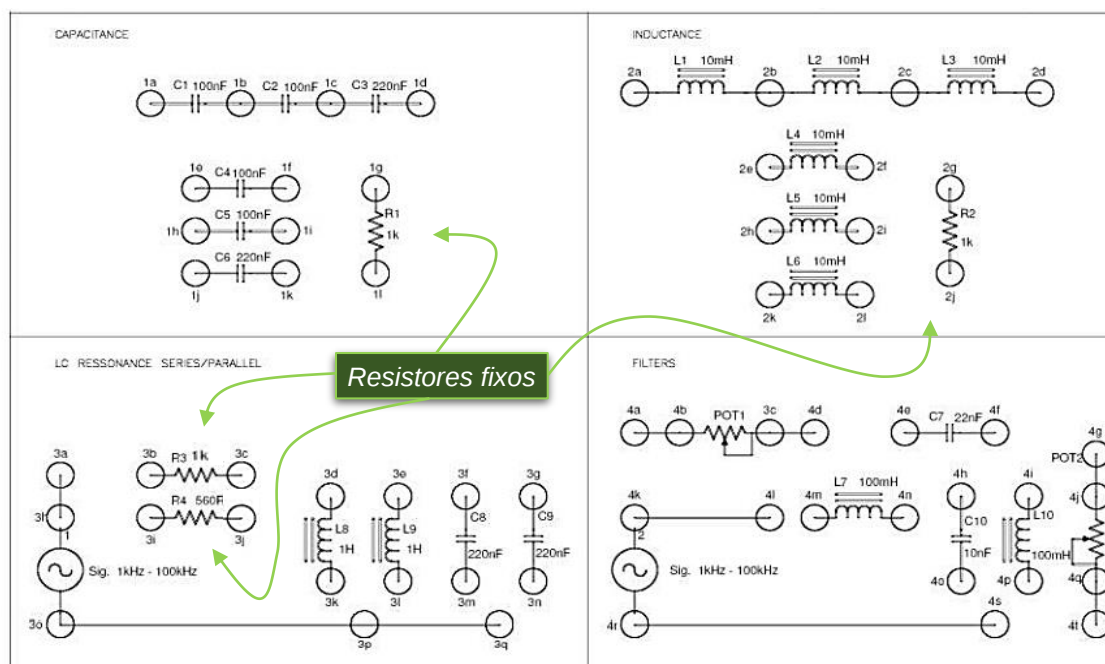
O CCK/PhET se caracteriza como um ambiente cujo processo é interativo por meio de animações, além de dispor de vários recursos singulares, a exemplo da referência visual comparativa da potência elétrica em lâmpadas de perfil resistivo. Os resultados, neste escopo, revelam alta produtividade de cada sujeito, normalmente simulando cenários para além do que lhe é solicitado.

Por fim, em perspectiva às situações do domínio tecnológico analógico, associado com montagens ocasionadas pelo uso de dispositivos físicos reais, é importante ressaltar algumas possibilidades, em que na avaliação com o recurso digital, por vezes, não são contempladas. A exemplo, cita-se o ato de lidar com a manipulação e gerenciamento de equipamentos e insumos, procedimentos intermediários a análise (inclusão de medidores no circuito, necessidade de reorganização de arranjos, desligamento de fontes). Ainda, destacamos a rica apreciação quanto à resposta do sujeito em tempo real a problemas comuns observados (dissipação de calor acima do permitido, falhas por mau contato, superação da capacidade de fontes e cabos), o entendimento sobre limitações acerca da dimensão física para a montagem, a realização física das ligações, a prototipagem, a criação de trilhas, soldas, dentre outros.

PARTE II

Almejou-se verificar confronto dos sujeitos a concepções, fazendo pontes com situações ao longo da FACCE, prevendo comportamentos. Inserem-se conceitos essenciais utilizados na construção de circuitos elétricos por meio de situações que envidam analisar dificuldades e a capacidade do sujeito em reorganizar o saber, mais fortemente no domínio tecnológico. A primeira situação, em particular, faz uma ponte com a Fase A do Segundo Estudo e se torna uma preparação ao uso de um recurso experimental modular, este muito utilizado no Ensino de Circuitos. O conjunto de situações alinha-se a uma das questões norteadoras, envidando a possibilidade de delinear elementos de confronto às concepções não científicas, estabelecendo relações entre conceitos e o plano experimental. Seguem detalhes sobre as situações exploradas:

- (i) *SP1: Retorno à referência fixa* – No registro icônico, resistores são dispostos espacialmente de maneira fixa (na vertical ou horizontal), com terminais de referência pré-escolhidos. Avalia-se o entendimento sobre a associação série e a associação em paralelo entre três resistores. No caso série, os resistores são dispostos morfologicamente como que sobre retas em paralelo. No segundo caso, resistores são alocados morfologicamente em alinhamento, em sequência. Em relação à fase A (SP3) do Segundo Estudo, resistores são dispostos aqui de maneira não convencional.
- (ii) *SP2: Módulo 1103A (componentes fixos, nós elétricos são fios)* – Como partida, admitiu-se o registro da Língua Natural. Como recurso tecnológico empírico, o módulo 1103A | AC Circuit (RL/RC/RLC). Este é utilizado convencionalmente junto à maleta SD1202 (reportada no capítulo 3). O conceito principal tratado é o de resistência equivalente. No recurso, dois resistores são dispostos espacialmente na vertical (1 k Ω , cada) e outros dois na horizontal (um deles de 1 k Ω e outro de 560 Ω) – Figura 105.
- (iii) *SP3: Arranjos e Lei de Ohm* – Explora-se construções em *protoboard* com a redução das dimensões físicas (área de montagem) através de matrizes de tamanhos distintos (referenciadas no Capítulo 3), restringindo o grau de liberdade da montagem. Ao fim, estimativas teóricas são solicitadas com via a propriedades qualitativas das associações e aplicação da Lei de Ohm.

Figura 105 - Módulo experimental 1103A: AC Circuit - MINIPA.

Fonte: Próprio autor e protocolos de resposta - FACCE.

Da primeira situação-problema da fase B (parte II), a minoria dos sujeitos se caracteriza entre acerto pleno (T1) e acertos predominantes (T4, T7, T9), sendo os mesmos que vêm desenvolvendo uma coordenação argumentativa mais robusta o longo da FACCE. Os acertos ocorrem com mais frequência na associação série, sendo que 30% dos sujeitos exibiram assimilação posicional (EX1). Nas produções de quatro (04) sujeitos (T3, T5, T8, T15 - 40%), demonstrou-se a necessidade de construir um novo desenho, caracterizando-se como suporte interpretativo. Para três deste último subgrupo, pretere-se a posição fixada na situação, propondo-se exclusivamente um novo desenho. O sujeito T3 também o faz no diagrama, tentando estabelecer uma ponte entre o seu desenho e a morfologia fixa dos componentes. Percentual semelhante dos sujeitos teve este comportamento na Fase A (37,5%), apesar de um número maior de participantes naquela ocasião. A linguagem pictórica, assim, revela superficialidade e confusão conceitual, confidenciada nas configurações produzidas (AR1, AR2, AR3). Os sujeitos que manifestaram uma compreensão mais estruturada no domínio tecnológico digital (Parte I - Fase B) mantiveram coerência conceitual na Parte II com os elementos pictóricos e empíricos.

Raciocínios tipo coletor (CR1) e curto-circuito (CR4) foram manifestados em SP1. O êxito dos sujeitos nesta situação é menor quando comparado à situação na Fase A (SP3). Sugere-se, em explicação a tal fato, que na situação da Fase B os componentes são dispostos em uma posição não convencional, de morfologia menos prevalecente nos materiais. Daí, se antecipa preocupação a ser tratada no ensino em relação às habilidades profissionais, uma vez que o vocabulário visual restrito se distingue claramente de aplicações, sobretudo quando se julga o uso de equipamentos, de recursos tecnológicos para fins educacionais ou profissionais. Em geral, a distribuição dos componentes, de fios que materializam nós elétricos, a disposição dos equipamentos em instalações, sistemas ou circuitos eletrônicos não traz estreita correspondência ao que se verifica no arcabouço conceitual, pelos discentes, ao longo da sua escolarização, seja no ensino médio integrado ou em disciplinas iniciais em engenharia.

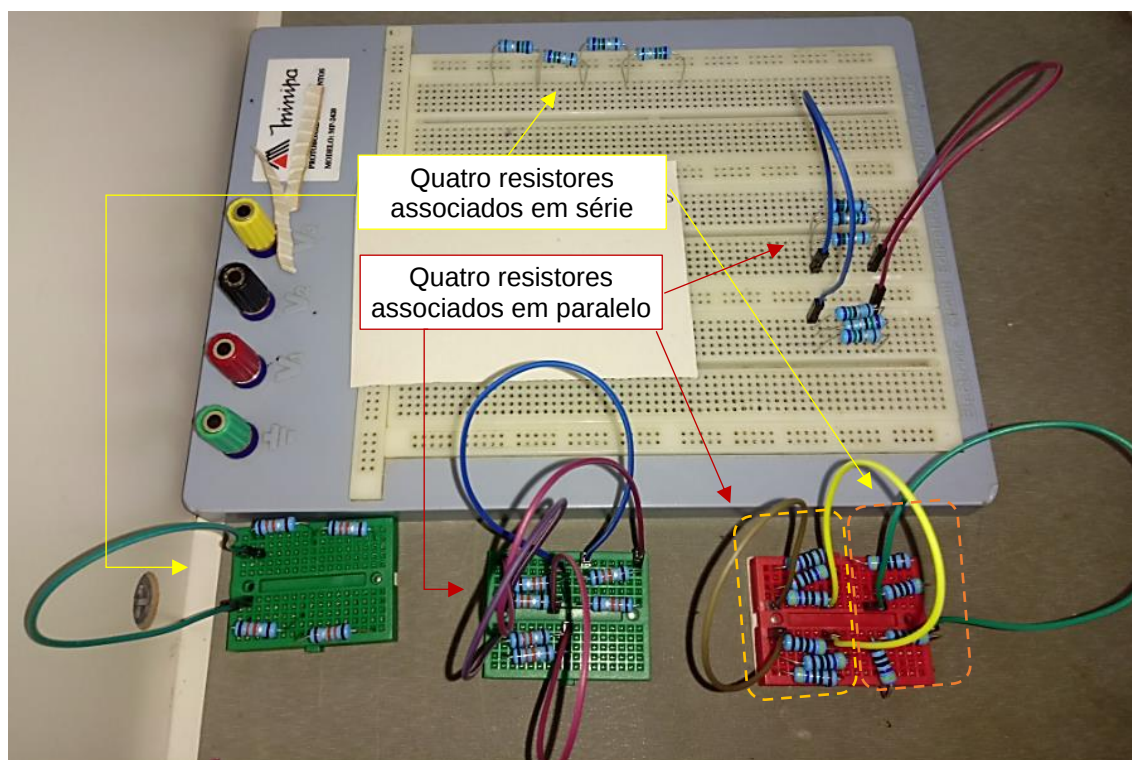
Em relação à segunda situação-problema (SP2), nota-se que 55,5% dos sujeitos interpretaram que, para obter uma resistência equivalente (R_{eqs}) acima de $3k\Omega$ seria necessário implementar uma associação série entre os resistores disponibilizados no recurso experimental ($R_{eqs} = 1\text{ k}\Omega + 1\text{ k}\Omega + 1\text{ k}\Omega + 0,56\text{ k}\Omega$). A proposta de uma associação em paralelo entre os resistores para obter uma resistência equivalente (R_{eqp}) menor que $1\text{ k}\Omega$ foi indicada por 44,4%. Destes, com exceção do sujeito T4, os demais precisaram materializar um ou mais de um registro de representação (icônico pictórico e/ou simbólico) para verificar sua resposta antes de proceder com a tentativa de montagem. Ou seja, T4 foi o único que, aparentemente, expôs um olhar exclusivamente qualitativo. De outra forma, ele realizou a montagem convertendo do registro da Língua Natural ao recurso analógico, sem um registro de representação intermediário. Logo, como visto na parte I da Fase B, se mostra requisito ao docente um olhar clínico dos múltiplos caminhos percorridos pelos discentes para alcance da solução. Uma vez que soluções têm percursos distintos, as dificuldades também podem ter para uma mesma situação. Se sobressai ainda que a maioria dos sujeitos (55,5%) exhibe algum tipo de dificuldade em transpor o saber teórico para o equipamento no qual foi solicitada a montagem. Tal fato foi revelado pelos sujeitos na interpretação dos tipos de associação em jogo em SP2 (Fase B – Parte II).

Nos protocolos de resposta de dois sujeitos (T1, T4) em SP3, resistores em paralelo foram admitidos como obstáculos à circulação de corrente. Quando o raciocínio não científico dito “paralelo” (CR5) ocorre, indica que o aumento do número de resistores conectados em paralelo acarretaria o aumento da resistência equivalente total do circuito. Segundo McDermott e Shaffer (1992), os sujeitos que desenvolvem este raciocínio se concentram no número de elementos, desprezando a forma de conexão. É interessante observar aqui, contudo, que este tipo de raciocínio, para estes sujeitos, apareceu apenas nesta situação, em particular havendo uma morfologia vertical deste paralelismo.

Na situação-problema 3 (Fase B – Parte II), de maneira complementar, é observada uma confusão entre a resistência equivalente e a resistência individual do componente (RE1). Isto chama atenção para explorar a diversidade representativa das situações, uma vez que este tipo de raciocínio surgiu apenas nesta situação para estes sujeitos. Para outros participantes, onde tal raciocínio se revelou em outras situações, aqui não houve manifestação. Logo, nota-se que alguns raciocínios não científicos podem ser dependentes do tipo de situação e registro ou recurso. Ainda, erros no tratamento simbólico se estabeleceram no quadro teórico para a realização de estimativas. Dificuldades dimensionais e algébricas são verificadas tanto na formulação quanto na resolução da situação (SB1, SB2), algo de certa forma esperado uma vez que apareceu no grupo dos bacharelados, cujo nível de escolarização é mais avançado.

Por fim, é enfatizado em SP3 a avaliação dos protocolos no que tange aos processos de construção em *protoboard* (com referência à área de montagem). O primeiro ponto a destacar é a perspectiva de configurações múltiplas das associações, consoante ao número de pontos da matriz, em confronto a raciocínios morfológicos. Assim, entende-se o nó elétrico a partir de alvéolos do recurso ou cabo auxiliar, em que exemplificamos a resposta do sujeito T4 (Figura 106). O sucesso na manipulação, assim, independe da definição exposta pelo sujeito ainda na Fase A (“nó elétrico é onde a corrente se divide no percurso”). Note que o referido sujeito produz três topologias eletricamente equivalentes para a associação série e pelo menos duas para a associação em paralelo.

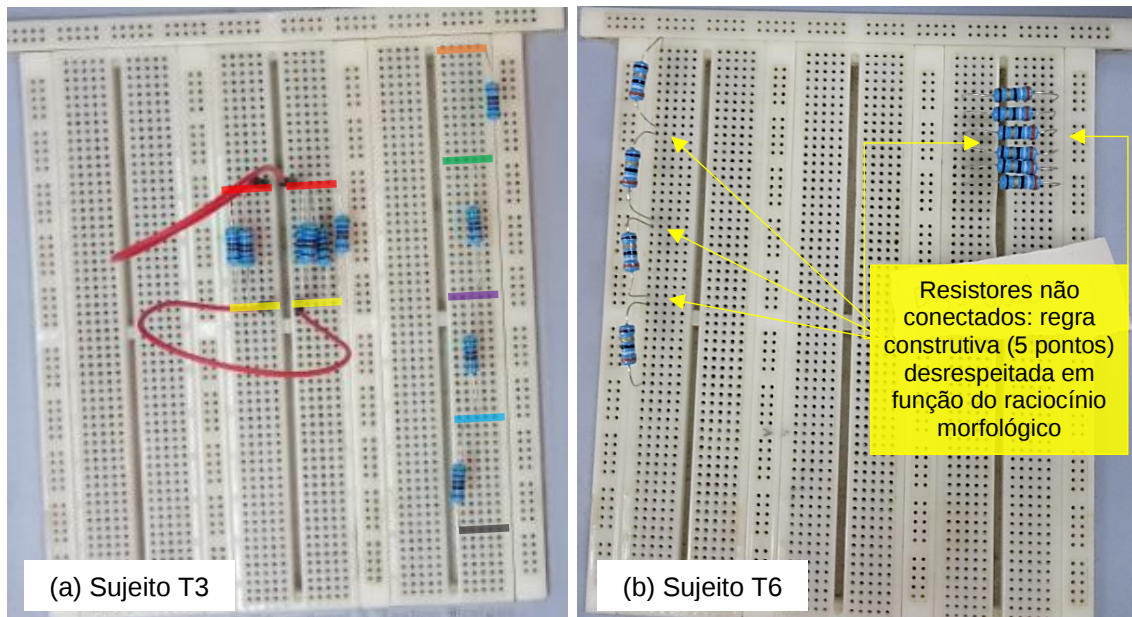
Figura 106 - Conjunto de montagens em SP3 (Fase B - Parte II) – Sujeito T4.



Fonte: Protocolos de resposta - FACCE.

Para uma maior área para montagem (*protoboard* com maior número de pontos), os sujeitos exploram mais acentuadamente o espaço na matriz - Figura 107(a). Neste caso, a maioria (87,5%) seguiu uma disposição de alinhamento dos resistores na associação série, um raciocínio morfológico (EX1), porém com acertos predominantes. Apenas T1 não seguiu esta ideia, mas obteve êxito em sua construção. Um dos sujeitos demonstrou equívoco quantos às regras construtivas do recurso (EX3), expondo erros na produção (T6) – Figura 107(b). Na associação em paralelo, era preciso associar seis componentes, de modo que um par de cinco pontos na matriz, passível de representar dois nós (5 + 5 pontos), seria insuficiente para dispor todos os resistores. Houve, portanto, uma indução à necessidade de cabos auxiliares para conectar todos os componentes na placa. A maior parte dos sujeitos (62,5%) o fez corretamente. Esse percentual é alto em relação ao desempenho dos bacharelados em situações semelhantes, porém, talvez sua explicação esteja associada à conceitualização dos discentes do curso técnico sobre o nó elétrico, vinculado à ideia de nó essencial, fundamental para compreender a ligação em paralelo entre resistores.

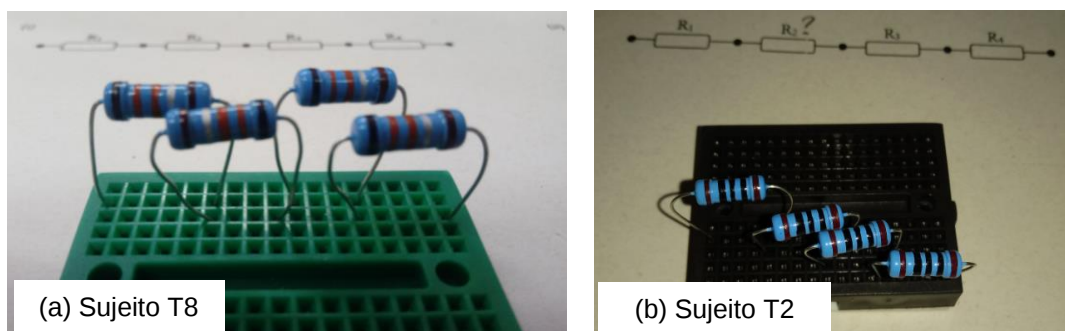
Figura 107 - Montagens com o maior protoboard - SP3 (Fase B - Parte II).



Fonte: Protocolos de resposta - FACCE.

Em SP3, no que diz respeito à restrição da área de montagem da associação série, a análise dos protocolos de resposta permitiu observar a tentativa de “comprimir” os terminais dos componentes para que os resistores coubessem no espaço, mantendo-se o raciocínio de alinhamento (Figura 108).

Figura 108 - Compressão dos terminais na produção da associação em série: tentativa de alinhamento morfológico com o menor protoboard - SP3 (Fase B - Parte II).

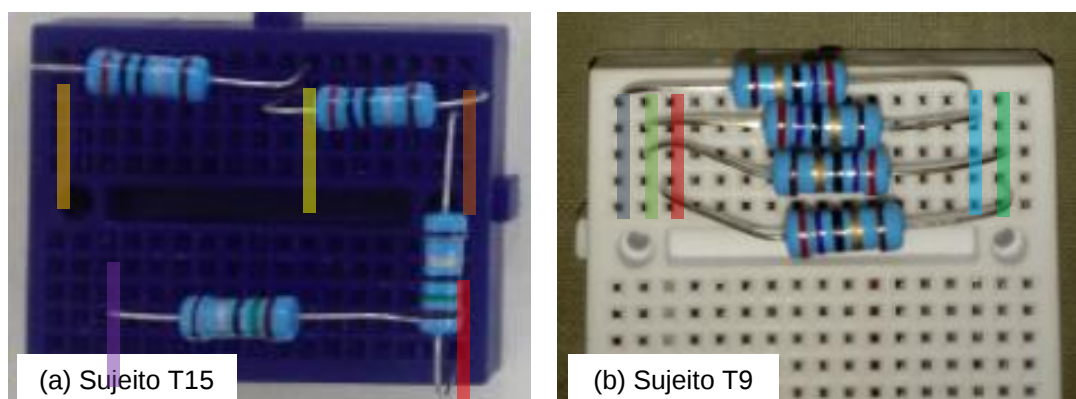


Fonte: Protocolos de resposta - FACCE.

A distância entre os nós diferentes de um resistor da associação é, desta forma, menor que o tamanho do próprio componente, algo admissível neste recurso, porém não permitido quando da construção em placas de circuito impresso ou perfurado, dificultando, por vezes, medições. Houve reconstruções variadas,

mais simples com a ideia de sequência (Figura 109a) ou mais robusta (Figura 109b), reconhecendo propriedades topológicas. Dos sujeitos, 90% obteve êxito.

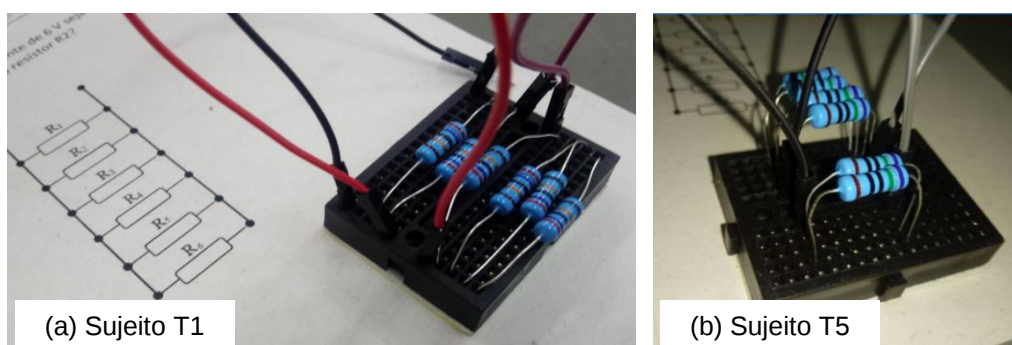
Figura 109 - Diversificação topológica da associação em série - SP3 (Fase B - Parte II).



Fonte: Protocolos de resposta - FACCE.

Quanto aos efeitos provocados pela restrição da área de montagem na produção da associação em paralelo (recurso com 170 furos), 70% dos sujeitos propôs solução correta (Figura 110). Em um protocolo (T4) surgiu um raciocínio semelhante ao modelo coletor. É interessante avaliar tal resultado em relação a outros pois, para o mesmo grupo, as dificuldades foram manifestadas por 81,2% quando trataram apenas no registro icônico empírico. Logo, o êxito foi de apenas 18,2% na realização da ligação frente a imagem do *proto-board* (Fase A). Apesar do tamanho das amostras (16 estudantes do curso técnico, 10 calouros em engenharia), na situação com o registro icônico os dados percentuais da Fase A foram próximos dos constatados no Primeiro Estudo (êxito: 22,2%; erros: 77,8%). Com maior liberdade de montagem (2420 furos), o êxito foi de 62,5%.

Figura 110 - Diversificação da associação em paralelo - SP3 (Fase B - Parte II).

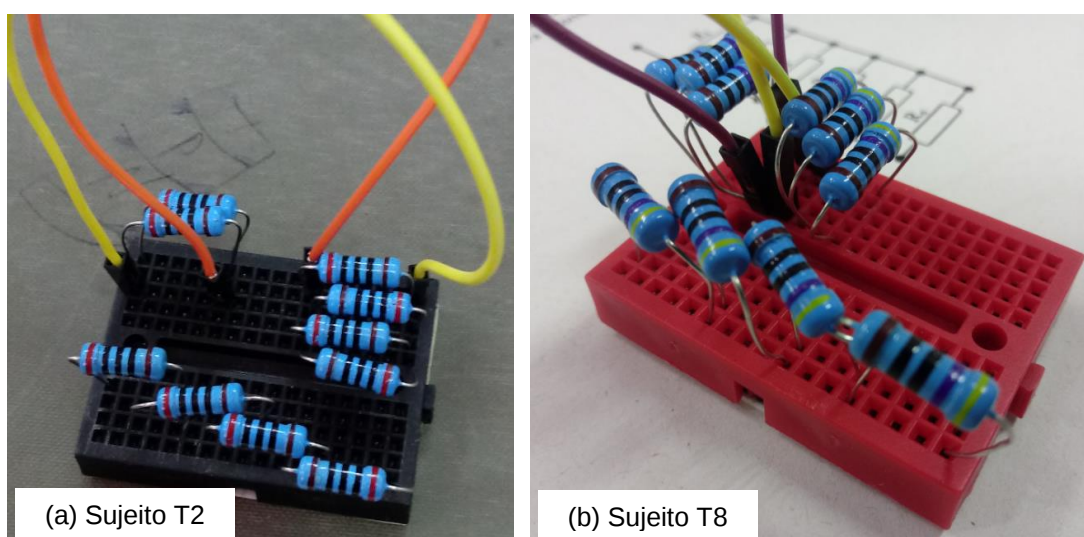


Fonte: Protocolos de resposta - FACCE.

Diversos sujeitos expressaram ganho de aprendizagem ao lidar com o recurso empírico. Na produção figural, não se empreende cuidado para retratar o resistor sob tamanho conveniente, não é preciso flexionar terminais metálicos ou encarar as relações do tamanho do componente com as dimensões da área de montagem. Do contrário, o contexto empírico com dispositivos físicos reais transcorre no desenvolvimento de habilidades de manuseio, de teste de hipóteses pela conversão de um registro ao domínio. Elas são mais testadas quando se tem uma menor área de montagem. Talvez, a manipulação, as tentativas de construção e reconstrução segundo possibilidades restritas, ofereçam algum tipo de reorganização de cada um na forma de entender os conceitos, permitindo a concatenação do modelo com o recurso disponibilizado.

Logo depois, ainda em SP3, as associações iniciais (quatro resistores em série; seis resistores em paralelo) foram demandadas aos sujeitos para que ambas fossem montadas em um único *protoboard* de 170 furos. Houve, assim, uma restrição maior da área de montagem, um número menor de nós elétricos e dimensão física para efetivar a construção dos arranjos. Dos resultados, há uma redução na taxa de êxito em relação aos casos em que apenas um dos tipos de ligação é solicitada (de 90 para 70% na ligação série, de 70 para 60% na ligação em paralelo). Os sujeitos, agora com menor área para montagem, comprimem com mais frequência as ligações em série (Figura 111).

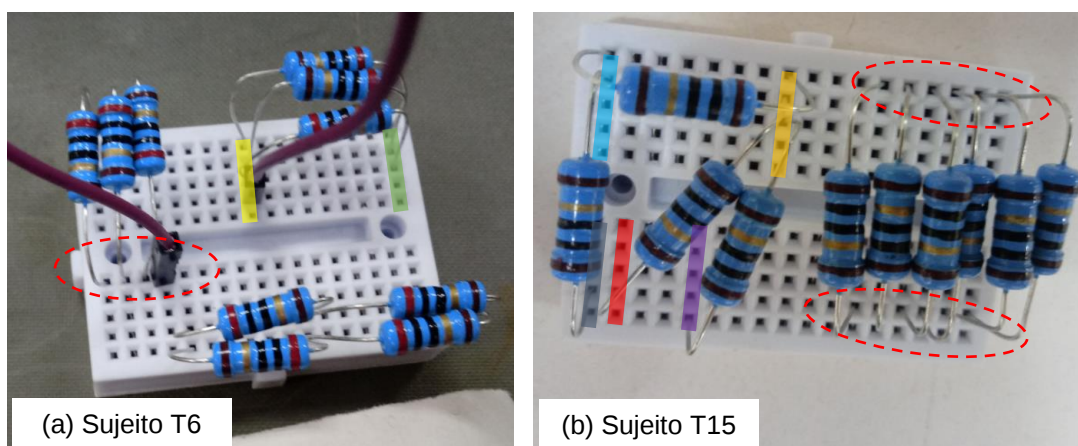
Figura 111 - Compressão das ligações na associação série - SP3 (Fase B - Parte II).



Fonte: Protocolos de resposta - FACCE.

Na associação em paralelo, há desrespeito parcial ou total (EX2, EX3) às regras do recurso (Figura 112). Isto indica que o raciocínio espacial não é totalmente abandonado. Assim, o sujeito pode ter acertado no caso que havia apenas a ligação em paralelo em virtude da *posição relativa* dos resistores em relação ao *protoboard*.

Figura 112 - Compressão das ligações na associação série - SP3 (Fase B - Parte II).



Fonte: Protocolos de resposta - FACCE.

A análise dos protocolos revela que a ação de manusear, gerenciar componentes e testar arranjos em tempo real, redimensiona o conjunto de possibilidades de cada sujeito. A partir do raciocínio desenvolvido com resistores e *protoboard*, o processo prático de manipular os componentes em laboratório desperta um olhar sobre as novas possibilidades, uma tomada de consciência pela interação explícita, pelo manejo dos recursos tecnológicos para construção e pela premência de considerar as restrições durante este processo. Isto não se mostrou aparente quando ele lidava em exclusivo com uma imagem que representava o recurso (registro icônico empírico). Apesar disso, quando os arranjos a representar envidam a ocupação de uma área expressiva do *protoboard*, os sujeitos podem expor dificuldades outrora não expressas quando o grau de liberdade é maior, ou expor artifícios de montagem válidos para este recurso, mas não aplicáveis a outros.

8.3 Interpretação Referencial

8.2.2 Quadro Geral

Retomando o escopo metodológico, evoca-se o estudante como unidade principal a partir das dificuldades e concepções nomeadas no âmbito dos Circuitos Elétricos, em particular sobre os conceitos de associação série e paralelo entre resistores. Todavia, outros despontaram em situações-problema particulares, os quais serão detalhados ao longo da seção. O espectro conceitual e as observações globais vinculadas a registros e domínios são dispostos como estatuto basilar no Quadro 17, servindo de orientação às avaliações referenciais. Aspectos Gerais são discutidos com aproximação, afastamento e/ou complementariedade aos construtos da literatura, admitindo elementos gerais, dificuldades e concepções.

Sobre a década de 80 do século XX desenvolvia-se certa preocupação sobre as terminologias no trabalho de Ohm. Gupta (1980, p.160) acenava que a compreensão era comprometida porque não havia uma correspondência direta do que Ohm fez com os conhecimentos modernos, conceitos e termos utilizados. Inclusive, nos capítulos iniciais da Tese percorreu-se um caminho relacionado a alguns deles, cuja relação se estreitava mais diretamente com o tema. No trabalho de Gupta (1980) destacou-se que vários fenômenos elétricos haviam sido descobertos no início do século XIX, pouco antes, durante e logo após as pesquisas de Ohm. De fato, era preliminar o entendimento em Eletrostática e na construção dos instrumentos de medição os quais, comparados aos atuais, são considerados rudimentares. As ideias de corrente elétrica e de tensão também não estavam sedimentadas, assim como o termo “resistência”, que passou a ser utilizado por Ohm apenas nos escritos a partir de 1829 (GUPTA, 1980).

Na Tese, foi observado que a construção dos termos teve várias fontes, incluindo a academia e aplicações tecnológicas associadas a patentes. Antes disso, dos resultados é acenado que as concepções são afetadas por conceitos basilares, assim como a terminologia consolidada na teoria sobre circuitos afeta o entendimento sobre a associação entre os resistores. Nas situações da FACCE, as concepções não científicas mais frequentes foram: coletor/*sink* e curto-circuito (mais recorrentes), atenuação e raciocínio paralelo (menos recorrentes).

Quadro 17 – Elementos de análise e declaração conceitual científica para associação em série e associação em paralelo entre resistores.

Espectro Geral		Associação de resistores em série	Associação de resistores em paralelo
Conceito subliminar	Nó elétrico	Resistores são conectados entre si através, exclusivamente, de um nó não essencial.	Resistores são conectados entre si através dos mesmos pares de nós.
	Ramo	Representando o percurso entre dois nós, ou seja, o componente em si, pode apresentar variabilidades morfológicas quando percebido em agrupamentos.	
	Malha	Representando o caminho ou percurso fechado, deve prever a diferenciação em relação à independência das malhas e ao perfil das grandezas em cada componente da associação.	
Conceito basilar ou fundante	Corrente elétrica	É a mesma para todos os componentes conectados desta forma.	É dividida entre os componentes proporcionalmente à resistência. Quanto maior a resistência, menor a corrente elétrica no componente ($i = v/R$).
	Tensão elétrica	É dividida entre os componentes proporcionalmente à resistência. Quanto maior a resistência, maior a tensão nos terminais do componente ($v = R.i$).	É a mesma para todos os componentes conectados desta forma.
	Resistência equivalente	É a soma das resistências individuais de cada componente da associação. É sempre maior que a maior resistência do arranjo original. O aumento do número de resistores ao arranjo acarreta o crescimento da resistência equivalente	É o inverso da soma dos inversos das resistências individuais de cada componente da associação. É sempre menor que a menor resistência do arranjo original. O aumento do número de resistores ao arranjo acarreta a redução da resistência equivalente
Registro de Representação	Língua Natural	Mobilização do conceito dissociando de sinônimos linguístico-morfológicos.	
	Registro Simbólico	$R_{eqs} = \sum_{k=1}^n R_k = R_1 + R_2 + \dots + R_n$	$R_{eqp} = \left(\sum_{k=1}^n \left(\frac{1}{R_k} \right) \right)^{-1} = \left[\left(\frac{1}{R_1} \right) + \left(\frac{1}{R_2} \right) + \dots + \left(\frac{1}{R_n} \right) \right]^{-1}$
	Registro Icônico	Mobilização do conceito admitindo o conjunto imagético representativo	
Domínio Tecnológico	Analógico	Exploração de possibilidades e limites admitindo a manipulação, estruturas, a forma que os conceitos aparecem, regras dos recursos, dimensões físicas e área de montagem.	
	Digital	Exploração de possibilidades e limites admitindo modelos, a forma que os conceitos aparecem, regras, sensibilidade paramétrica, cenários não experimentados fisicamente.	

Fonte: autor.

8.2.3 Analisando as Concepções Não Científicas

Sobre o raciocínio coletor, é retomado que o aluno admite ser suficiente a conexão de um fio único entre fonte e resistor para existência de corrente elétrica. No SECDT (*Simple Electric Circuit Diagnostic Test*), ferramenta com 12 itens administrada para 124 alunos (*high school students*) com o intuito de avaliar a compreensão deles sobre Circuitos Elétricos, Pesman e Eryilmaz (2010) acenaram para o surgimento de respostas do modelo coletor (*Sink*) em questão de modelo fonte-lâmpada. O raciocínio se mostrou presente nos cenários que envolviam a analogia entre um circuito elétrico e um circuito hidráulico.

É essencial notar que, em parte, a ideia do fio único foi manifestada na FACCE em situação sem fonte elétrica, durante ligações mistas entre resistores, apenas ao situar arranjo. Ao associar dois arranjos em paralelo alguns sujeitos utilizavam apenas um fio. Ademais, apareceu também na produção espontânea ao explicar a associação série. Nisto, registra-se novas fontes/situações suscetíveis a este raciocínio.

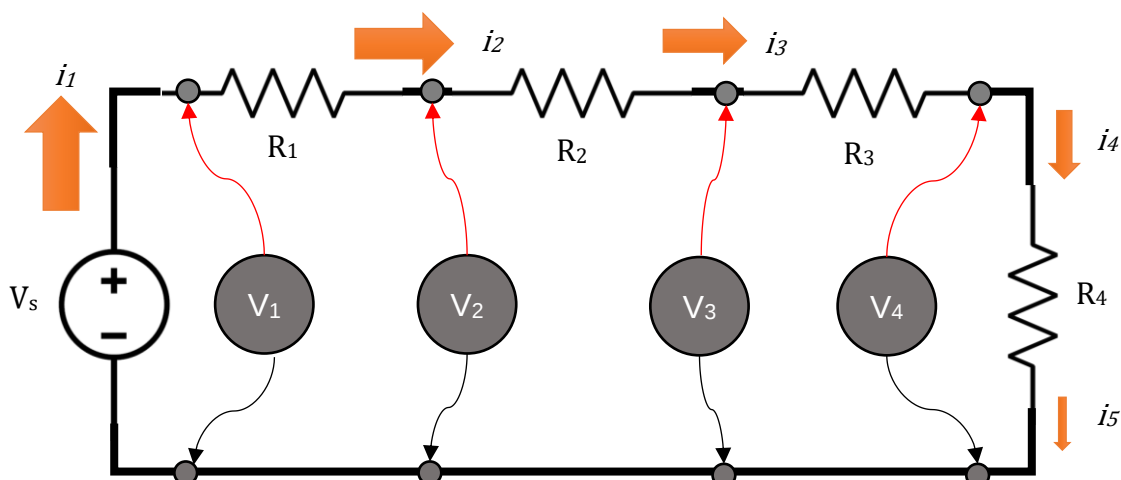
A primeira, já indicada na literatura, tem como raiz analogias a circuitos hidráulicos e pneumáticos quando se trata do estudo ou definição sobre o circuito elétrico, reforçado na semiótica, na comunicação pelo docente. Brna (1988, p.31) referia-se a esta como uma estrutura natural específica a partir da qual o aluno pode ver fenômenos elétricos. Trembevilla *et al.* (2019) acenou recentemente a necessidade histórica de concretizar a eletricidade e ampliar sua compreensão face a abstração envolvida. Ele destacou a exploração didática da imagem de fluido através do transporte de vapor ou ar comprimido, do cano de água, algo que se percebe ainda frequente nos livros didáticos, vídeos, animações em plataformas digitais. Ao fim do século XVIII e no século XIX os cientistas utilizavam como primeira aproximação (e aparentemente docentes ainda o fazem em sala de aula) que a corrente elétrica fosse entendida como elemento material. Este seria um degrau conceitual para entender o conceito. Assim, o discente pensa na substância (água no interior do cano, fluido na tubulação), apesar do afastamento científico realizado mais à frente quando da análise microscópica do deslocamento de elétrons pela periferia de um condutor, o raciocínio inicial

se mantém. Aponta-se ainda referência ao termo “fluxo de carga” usado na definição da corrente, muito associado ao saber cotidiano dos sujeitos à ideia de fluxo para líquidos.

A segunda fonte do raciocínio coletor parte de que, no trabalho, notou-se uma falha em relação à aplicação do conceito subliminar de malha elétrica, em cujo detalhamento julga-se fortalecer e talvez confrontar este tipo de raciocínio. A ideia de circuito fechado é essencial para entender a existência do fluxo de cargas elétricas, contrapondo o raciocínio material ávido pelo concreto. Um terceiro ponto, citado há pouco, é a necessidade de se mobilizar atenção para lacunas de aprendizagem quanto ao modelo do átomo. Para discentes na Educação Técnica Integrada ao ensino médio, os estudos sobre eletricidade acontecem quase que simultaneamente com o estudo de modelos do átomo na disciplina de Química (bimestres iniciais, 1º ano). Existem, então, dificuldades resilientes sobre a aprendizagem da corrente, cuja concepção não científica se mantém, sendo vista também nos sujeitos que estudam circuitos *a posteriori*, ao fim do ensino médio. A “visibilidade corpórea” dada à corrente elétrica parece enraizar um raciocínio de difícil mudança, sugerindo estudos mais aprofundados sobre o entendimento do conceito de carga elétrica e do modelo atômico.

A concepção de atenuação (MCDERMOTT; SHAFFER, 1992) pode ser afetada pela junção da ideia de corrente elétrica como fluido, acoplada à lei de Ohm ($R = v/i$). Na associação série, por exemplo, a análise dos resultados mostra que pode haver confusão da queda de potencial com a diferença de potencial elétrico. Assim, sendo a resistência uma propriedade constante em certas condições de operação, a corrente acompanharia a redução do potencial elétrico ao longo dos ramos. Na Figura 113 é exposta uma representação deste raciocínio ($v_1 > v_2 > v_3 > v_4$; $i_1 > i_2 > i_3 > i_4 > i_5$). Há incoerência científica porque a intensidade da corrente não muda no circuito com associação série. A ideia de atenuação presume que a corrente elétrica decresce gradualmente à medida que “passa” pelos resistores que estão consumindo energia, uma referência visual que pode estar vinculada à noção de redução da espessura de um cano ou tubulação.

Figura 113 - Representação imagética de circuito com o raciocínio de atenuação.



Fonte: próprio autor.

Quanto ao raciocínio paralelo, McDermott e Shaffer (1992, p.998) citaram como postura a “tendência de focalizar mais sobre o número de elementos do circuito do que sua configuração”. Abel (1995) apontava a crença dos sujeitos de que a resistência equivalente sempre cresceria acompanhando o número de resistores em um circuito. Todavia, no contexto dos grupos estudados na Tese, isto aconteceu quando os resistores se encontravam espacialmente dispostos na vertical. Isto é um indício de que a percepção acerca da altura (comprimento vertical), e provavelmente a largura (comprimento horizontal) com que o arranjo aparece influencia o raciocínio do sujeito sobre a resistência equivalente em situações sobre a associação em paralelo. Esta noção pode sobrepor, inclusive, a simples conferência da sua invalidade através de cálculos. O sujeito manifesta um raciocínio imediato quando “enxerga” o circuito, provendo “avaliação qualitativa” conclusiva de que a resistência equivalente aumenta independente da forma na qual os resistores estão conectados. Isto revela, de certa forma, a representação inacabada sobre a conceitualização da ligação em paralelo, cujo olhar simbólico algébrico será detalhado um pouco mais à frente na seção.

No que diz respeito ao raciocínio de curto-circuito, os sujeitos ignoram fios entre pontos quando não existe um componente sobre a “linha”. Engelhardt (1997, p.26) em sua tese afirmou que os alunos, além de não entenderem bem o conceito de circuito completo, podem indicar o acendimento de lâmpada

mesmo quando ela se encontra em curto. Dos protocolos de resposta da FACCE, foi revelada não apenas uma falta em reconhecer o curto-circuito, porém também há produção dele quando alguns estudantes lidam com uma representação empírica ou de sua imagem. O curto pode ser sobre um componente ou sobre os terminais de uma fonte elétrica, algo passível de riscos. Logo, não se trata da dificuldade exclusiva de percepção, de manipulação, há uma dificuldade de ver que dois pontos ligados por um fio estarão no mesmo potencial elétrico. Portanto, revelou-se lacuna a aplicação do conceito de nó elétrico e, de modo integrado, a avaliação sobre ramos, malhas e consequências da presença de curto-circuito.

Há livros didáticos que trazem seções ou trechos em referência ao conceito de curto-circuito. Outros não o fazem. A abordagem nos primeiros, contudo, ou talvez sua transposição para sala de aula, carece de alternativas explicativas em todos os registros (língua natural, icônico, simbólico) e, também, algum tipo de exemplo a partir das opções disponibilizadas pelos recursos nos domínios tecnológicos. É raro o debate fomentando a ideia de nó elétrico como fio, e cuja resistência tende a zero ($R \rightarrow 0$) no curto ou cuja resistência tende a infinito na noção de circuito aberto ($R \rightarrow \infty$). Esta discussão é mais evidente nos livros técnico-científicos utilizados em Engenharia, provavelmente pela importância de ambos no contexto empírico, na forma de encarar os aspectos construtivos dos medidores (ohmímetro, amperímetro, voltímetro).

Adicionamos ao contexto tratado certa escassez no aprofundamento sobre curto-circuito bem como sobre circuito aberto, de sugestões experimentais seguras, pontos de fixação/articulação referencial concreta ou abstrata, algo refletido nos protocolos de respostas dos dois grupos de sujeitos. Apesar disso, nota-se seções de capítulos que tratam de segurança, do choque elétrico, de efeitos fisiológicos. Orientações à docência e ao currículo no âmbito dos dois grupos de sujeitos serão apresentadas na última seção do capítulo.

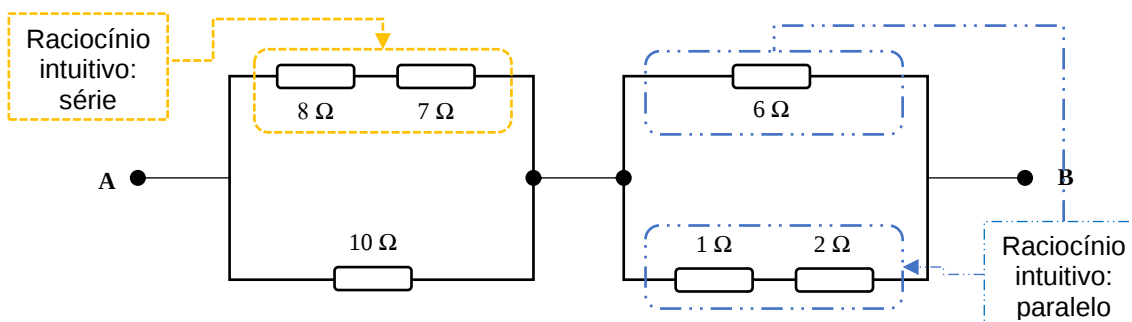
8.2.4 Dificuldades e Correlações com a Matemática

No escopo conceitual sobre associação série, em paralelo e acerca do conceito de resistência equivalente, várias dimensões são concorrentes para se compreender as dificuldades, algumas de caráter histórico, de relação disciplinar

entre saberes, além daquelas associadas à diversidade representativa do conhecimento, umas mais restritas e outras mais globais, havendo os devidos desdobramentos ao processo de ensino-aprendizagem.

No que se refere às transformações figurais, com operações propostas na FACCE como unidades de contexto para análise nas primeiras situações-problema, constatou-se o elevado grau de dificuldade dos sujeitos de reconhecer a *operação de deslizamento* do componente ao longo do ramo e a combinação dela com outras. Isto foi verificado em situações envolvendo a equivalência topológica entre diagramas cuja morfologia era distinta, além de outra para o cálculo da resistência equivalente em circuitos mistos. Essa dificuldade, que apareceu nos dois grupos de sujeitos, tem como raiz aparente a concretude mobilizada pelo sujeito em relação à imagem que subscreve a topologia elétrica. É possível inferir que exista uma condição de semelhança ou de menor distância interpretativa entre morfologia e topologia. Ela pode tornar o entendimento das ligações mais acessível ao raciocínio imediato mediante uso de segmentos de reta na horizontal e vertical, uma figuração geométrica adjacente ao raciocínio intuitivo não científico (Figura 114) gerado por materiais ou em sala de aula.

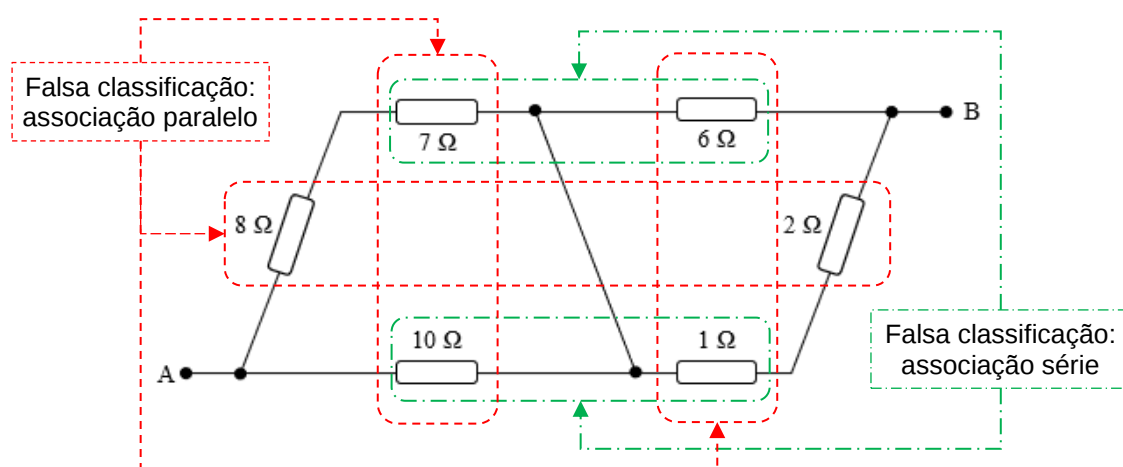
Figura 114 - Circuito com maior noção de correspondência entre a concepção morfológica e a topologia elétrica do circuito.



Fonte: próprio autor.

O deslizamento do resistor ao longo do ramo, a reconfiguração visual do nó elétrico, podem provocar um sentido falso de seriação ou de paralelismo (Figura 115), um maior “afastamento imagético” entre morfologia e topologia.

Figura 115 - Circuito com menor noção de correspondência entre a concepção morfológica e a topologia elétrica do circuito.



Fonte: próprio autor.

O estudo das transformações é fundamental no ensino-aprendizagem, de modo que se discutam operações para reduzir o grau de semelhança entre forma e conteúdo do diagrama, deduzindo-se propriedades a partir da imagem.

A primeira evidência da necessidade didática origina-se do raciocínio imediato. Os estudantes buscam associar a imagem do diagrama ao conjunto simbólico mais próximo daquilo que previamente têm internalizado. Um segundo ponto é percebido na literatura em que, comparando uma imagem com um experimento equivalente (versão diagrama x versão física), Desportes *et al.* (2016, p.8) indicaram que o raciocínio sequencial também pode afetar a interpretação dos estudantes sobre os tipos de ligação, no caso em tela uma reação combinada com a análise de curto-circuito. Este tipo de raciocínio ficou mais evidente na manipulação de diagramas físicos com esquemas envolvendo a associação série, porém o encontramos durante a interpretação de ligações em paralelo em tarefa voltada ao cálculo de resistência equivalente, combinado também com o raciocínio tipo curto-circuito (SP8, Primeiro Estudo).

Em terceiro ponto à discussão sobre equivalência topológica, McDermott e Shaffer (1992, p.999) já sugeriam que desenhos não convencionais provocam dificuldades interpretativas, em que expandimos endereçando alguns tipos de operações morfológicas de difícil aceitação. Para aqueles autores, os alunos

geralmente falham ao extrair características das conexões série e paralelo que permitiriam identificá-las em circuitos mais complicados. Dos resultados a partir da FACCE, revela-se que existe uma falta na apropriação dos conceitos de nó e de ramo elétrico, cujo domínio permitiria separar a imagem do conteúdo comunicado. Nisto, urge uma evolução interpretativa da relação “imagem → geometria/morfologia” em direção à abstração conceitual, evidenciando, para isto, possibilidades figurais. Uma quarta evidência da ausência de um alicerce conceitual foi constatada quando o aluno foi colocado frente a uma situação-problema cujo propósito foi reconhecer as ligações a partir da imagem da matriz de contatos (registro icônico empírico). A leitura da imagem de um experimento digital ou físico pode expor maior afastamento conceitual o experimento em si.

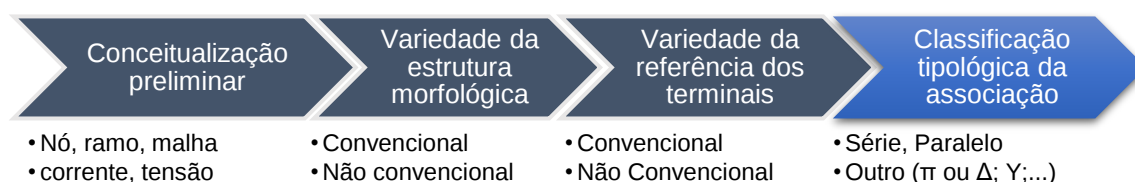
Ainda no contexto anterior, as operações de simetria e de rotação simples, por exemplo, foram mudanças intencionalmente geradas no registro icônico, e cuja interpretação, quando realizadas sozinhas sobre um diagrama de circuito, indicou que haviam sido compreendidas sem dificuldades pelos sujeitos dos dois grupos (durante a avaliação da equivalência entre diagramas).

Adverte-se que representar a ligação em paralelo na forma triangular se mostrou de difícil aceção para os sujeitos, por vezes confundida com a ligação delta (Δ). Isto surgiu em macro tarefas para extrair atributos topológicos de um diagrama e classificar a ligação. O paralelismo está muito associado com a presença de segmentos de reta em paralelo na vertical, horizontal ou sob inclinação e, assim, com o que subscrevem polígonos com tais características (quadriláteros no caso de circuitos planares). Logo, no ensino de circuitos, objetos e técnicas devem ser avaliadas com o intuito de melhorar a percepção tridimensional durante a manipulação de dispositivos físicos ou perante a visualização de diagramas representados tridimensionalmente no plano bidimensional.

Há inconvenientes de significação em relação a constituintes topológicos das ligações série e paralelo. Em questões de produção de associações na qual se mantém fixa a disposição espacial dos componentes e da fonte do circuito, um recente teste administrado por Widodo *et al.* (2018) na Indonésia, junto a sessenta (60) futuros professores de Ciências, mostrou baixa aderência das

respostas dos sujeitos aos conceitos científicos. Os autores fazem referência ao uso, pelos livros, de uma certa classe de figuras para as quais os alunos mantêm correspondência em sua estrutura cognitiva, com afirmações relacionadas à posição dos componentes e à imagem: “o tipo de circuito depende de como os resistores são colocados entre si”, “eu tento imitar o desenho do livro”, “segundo o livro se tiver três resistores alinhados” (WIDODO *et al.*, 2018, p.6). Aqui na Tese, além de observar aspectos posicionais e preponderâncias visuais de livros didáticos e técnico-científicos, foi possível revelar como os sujeitos lidam com a mudança da referência terminal (Segundo Estudo, Fase A – SP3 e Fase B, PII – SP1), tão difícil quanto à interpretação da forma. Disto, é factível organizar os procedimentos para observar as dificuldades no percurso (Figura 116).

Figura 116 - Percurso para avaliação de inconvenientes de significação.



Fonte: próprio autor.

Os resultados da FACCE possibilitaram entender que a prévia avaliação interpretativa dos conceitos não deve se limitar ao que é exposto em exclusivo na língua natural ou no registro icônico. É preciso compreender como o sujeito aplica cada conceito. Na língua natural, alguns estudantes classificam o nó elétrico generalizando-o como nó elétrico essencial enquanto outros expõem apropriadamente a realidade científica. Foram percebidos, porém, cenários que os primeiros, apesar de uma conceitualização de caráter restrito, classificam as associações adequadamente. Por sua vez, outros reproduzem corretamente o conceito científico na língua natural, todavia erram sua aplicação na identificação do tipo de ligação em jogo. A partir disso, o primeiro bloco de destaque da Figura 116 aponta vários conceitos. Mediante análise dos resultados, nota-se na concatenação deles a saída para uma interpretação correta. Eles são conceitos-chave, em sintonia às questões norteadoras e hipóteses, observados como fundamentais para entender a Associação entre resistores. Os três primeiros (nó,

ramo, malha) podem ser avaliados de modo mais independente em certos tipos de situação, sobretudo naqueles com arranjos destituídos de fonte.

É importante destacar que pode haver uma turbidez visual não apenas quando da variação morfológica completa do circuito, mas também de partes dele, tal como a forma na qual os conceitos de nó elétrico, ramo e de malha podem ser representados e entendidos no desenho ou em um diagrama com signos formais (segundo bloco da Figura 116). Na operação de deslizamento ou na permuta posicional, por exemplo, é evidente que as malhas podem até não ser modificadas, no entanto, nó elétrico e ramo são passíveis de transfiguração e tal ocorrência pode impedir a apreensão do objeto pelo discente.

Sobre a variedade de referência dos terminais (terceiro bloco da Figura 116), nota-se nos livros técnico-científicos utilizados em engenharia elétrica que já existe sua exploração em estudos sobre teoremas de redes, especialmente a partir da análise de redução de circuitos (aplicação de técnicas e teoremas – Thèvenin, Norton, Transformações de fontes). É escasso, contudo, o estímulo a esta possibilidade nos livros didáticos, em que se recomenda, a partir da Tese, uma exploração ou emancipação nas seções que tratam sobre Associação entre Resistores, a fim de que o sujeito possa desenvolver essa habilidade mais cedo.

Figura 117 - Abordagem com referência atípica sobre a referência de terminais.

*17. For the networks in Fig. 8.118, determine the current I_2 using branch-current analysis, and then find the voltage V_{ab} .

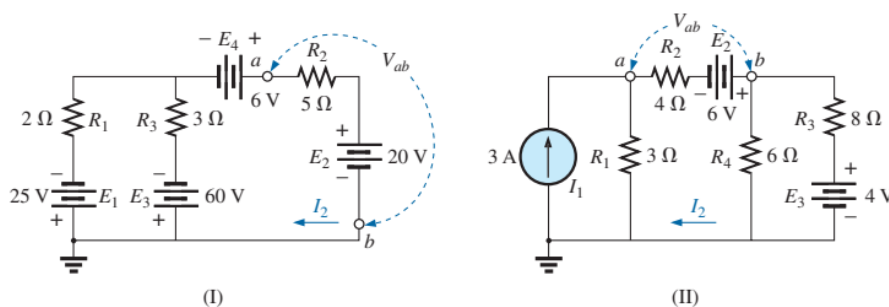


FIG. 8.118
Problems 17, 22, and 30.

Fonte: Boylestad (2007, p. 337).

A abordagem com referência atípica² é premente, sobretudo, nos livros, apostilas ou mesmo por iniciativa do docente nos cursos técnicos integrados ao ensino médio, devido às demandas *a posteriori* das disciplinas no currículo.

O que está sendo tratado na Tese como Raciocínio Morfológico, uma faculdade relacionada à concatenação de proposições sobre a forma dos circuitos elétricos, se mostra influenciado pela distribuição espacial dos resistores. Ele se mostra contundente no contexto icônico (imagem, desenho, signos formais), mas se expôs igualmente incisivo durante o uso de recursos tecnológicos analógicos e na transição entre eles nas duas direções de conversão. É especialmente difícil para os sujeitos respeitar e concatenar as regras de formação dos conceitos de associação série e em paralelo (compartilhamento de nós, comportamento da corrente e da tensão para cada tipo de ligação) com as regras de operação do *proto-board*, sobretudo a de “cinco pontos” (alvéolos com soldas subjacentes formam um nó elétrico).

É importante referenciarmos Bachelard (1934, p.29-30) quando indica que a primeira experiência não constitui uma base segura. Segundo o autor, a educação científica elementar costuma interpor, entre a natureza e o observador, livros muito corretos, saberes aparentemente bem acabados. Em consonância, observa-se, a partir dos estudos aqui conduzidos, que o sujeito já nos primeiros contatos com o conhecimento científico em Circuitos Elétricos busca desenvolver uma certa fidedignidade na reprodução visual dos conceitos, em que revelamos em seu raciocínio a impressão de vizinhança, verticalidade, posição relativa, tamanho e comprimento. Isto nos levou a propor a fundação de duas unidades de contexto perceptivelmente fundamentais na avaliação da aprendizagem e previamente apontadas ao longo da descrição analítica: a *lógica dialética posicional* e a *superposição semântica visual*, as quais acometem os sujeitos na classificação das associações entre componentes.

² Na referência típica, normalmente os terminais em que se envidam o cálculo de resistência equivalente são dispostos à esquerda, assim como fontes elétricas de alimentação do circuito.

Embora a lógica posicional tenha sido mais referida à associação série e a superposição semântica à associação em paralelo, elas são extensivas a todos os tipos de ligação pois é preciso de uma referência imagética associada a vocábulos ou signos. Durante a construção de conhecimento (relacionada aos elementos conceituais fundantes e auxiliares/subliminares), estas unidades precisam aos poucos ser menos influenciadoras sobre a capacidade cognitiva dos estudantes, para que compreendam as conexões elétricas nos circuitos.

Veja que o exposto se desdobra ainda mais em situações-problema como a de associação das resistências de chuveiro (Primeiro Estudo) e na utilização de recursos analógicos como o módulo 1103A (Segundo Estudo, Fase B - Parte II). Nestas, foi sugerido determinar configurações nas quais as associações tiveram certa referência indireta (obtenção de uma resistência equivalente “maior ou menor que”). A produção, neste caso, está associada a uma avaliação qualitativa antes da representação icônica ou ação manipulativa da ligação, em que se propõe contextualmente avaliar relações causais (Quadro 18).

Quadro 18 – Relação causal entre conceitos de associação e resistência equivalente.

Associação	Relação	Descrição	Referência	Simbólico
Série	Se C1, então C2	C1 afeta C2. C2 acontece por causa de C1.	Se os resistores estão ligados em série, então a resistência equivalente será maior que o maior resistor do circuito.	$R_{eqs} = \sum_{k=1}^n R_k$ Sendo n o número de resistores da associação
	Se C1, então C2, quando C3	C1 afeta C2 moderado por C3. C2 acontece por causa de C1 quando C3.	A tensão (v_s) que alimenta o circuito é mantida. A corrente diminui porque a resistência equivalente vista pela fonte aumenta.	$i' = \frac{v_s}{R_{eqs}} < i = \frac{v_s}{R_k}$ Sendo R_k resistor da associação série
Paralelo	Se C1, então C2	C1 afeta C2. C2 acontece por causa de C1.	Se os resistores estão ligados em paralelo, então a resistência equivalente será menor que o menor resistor do circuito.	$R_{eqp} = \left[\sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k} \right]^{-1}$ Sendo n o número de resistores da associação
	Se C1, então C2, quando C3	C1 afeta C2 moderado por C3. C2 acontece por causa de C1 quando C3.	A tensão (v_s) que alimenta o circuito é mantida. A corrente aumenta porque a resistência equivalente vista pela fonte diminui.	$i'' = \frac{v_s}{R_{eqp}} > i = \frac{v_s}{R_k}$ Sendo R_k resistor da associação paralelo

Fonte: autor.

O processamento analítico, portanto, vai além da comunicação visual ou estritamente algébrica. Ele concatena representações semióticas a relações de

causa e efeito. De modo complementar, busca tornar evidente percepções dos objetos, instrumentos (orientações sobre o que esperar da medição de corrente elétrica ou de tensão para cada tipo de associação), além da possibilidade de validação de expectativas e análise de erros durante o uso de recursos no plano experimental. Do ponto de vista epistemológico, essa percepção instrumental (mediante uso de instrumentos para medir as grandezas elétricas, por exemplo) é uma diferença apontada por Duval (2006, p.107) entre o contexto do fenômeno Físico e o domínio matemático.

Admitindo a Educação Profissional Tecnológica, sobretudo os cursos técnico e de engenharia, são demandados cenários em que, com frequência, se mostra inevitável associar resistores em substituição a outro, requerendo uma compreensão sobre as relações causais entre as grandezas. No entanto, entre o raciocínio intuitivo e a manipulação foram evidenciadas falhas em protocolos de respostas. Para alguns há dificuldades em compreender as relações entre grandezas, até mesmo quando é possível ser orientado por uma função afim incompleta ($v=R.i$). Para outros, em uma situação-problema se interpreta que é preciso construir uma ligação em paralelo, em série, série-paralelo, contudo, não se consegue materializar a ligação em um recurso.

Conceitualmente, os discentes do bacharelado expõem coordenação argumentativa um pouco mais restrita em relação aos do curso técnico para classificação da associação entre resistores. Ambos apresentam respostas com forte associação a formatos, certas palavras e, no caso específico dos primeiros, com prioridade à referência de uma grandeza basilar (corrente) quando classifica certa associação. Sob a perspectiva causal, parece que a grandeza “corrente elétrica” é muitas vezes entendida como partida e não como chegada (Quadro 18). De outro modo, não se compreende que a tensão afeta a corrente moderado pela resistência (ou pela associação entre resistores).

No caso dos discentes do curso técnico, mais jovens, há um maior número deles que se refere também à grandeza tensão ao justificar o tipo de ligação em jogo. Apesar do tamanho dos grupos, o percurso do comportamento deles ao longo das situações confere afirmar que as atividades experimentais,

próprias da formação inicial do segundo grupo (técnicos) no fim do primeiro ano (época que participaram da atividade), podem gerar um ponto de referência para caracterizar as grandezas basílicas como importantes em virtude da necessidade de realizar medições destas grandezas em disciplinas ainda no 1º ano do curso técnico. Relações causais são observadas empiricamente, algo que didaticamente por ser estruturado digital ou fisicamente. Não quer dizer que o raciocínio científico é manifestado pelo arcabouço experimental. Na realidade, a imersão permitida pela manipulação experimental pode ser vantajosa para que os sujeitos entendam que, a partir de uma grandeza de referência (tensão), e sabendo-se o tipo de ligação em jogo entre os resistores, é possível perceber, medir e internalizar as relações causais ligadas aos conceitos fundantes.

De modo complementar à discussão anterior, quando se avalia a associação série, por exemplo, é importante que o sujeito entenda parte do conjunto imagético que forma a classe, ou critérios/conceitos que o faça identificar modificações, saiba que a corrente é a mesma quando o arranjo é alimentado por uma fonte, e que a tensão se divide entre os componentes. Além disso, nesse tipo, a tensão é proporcional à resistência individual de cada um deles na serialização e a resistência equivalente é obtida pela soma da resistência individual de cada componente da associação. Em relação à associação em paralelo, almeja-se o mesmo suporte quanto ao raciocínio conceitual, contudo com o entendimento de que a corrente se divide, que a tensão é a mesma para os resistores em paralelo, e que a resistência equivalente é obtida pela inversão da soma algébrica da condutância (G) individual de cada resistor ($G_k = 1/R_k$).

Seja considerado um aspecto pontual do contexto teórico-experimental para entender a complexidade entre causa e efeito. Os resultados permitiram verificar que os calouros de engenharia demonstram uma noção apenas parcial sobre as relações dimensionais entre resistores eletrônicos e *protoboard*, algo que poderia ser prenunciado devido a inexistência de experiências prévias de natureza manipulativa quando cursaram a disciplina de Física no 3º ano do ensino médio. Este aspecto tempestivamente impediu boa parte deles de expor uma solidez na interpretação conceitual, rupturas ao raciocínio “geometrizado” das ligações. Dificuldades foram manifestadas na conversão da língua natural

ou do registro icônico para as ações experimentais. A avaliação de desempenho dos discentes do curso técnico, por sua vez, evidencia dificuldades menos aparentes neste aspecto, além de operações de tratamento e de conversão “registro → domínio” ou “domínio → registro” mais robustas. Isto é provocado não intencionalmente por abordagens menos homogêneas do conhecimento entre sua natureza expressa didaticamente e o experimento.

Junto aos discentes no Segundo Estudo houve um estreitamento entre a apropriação abstrata e os objetivos profissionais admitidos através de experimentos. Observe que não se tutela o desenvolvimento da capacidade de abstração dos sujeitos ao fato de realizar experimentos no processo de ensino-aprendizagem. O que se percebeu, contudo, foi que o uso do *protoboard* e de outros recursos de natureza didática ou profissional cujo contexto construtivo é diferente do conjunto imagético dos livros favorece a alguns a apreensão formas pouco abordadas em sala de aula, sendo que isto importa para ampliar a capacidade cognitiva frente às situações-problema. Assim, a existência de regras próprias de funcionamento dos recursos (módulos didáticos, *protoboard*, softwares), diferentes do contexto teórico, precisam ser trabalhadas em sala de aula. Em decorrência, os discentes do curso técnico lidaram um pouco melhor com a manipulação de componentes, no entanto, para os dois grupos, as conversões (transformações externas aos registros) revelaram que o raciocínio tridimensional das ligações é um grande desafio, mesmo quando os discentes mobilizam o desenho como intermediador entre o registro da língua natural ou o icônico formal e o recurso no domínio tecnológico.

Na descrição analítica do Segundo Estudo (Fase B – Parte I) foi exposto que este uso do registro icônico pictórico (desenho) não é espontâneo, de modo que vários caminhos diferentes podem ser mobilizados para a solução da situação. O uso do desenho pode ser um caminho induzido a uma melhor apreensão conceitual (FRANZONI *et al.*, 2010; FRANZONI, 2015). Todavia, deve-se avaliar com cuidado o grau de correspondência semiótica do recurso analógico com a imagem, a fim de evitar que se reforce a internalização, pelo sujeito, de um raciocínio morfológico a partir da posição 3D dos componentes.

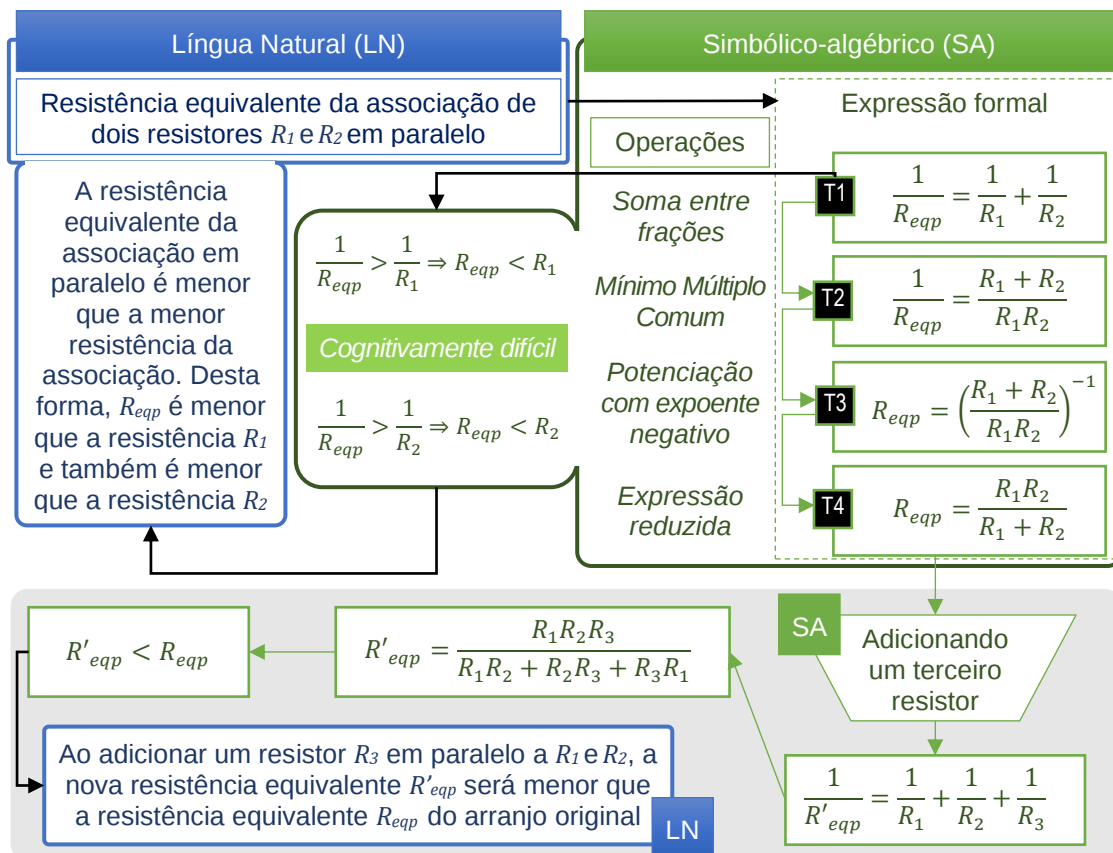
Isto pode acontecer em uma representação no livro ou mesmo no recurso experimental. Este debate é raro em livros didáticos e técnicos-científicos.

A ausência de significado e uso dos conceitos de nó, ramo e malha, de exemplos com aplicação conceitual tridimensional (no conteúdo regular) pode ser uma raiz das dificuldades de raciocínio espacial. Esta noção é tão importante que, no uso do *protoboard*, o erro de construção pode ocorrer em dependência da referência posicional do recurso analógico. Na interpretação das ligações em placas de circuito (impresso, perfurado), esta dificuldade de raciocínio também se manifesta. O nó elétrico possui diversas possibilidades construtivas e a leitura para classificar uma associação pode ocorrer na superposição de duas imagens (análise de duas faces). Adiciona-se a isto a dificuldade em emprestar referência prática, de aplicação do conhecimento sobre a associação entre resistores.

Tomando as evidências dos resultados quanto aos erros algébricos, durante a representação simbólica (expressões, cálculos) foi percebida a necessidade de externar operações e processos de tratamento e conversão em relação à associação do tipo paralelo. Prospectando procedimentos, nota-se que traduzir certas informações das expressões algébricas para a língua natural não configura uma tarefa intuitiva direta devido a incongruências, as quais requerem comparações associadas com frações (Figura 118). Geralmente, em virtude da repetição de exercícios, o aluno conclui ou é induzido à conclusão de que a resistência equivalente de um arranjo com resistores em paralelo é sempre menor que a menor resistência da associação, evitando-se a análise matemática da equação que permite esta percepção, cognitivamente difícil em virtude da classe de ordenação envolver a comparação de números fracionários com ideias de relação inversa: quanto maior o denominador, menor o valor da fração.

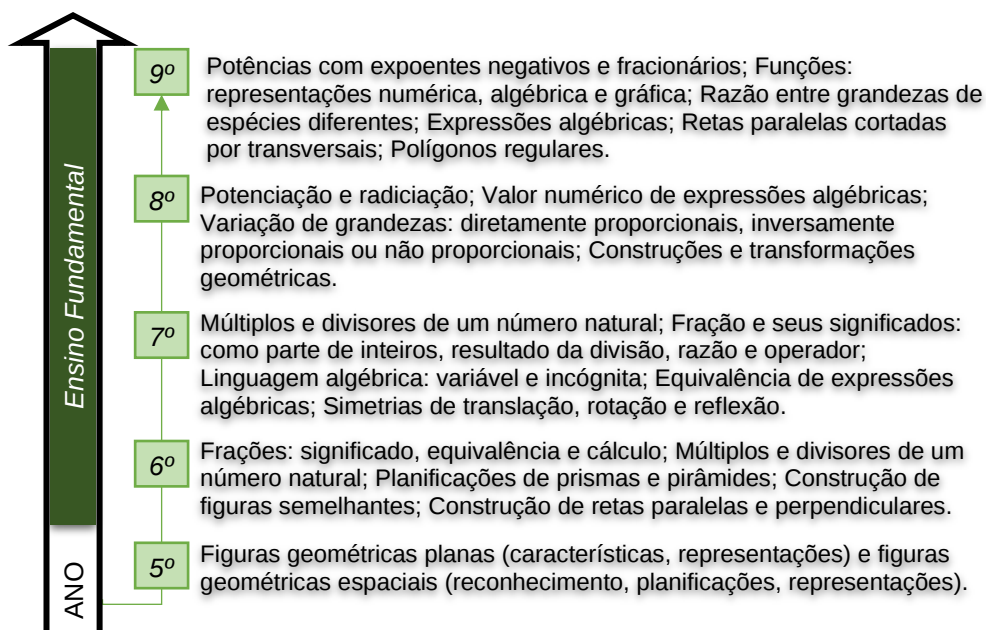
Aprofundando um pouco mais o entendimento sobre as dificuldades de tratamento no registro simbólico ou na conversão dele para a língua natural, sejam observados os objetos de conhecimento da Matemática ao longo do Ensino Fundamental (Figura 119).

Figura 118 - Conversões e tratamentos na associação de resistores em paralelo: exemplo com os registros da Língua Natural e Simbólico-algébrico.



Fonte: Próprio autor.

Figura 119 - Alguns objetos de conhecimento da Matemática no Ensino Fundamental.



Fonte: Base Nacional Comum Curricular (BRASIL, 2018, modificado).

Comparando os conteúdos (Figura 118, Figura 119), nota-se a dependência dos conceitos e temas no âmbito dos Circuitos Elétricos quanto ao conhecimento matemático proposto no Ensino Fundamental. Impasses na sedimentação interpretativa dos objetos de conhecimento se arrastam para o Ensino Médio e para o Ensino Superior e, no estudo da associação de resistores, claramente atrapalham os tratamentos nos registros simbólico e icônico.

Na Base Nacional Comum Curricular (BNCC), atenta-se que o objeto de conhecimento “circuitos elétricos” surge no contexto das ciências a partir do 8º ano, em que se focaliza a habilidade de construção com pilha/bateria, fios e lâmpada ou outros dispositivos, de comparação a circuitos elétricos residenciais (BRASIL, 2018). No ensino médio regular ele é abordado no 3º ano do ensino médio. Em cursos técnicos integrados, normalmente é admitido em disciplinas no 1º ou 2º do ensino médio. Em cursos de Engenharia Elétrica e afins o estudo do tema acontece mais frequentemente no segundo ano do curso.

Esta observação concatenada aos objetos de conhecimento auxilia a interpretação de algumas dificuldades pois, foi presumido na Tese que as concepções não científicas e as circunstâncias de erro poderiam não estar endereçadas apenas ao conteúdo de circuitos. Os resultados da aplicação da FACCE juntamente com a percepção dos objetos de conhecimento reforçaram a confirmação desta hipótese e trouxeram à luz um olhar de ação colaborativa sobre o erro, admitindo um diálogo mais estreito entre a Física e a Matemática. Isto pode favorecer o enfrentamento a dificuldades e concepções não científicas dos sujeitos quando lidam com o conhecimento de Circuitos Elétricos. A exemplo, entender o significado da fração, seus constituintes e proceder com cálculos é intrínseco já no início do Ensino Fundamental II, no entanto por razões diversas, dificuldades no cálculo da resistência equivalente em circuitos com resistores em paralelo, ou interpretados como tal, expõem erros dimensionais.

De modo geral, para os estudantes atenta-se para variadas e resilientes dificuldades do ensino fundamental em relação à: equivalência de expressões algébricas, comparação e ordenação de frações, cálculos, estudo de múltiplos de um número natural, operação de potenciação com número negativo,

resolução numérica a partir da soma de números fracionários, dentre outros (Figura 119). Chama atenção mais uma vez para a urgente articulação dos conhecimentos da Matemática com a Física, de modo que o docente que leciona disciplinas cujo conteúdo contempla “Circuitos Elétricos” entenda as múltiplas raízes dos problemas de aprendizagem. Isso facilitaria algumas conclusões quali-quantitativas mediante processos de conversão interna ou externa na elaboração de situações pelo professor, auxiliando na tomada de decisão sobre aprofundamentos conceituais e na articulação entre registros.

De maneira complementar, talvez para evitar os processos de tratamento no registro simbólico, transparece como intencional pelos alunos o uso da expressão reduzida “ $R_{eqp} = (R_1 \cdot R_2) / (R_1 + R_2)$ ” para o cálculo da resistência equivalente na associação de dois resistores R_1 e R_2 em paralelo. Erros aleatórios por descuido ou por não saber lidar com as operações acontecem com frequência nos dois grupos, surpreendendo no caso dos bacharelados por causa do trajeto escolar adicional ao longo do ensino médio.

O cálculo de resistência equivalente agrupando resistores dois a dois por meio do algoritmo “produto pela soma” acometeu surpreendentemente mais de 50% dos estudantes do curso técnico. Essa regularidade pode se tratar de uma fuga ao tratamento com frações, cálculo de MMC, assim como percebemos sua dedução e indicação expressa em alguns livros didáticos e técnico-científicos, sendo a única dedução a partir da expressão geral. Ela aparece ao fim da seção sobre associação entre resistores ou em destaque antes dos exercícios do livro (BARRETO FILHO; XAVIER, 2016, p.94; TORRES *et al.*, 2016, p.62; NILSSON; RIEDEL, 2014, p.40; NAHVI; EDMINISTER, 2014; p. 27; ALEXANDER; SADIKU, 2013, p.40). Esta colocação (Figura 120), explorada inclusive na resolução de exercícios no livro didático (TORRES *et al.*, 2016, p.63), embora descrita corretamente, é capaz de gerar no aluno a tentativa de generalização para “ n ” resistores.

Figura 120 - Apresentação da expressão “produto pela soma” no cálculo da resistência equivalente para dois resistores elétricos em paralelo.

- Podemos estabelecer uma fórmula simplificada para o caso de termos apenas dois resistores, de resistências elétricas R_1 e R_2 , associados em paralelo. De $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$, temos:

$$\frac{1}{R} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2} \Rightarrow R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{\text{produto}}{\text{soma}}$$

Fonte: Barreto Filho e Xavier (2016, p.62).

Notadamente, existe também a possibilidade de, juntamente com a colocação do livro, ser uma opção didática por escolha do docente, ou de uso frequente no ensino experimental. Neste último caso, os resistores eletrônicos muitas vezes não exibem valores cuja aplicação da expressão geral forneceria como solução um número inteiro para a resistência equivalente. Assim, se convencionar o uso de calculadoras para certos procedimentos, padronizando mentalmente a regra “produto pela soma” inserida no contexto teórico, reduzindo o tratamento no registro simbólico à memorização de uma expressão.

Especialmente sobre a fração, alguns discentes mostraram nas situações-problema administradas na FACCE uma tendência de compreendê-la como dois números naturais, os quais se apresentam separados por um traço na horizontal (magnitudes observadas separadamente). Assim, alguns sujeitos do curso técnico trataram numerador e denominador como se fossem dois números independentes. Deste modo, são utilizadas regras de números naturais para as frações, desprezando a situação que atribui significado ao conceito. Além disso, erro foi manifestado quando da potenciação com expoente negativo. A operação de potenciação é, por vezes, realizada em apenas um dos lados da equação para cálculo da resistência equivalente em paralelo ou aplicada a cada parcela ($1/R_i$) antes da operação prioritária de soma, o que resultou em problemas dimensionais da grandeza.

Outro aspecto a destacar é a compreensão significativa do Mínimo Múltiplo Comum (MMC), não dominado qualitativamente de maneira plena pelos

sujeitos (menor dos múltiplos comuns). Dificuldades conceitual e quantitativa apareceram, inclusive, quando os números eram múltiplos entre si (resistores de 3Ω e 6Ω em paralelo). É preciso, assim, enfrentar os problemas resilientes do ensino fundamental, principalmente no que tange às articulações internas de cada registro e deles para com outros, um conhecimento geralmente admitido como acabado pelo professor de Física e pelo professor Engenheiro. Dificuldades se mantêm para parte dos estudantes ao longo do ensino médio e nos semestres iniciais da Engenharia mesmo após passar pelo estudo de Álgebra, por disciplinas de cálculo diferencial e integral.

8.4 O Raciocínio Morfológico

Talvez uma das reflexões precípuas do trabalho se refira ao conjunto imagético da representação semiótica sobre a associação entre resistores. Estrutura-se agora um olhar admitindo essa construção de conhecimentos sobre a Geometria desde o ensino fundamental (apresentado na Figura 119), também percorrendo o ensino médio.

No contexto citado, o percurso formativo do estudante prevê no ensino fundamental a análise de características e representações de figuras planas e espaciais, a construção de retas paralelas e perpendiculares, o estudo de simetrias (translação, rotação e reflexão), a realização de construções e transformações. Observada de maneira concatenada com o ensino de Circuitos Elétricos, o aluno do curso técnico integrado traz consigo este arcabouço e, já no primeiro ano do ensino médio, se expõe em um ambiente cuja probabilidade de influência do saber geométrico com o de circuitos é alta. Isto ocorre também ao fim do ensino médio para os alunos na escolarização regular à medida que aprofundam estudos sobre coordenadas, equações paramétricas e outros saberes em Geometria Plana e Espacial. Os resultados da FACCE mostraram, por exemplo, a confusão entre a ideia de nó elétrico com a de ponto, aspecto figurativo do desenho de um diagrama com associação entre componentes.

A apreciação dos resultados mostrou que, na aprendizagem, é conturbado ou, no mínimo, conflitante lidar com saberes que dispõem de uma aproximação nos primeiros contatos e ao mesmo tempo, requerem uma

separação significativa em diversas situações, em que se reforça existir uma linha tênue entre a Física e a Matemática.

A aproximação acontece em virtude do conjunto imagético e vocabular. No processo de estruturação histórica, os objetos da Física não deveriam ser confundidos com sua representação semiótica. Ainda, os construtos vocabulares e os signos, desde o século XIX, tiveram uma influência dos aspectos matemáticos considerados pelos cientistas, por desenvolvedores de protótipos, equipamentos e patentes. Os materiais didáticos, já no início do século XX, imprimiram desde então, através dos registros icônicos e juntamente com a língua natural, a necessidade de uma interpretação de novos conceitos científicos abstratos cuja medida aparentemente adotada pelo estudante em aprendizagem é apegar-se ao saber que já conhece, ao que aprendeu em Geometria nos anos anteriores ou concomitantemente.

De outro modo, o conjunto de aprendizagens sobre imagens, o estudo de quadriláteros, ponto, reta, plano, simetrias, transformações e relações posicionais, os quais, de maneira prévia ou simultânea, são aprendidos na Geometria, integram a primeira apreciação dos sujeitos com a formação de saberes sobre os Circuitos Elétricos. Eles não conseguiram, nos primeiros contatos com os diagramas, separar o conteúdo da Topologia Elétrica em relação às imagens aderentes, as que subscrevem a forma das ligações. Este conteúdo não discursivo congrega um alicerce a ser separado da aplicação. Todavia, os resultados mostraram um reforço adicional à percepção integrada forma x topologia: a construção vocabular sobre associação entre resistores.

O realismo ingênuo colocado por Bachelard (1934) é desenvolvido na percepção da tríade imagem → geometria → abstração, em que há um conflito cognitivo entre Topologia Elétrica e a Morfologia. McDermott e Shaffer (1992) haviam reparado a influência do *layout* físico na abstração dos estudantes após o ensino tradicional em algumas universidades norte americanas. Marshall (2008) notou o modo de escolha na representação em atividade com quinze (15) sujeitos (graduados em Química, Ciências, Educação, estudantes de pós-graduação em Física e de Ensino de Ciências e Matemática). Estes tinham

experiências diversificadas, sobretudo docência no ensino médio, além de atuação no campo profissional (técnico, engenharia). A descrição de fios (nós elétricos) e arranjos (ramos, malhas) através de formas com linhas retas e perpendiculares foi observada entre muitos sujeitos. Chama atenção que apenas aquele que tinha trabalhos na área técnica e de engenharia optou por formas circulares em ligações do tipo fonte-lâmpada. O trabalho revelou que os alunos têm sua capacidade limitada quando não tratam o diagrama de maneira abstrata.

Quanto à administração da FACCE, a análise dos protocolos dos discentes no início do ensino médio (integrantes do curso técnico) e aqueles que já concluíram este nível (bacharelandos) aponta que o significado abstrato da ligação entre os componentes é muitas vezes deixado de lado e os autores citados no parágrafo anterior mostraram que isto se prolonga a estudantes em níveis de graduação e pós-graduação. De modo complementar, em detrimento ao aspecto figurativo superficial, tal eventualidade não ocorre apenas na representação interpretativa ou na produção de arranjos, mas, em diferencial, na construção e entendimento físico-digital dos circuitos. Outro ponto observado aqui é o imobilismo frente a situações em que os componentes expõem aspectos posicionais fixos, requerendo uma articulação mais forte dos estudos sobre simetria com os circuitos elétricos já nos anos finais do ensino fundamental ou no início do ensino médio, talvez fundando nos livros didáticos uma seção sobre “Transformações e Equivalência Topológica” com o estudo de invariâncias no cerne dos Circuitos Elétricos.

Os resultados da Tese chamam atenção adicional para o ensino experimental na Educação Profissional Tecnológica e, do mesmo modo, ressalta desdobramento teóricos, ações de tratamento e conversão que intencionalmente exponham a heterogeneidade do conjunto icônico específico neste contexto e as significações vocabulares. Tal qual no trabalho de Marshall (2008) foi percebido o uso menos frequente de fios como retas pelos estudantes com experiências junto a recursos experimentais de caráter didático-profissional. Cabe aqui destacar que os discentes do curso técnico apresentaram, em maior percentual, a proposta de ligações por meio de um caráter orgânico da teoria, não geométrico. Mesmo sendo a minoria dos sujeitos em ambos os grupos, ocorrem

alguns cenários de conflito e de retorno ao raciocínio morfológico quando os recursos experimentais no domínio tecnológico expõem regras próprias cuja formatação não se faz diretamente perceptível. O entendimento sobre a estrutura de programas de simulação digital e equipamentos de laboratórios físicos são essenciais para intermediar o saber adquirido nas representações (por meio dos registros) e a materialização empírica de um arranjo ou circuito.

Sobre o raciocínio morfológico, a forma de construção do conhecimento e os resultados obtidos na Tese permitem referir este contexto como permissivo a um obstáculo didático. A falta de habilidade de um tratamento abstrato do conteúdo interno representado pelos termos ou pelas imagens é passível de gerar a busca por outras alternativas, de onde se revelou raciocínios não científicos do tipo coletor, curto-circuito ou paralelo. A partir da FACCE, no âmbito da aproximação da Geometria e da Física, é crucial ressaltar transformações com invariantes de significação (simetrias, deslizamento de componentes, formas figurativas do nó elétrico), alinhando sempre que possível a conceitos fundantes, basilares (tensão, corrente). Aqueles com maior capacidade de abstração expuseram de maneira mais frequente a tentativa de generalização argumentativa usando conceitos fundantes. Para os dois grupos há a necessidade de explorar situações com operações que exponham invariância morfológica. Os estudantes do curso técnico apresentaram as mesmas dificuldades dos bacharelandos, porém houve maior dificuldade de identificar invariância na operação de simetria de reflexão.

A simetria de rotação não se mostrou sozinha um problema de identificação da equivalência topológica. A mudança diagramática, visual do ramo é um problema mais evidente. Representar resistores em superposição visual a triângulos, paralelogramos, e outros tipos de formato (ou a demanda por associações combinadas) dificulta a apreciação, pelos alunos, de atributos que permitam classificar as ligações, seu raciocínio dedutivo.

A argumentação e os processos intuitivos de interpretação decorrem na avaliação de que os sujeitos carecem de um aprofundamento sobre conceitos subliminares, diferenciando a característica elétrica do nó para o nó essencial,

das múltiplas morfologias de ramos e malha, além do entendimento da ideia de circuito aberto e fechado, e das implicações e formas de evitar a produção de curto-circuitos, ou sua correta interpretação em um circuito.

Apesar de alguns sujeitos na FACCE demonstrarem lidar melhor que outros com polimorfismos dos circuitos (técnicos sobre calouros de engenharia), há forte dificuldade no tratamento icônico mesmo aos “*experts*” em cada grupo. Os discentes do curso técnico tratam melhor figurativamente, tem noção mais bem definida sobre dimensões dos componentes e dos recursos de montagem. No entanto, apesar disso mostram dificuldades semelhantes aos bacharelados na conversão do registro icônico para o *protoboard*. No caso do registro icônico empírico, revelaram-se dificuldades de tratamento e de conversão partindo e chegando dele. Um caminho para entender este cenário é a ausência de articulação nos tratamentos e a impossibilidade de teste de hipóteses uma vez que não se trata de um circuito com manipulação física ou digital.

Em contraponto à avaliação qualitativa de cenários, a ausência de percepção orgânica do tipo de ligação em jogo faz com que raciocínios imediatos prevaleçam, de modo que os sujeitos recorrem à imagem (icônico) e à equação (simbólico) frequentemente durante a resolução mesmo quando as situações envolvem apenas uma avaliação qualitativa.

As considerações morfológicas ainda requerem um olhar especial às demandas experimentais na Educação Profissional Tecnológica, de modo que outras dificuldades emergiram. Isto orientou a necessidade de confronto ao modelo da montagem, expor o papel da imagem na representação em laboratório. A superação de um raciocínio morfológico subsidiou os estudantes em relação à crença que carregavam sobre as possibilidades topológicas. Da mesma forma, novas situações poderiam ser organizadas para ampliar o entendimento teórico-empírico quanto a dados disponibilizados por instrumentos, ou mesmo balizar o discente para que efetue outros testes como mudanças no circuito na interface de programa de simulação, no intuito de verificar a validade da montagem ou a necessidade de reagrupamento dos componentes.

Compreendendo o comportamento do sujeito com recursos empíricos, utilizando-se de conceitos vinculados à Topologia Elétrica do Circuito, o contexto das dificuldades e da manifestação das concepções não científicas se amplia. Disto, se expõem posturas fundamentais para a aprendizagem no cerne da Educação Profissional Tecnológica, concatenadas com as competências almejadas nos documentos oficiais para a aprendizagem em Física e Engenharia. De outra forma, é possível apontar duas vertentes do delineamento proposto: uma de cunho diagnóstico, em que as respostas proferidas no registro icônico, na língua natural, no registro simbólico ou junto a recursos analógico-digitais podem antecipar dificuldades; outra de orientação, recomendando ao docente desenvolver processos de conversão entre registros e domínios tecnológicos que potencializem o desenvolvimento de um raciocínio não científico de natureza topológica dos circuitos elétricos, aperfeiçoamento as competências de comunicação, representação, em caráter investigativo ou sociocultural.

8.5 A Bidirecionalidade das Conversões e os Aspectos Experimentais

A avaliação dos protocolos de resposta da FACCE tornou possível entender que existem diferentes demandas cognitivas a depender do sentido das conversões entre registros de representação e deles para os domínios tecnológicos. De modo mais simples, a análise dos dados mostrou que a conversão do registro A para o registro B pode ser mais difícil que de B para A. Em exemplo, a produção sobre a imagem do recurso (icônico empírico) ou a construção material/digital no próprio domínio tecnológico é mais difícil do que a interpretação das ligações neles. Isto revela a necessidade de um entendimento intermediário vinculado ao conhecimento de regras dos dispositivos auxiliares de montagem ou, de modo geral, que didaticamente não é suficiente ensinar apenas uma das passagens/conversões. Para os grupos que participaram das etapas, é mais espontânea a visualização do circuito e a criação de hipóteses sobre o significado topológico das imagens do que o ato de produzir as ligações entre os componentes, as associações ou a sua consecução experimental.

Em operações múltiplas do tipo Registro A → Registro B → Registro C, os sujeitos podem percorrer caminhos distintos na resolução das situações,

requerendo maior cuidado na avaliação. Ocorrem desenvolvimentos cognitivos diferentes com raciocínios muito personalizados a depender do tipo de conversão escolhida. Dificuldades conceituais podem não ser detectadas em função desta variedade de caminhos, potencialmente ampliada quando o sujeito decide, inclusive, utilizar um novo Registro D intermediário ou alternativo ao que está posto na situação, ou mesmo “pular” um registro intermediário ($A \rightarrow C$).

No que diz respeito à manipulação concreta, destacam-se duas perspectivas. Ela revelou a ausência da abstração de conceitos e a falta de entendimento mais detalhado sobre as regras particulares de cada recurso. De modo complementar, a montagem dá ao sujeito a oportunidade de testar novas hipóteses e confrontar, quando a situação é projetada a este fim, raciocínios que o coloquem sob reflexão acerca do seu entendimento conceitual dos tipos de associação em ação e as várias possibilidades de heterogenia topológica.

Em virtude do ensino experimental, nas montagens partindo de um registro de representação para o domínio tecnológico, vários discentes do curso técnico conceberam espontaneamente um desenho, uma representação empírica do equipamento como elemento intermediário. Isto chama a atenção para as possibilidades de exploração didática disto, uma vez que o frequente uso dos recursos cria no sujeito a possibilidade planejar, antecipar procedimentos experimentais por meio do desenho sobre o recurso.

No grupo dos sujeitos do curso técnico integrado, mesmo após disciplina técnica, os protocolos de muitos exprimem a ausência de conceitos basilares, com o uso de hipóteses restritas, preocupando o desenvolvimento de atividades de laboratório. Eles prioritariamente declaram o nó elétrico como nó essencial. Mesmo assim, têm dificuldade de aplicá-lo na análise de associações entre resistores (incompatível). A organização intencional dos recursos, no entanto, se mostrou promissora para aproximar o sujeito do caráter abstrato de alguns conceitos. E poderia ser, assim, utilizada expondo invariantes morfológicos (através de programa de simulação digital), limitações físicas e análises tridimensionais (manipulação de placas de circuito, montagem em *protoboard*).

Com relação à tridimensionalidade, a interpretação frente placas de circuito (impresso, perfurado) se mostrou cognitivamente mais simples que no *proto-board*. Apesar do percentual alto de erros nos dois casos, didaticamente a escolha pelo uso dos primeiros em relação ao segundo talvez seja mais efetiva devido à possibilidade de manipulação direta das ligações propostas, construindo um vocabulário de possibilidades morfológicas, um processo intermediário à abstração inerente às ligações na matriz de contatos.

Finkelstein *et al.* (2005), do Departamento de Física da Universidade de Colorado, aplicaram recursos computacionais de simulação junto a estudantes em um curso introdutório de Física. Domínios conceituais e habilidades foram analisadas em relação a discentes que operavam circuitos fisicamente em laboratório e outros através de simulação digital com uso do CCK/PhET. Em tarefas coordenadas para explicar operações com equipamentos reais (montar e descrever funcionamento), os estudantes capacitados através de simulador digital expuseram melhor domínio conceitual do que os colegas que apenas manipularam em laboratório cenários empíricos no processo de aprendizagem, previamente às tarefas finalísticas. Apesar dos resultados, os autores não sugerem que as simulações necessariamente garantam a facilidade em manipular equipamentos reais. Entretanto, projetadas adequadamente, podem se mostrar ferramentas úteis a uma gama variada de contextos para promover o aprendizado dos alunos.

Dos resultados sobre os recursos digitais, além de dar foco às grandezas corrente e potência elétrica, um elemento suplementar a ser observado é o conceito de malha elétrica. Diferente da percepção nos registros discursivos e imagéticos, ou naqueles do domínio tecnológico que não exibem recursos visuais, há um *feedback* animado em tempo real que ressalta, na inexistência de um caminho fechado entre fonte e componentes resistivos, uma representação estática do fluxo de carga elétrica. De outro forma, não exprime a circulação de corrente elétrica. Na *interface* do programa é possível que o sujeito perceba, assim, o conceito de “circuito aberto”. Do mesmo modo é perceptível a avaliação das consequências de curto-circuito, sem que haja preocupação sobre aspectos físicos do curto ou insegurança de provocar o evento.

Em complemento ao exposto, admitindo os resultados obtidos através da FACCE, observa-se que vários conceitos podem ser trabalhados com o *feedback* em tempo real durante a simulação: circuito aberto, curto-circuito, malha elétrica, ramo, nó elétrico. Outro ponto importante é que programas de simulação como o CCK/PhET possuem o potencial de desconstruir os raciocínios não científicos envidados pelos correspondentes modelos do tipo hidráulico ou pneumático, muito recorrentes em livros didáticos e técnico-científicos. Há de se prospectar, contudo, eventuais consequências do raciocínio inerente ao uso do modelo cinético, fato não tratado neste trabalho.

Ao docente, de modo suplementar, é necessário observar a organização das situações que empregam o uso de plataformas digitais ou de recursos que exponham desdobramentos visuais em laboratório físico (uso de lâmpadas, por exemplo), de modo que a “visualização” do fenômeno elétrico não esteja separada do olhar analítico que envolve o equacionamento e as leis básicas de circuitos elétricos. De outro modo, evitar que um obstáculo didático de natureza epistemológica surja em decorrência das facilidades de “observação” imagética dinâmica, de maneira que o concreto retorne na forma de ampliação à capacidade de abstração e não de maneira substitutiva.

O plano experimental físico, especialmente, gera cuidados do sujeito em relação a problemas durante a montagem, tomada de decisão e curto prazo quando se percebe a superação da capacidade de fontes elétricas ou da máxima dissipação de componentes. Isto gera, analogamente, a necessidade de metodologias de aprendizagem específicas. Pondera-se, neste caso, para a organização de materiais, construção/manipulação ativa deles, gerenciamento de tempo e de instrumentos, análise de riscos decorrentes de erros como é o caso de curto-circuitos. Nisto, os resultados permitem indicar uma defesa que as atividades de simulação, bem projetadas, são capazes de exercer uma primeira influência, atentando para as demandas do escopo dos laboratórios físicos, orientando ainda para uma aproximação conceitual via recurso tecnológico.

A medição digital de grandezas também se mostra aspecto vantajoso em relação ao uso de programas de simulação com esta função, evitando-se

riscos ao passo da discussão conceitual do paralelismo e serialização no uso de voltímetros e amperímetros (medição de tensão e de corrente elétrica). Na construção digital do circuito, esta é uma tarefa interessante a ser previamente realizada na forma de simulação quando comparada à medição analógica. Esta afirmação ocorre, por exemplo, admitindo que para medir a corrente elétrica é necessário “abrir o circuito” no ponto em que se deseja conectar o amperímetro, efetuar a ligação dele em série com o ramo e, após o processo de medição, retomar ao formato do circuito original. Fisicamente em laboratório esta é uma tarefa muito cuidadosa, fonte comum de erros e riscos à segurança individual, à danificação de medidores. Esta circunspeção, o comedimento na construção física, visa evitar ações que levem à insegurança do usuário durante a montagem ou nas medições, mas, prioritariamente, permite que se trabalhe com conceitos entendidos muitas vezes como abstratos, essenciais à formação profissional.

8.6 Outras Especificidades: Estudantes do Curso Técnico x Bacharelandos

A aplicação dos conceitos basilares é deixada de lado várias vezes pelos bacharelandos. Na classificação das associações eles utilizam a referência à tensão ou a corrente, sendo a última com mais regularidade. Como reportado na descrição analítica, a corrente assume um papel norteador em relação à tensão. Isto é algo que apareceu também no grupo dos sujeitos do curso técnico, apesar de menos frequente. Nos mais jovens se busca com mais frequência citar as duas grandezas na caracterização tipológica da associação.

Para os bacharelandos foi mais difícil produzir associações múltiplas (mistas, Δ -paralelo), em que justificamos a aparente lacuna das experiências digitais ou materiais, além da menor diversificação tipológica nos livros didáticos. A maioria dos que já concluíram o ensino médio produziu respostas pouco coordenadas com o caráter orgânico dos conceitos, manifestando prevalente raciocínio morfológico (dialético-posicional ou em superposição semântica). A coordenação conceitual com elementos abstratos se mostrou mais frequente no grupo dos discentes do curso técnico, todavia, não é passível de generalização pelo nível ou pela idade. Os resultados indicam que a diversificação semiótica imposta pelos recursos e a construção temporal do desenvolvimento empírico é

o fator de maior preponderância nesse sentido uma vez que não houve tanto distanciamento da conceitualização prévia entre os sujeitos dos dois grupos. Essa percepção é interessante sob o viés das ações em relação ao livro, em que Pitterson e Streveler (2006, p.2) afirmam que o distanciamento conceitual surge com facilidade quando o escopo de situações novas apresentadas em sala de aula diverge de um formato padrão de exercícios utilizados na escolarização.

Estudantes do curso técnico utilizam menos convidativamente o registro algébrico (simbólico) para explicar qualitativamente através da Língua Natural o tipo de associação em jogo. Os procedimentos algorítmicos para cálculo da resistência equivalente são percebidos fortemente nos dois grupos, porém, até mesmo em situações qualitativas parte relevante dos bacharelados busca fazer uso do registro simbólico. Isto revelou a dificuldade conceitual de diferenciar resistência individual da resistência equivalente do circuito em problemas sobre o brilho de lâmpadas. Esta supervalorização algorítmica pode ser resultado da frequência e natureza dos problemas do livro didático.

Outro ponto é que nos dois grupos há uma dificuldade de avaliação combinada de grandezas. Como a maioria justifica uma associação através de aspectos morfológicos e percepção sobre uma grandeza basilar, também o fazem quando da aplicação qualitativa da Lei de Ohm e no uso da expressão para cálculo da potência elétrica. Didaticamente, urge uma articulação mais evidente a problemas e conceitos que requerem a avaliação combinada de grandezas.

8.7 Considerações Complementares

Formas de pensamento mais sofisticadas no âmbito dos estudos sobre associação de resistores aparentemente não são exclusivamente vinculadas à idade. De outra forma, as experiências empíricas parecem trazer contributos ao raciocínio dos sujeitos, provocando alguma uma ressonância cognitiva nos sujeitos em relação à construção conceitual, favorecido pelo relacionamento do concreto para o abstrato.

Em perspectiva a uma das questões norteadoras, os resultados apontam que o conjunto simbólico, os signos construídos historicamente em torno da teoria de Circuitos Elétricos influenciam o processo de ensino e a aprendizagem.

Isto acontece porque os símbolos seguem uma circunstância repetitiva nos materiais instrucionais, fortemente vinculada a um conjunto vocabular que estreita as relações interpretativas da Matemática e da Física. Assim, a coleção restrita de imagens e a integração vocabular, juntos, aparentemente perfazem não apenas uma primeira referência do indivíduo ao tipo de associação em jogo. Eles se tornam parâmetros balizadores, em cuja ausência de discussões em torno dos conceitos principais e subliminares, imputa uma resiliência à mudança junto aos sujeitos em aprendizagem.

Do ponto de vista epistemológico, os resultados revelam a tendência de uma noção estritamente passiva em relação ao arcabouço conceitual quando se manifestam apenas raciocínios morfológicos. Os domínios tecnológicos se mostram essenciais para avaliar e desenvolver a aprendizagem no âmbito da Educação Profissional Tecnológica face o espectro de recursos na área.

Concepções não científicas não observadas e tratadas em séries iniciais podem permanecer ao longo de séries mais avançadas. Assim, um prognóstico deve ser conduzido em tempo no processo de ensino-aprendizagem ou, de outra forma, a FACCE pode avaliar elementos declarativos sobre o raciocínio dos sujeitos. Tal como observado por Costa e Catunda (2008), alguns sujeitos manifestam preferência pelo quantitativo mesmo ao se deparar com situações solucionáveis pela demonstração de um raciocínio qualitativo. De maneira complementar, os resultados mostraram que eles sustentam o resultado obtido pela via algébrica ou através de análise algorítmica mesmo quando a avaliação das propriedades básicas do tipo de associação diz o contrário.

Embora vários autores acenem as dificuldades dos estudantes em identificar as ligações tipo série e tipo paralelo (ELGELHARDT; BEICHNER, 2004; DORNELES; ARAÚJO; VEIT, 2006; GOUVEIA, 2007), é importante destacar algumas das causas desta turbidez interpretativa, obtidas a partir da Tese: a relação próxima da Matemática com a Física desde a construção de saberes da primeira no Ensino Fundamental e ao longo do Ensino Médio, gerando influenciadores algébricos e geométricos na interpretação e produção da ligações e no cálculo da resistência equivalente; a historicidade na construção

linguística discursiva e imagética, seus resultados teórico-experimentais; obstáculos interpretativos pelo desenvolvimento de um raciocínio morfológico sobre as ligações; ausência de discussões detalhadas sobre simetria e topologia elétrica de circuitos, incluindo conceitos basilares e subliminares.

Parte das evidências decorrentes da análise das situações-problema propostas confirma observações da literatura. Outra parte exhibe descobertas para um contexto teórico-experimental mais robusto, admitindo interações entre registros e domínios tecnológicos. Há ainda novas perspectivas, fortalecendo olhar para a compreensão sobre as dificuldades de natureza morfológica dos sujeitos, sua relação com raciocínios não científicos, e a persistência de um conjunto diversificado de entendimentos por vezes caracterizados como erros, notadamente resistentes mesmo após a instrução formal.

8.8 Implicações à Docência

Inicialmente, destaca-se a supervalorização restritiva do estudo sobre associações série e paralelo. No ensino médio, a construção histórica e didática em torno destas é capaz de provocar nos estudantes em aprendizagem uma sensação de dualidade existencial entre os tipos (“é uma quando não é a outra”), observado na Descrição Analítica. Além da “associação mista”, classificada a partir da composição das associações em série e em paralelo, aparentemente não se explora o campo vasto de tipologias, incluindo aquelas não planares (que não são passíveis de uma representação no plano), assim como junto a outros tipos de componentes resistivos (reostatos, potenciômetros, *trimpots*).

Para alguns sujeitos, as representações convencionais são um ponto de referência, um porto seguro. Eles conseguem avaliar estruturas de diagramas não convencionais, no entanto, estritamente realizam tratamentos figurais com reposicionamento de nós elétricos, ramos, novos desenhos para a malha, de modo a trazer para morfologias tradicionais sua compreensão sobre o cenário. Isto é interessante e, ao mesmo tempo, revela bloqueios, obstáculos em relação à capacidade de abstração para compreender topologias mais complexas.

Quanto ao desenvolvimento conceitual dos alunos, um ponto de partida é a construção mais sólida sobre o modelo do átomo. Daí podem surgir

construtos conceituais mais bem compreendidos sobre tensão e corrente elétrica e, em consequência, sobre a Lei de Ohm, sobre a associação entre resistores. Pontes teóricas relacionando número atômico, camadas, níveis energéticos e banda de valência não ocorrem nos livros didáticos de Física e o caminho interligando os estudos em Química também não se expõem como espontâneos, apesar de essenciais. O mesmo cuidado deve ser tomado em relação às correlações entre o estudo da Eletrostática, os modelos aprendidos pelos estudantes, e os estudos em Eletrodinâmica. O caminho citado é promissor para avaliar concepções como a de atenuação, curto-circuito, no entanto, requer uma compreensão adequada, pelo professor, sobre cada modelo de concepção manifestada pelos estudantes, algo que deve ser estimulado na formação de licenciandos em Física, Ciências, e em disciplinas de metodologia voltadas a Engenheiros e Tecnólogos que atuam como docentes, algo intrínseco no âmbito da Educação Profissional Tecnológica.

Quanto às percepções conceituais dos docentes sobre o ensino de circuitos elétricos, em um estudo recente na África do Sul envolvendo professores de Ciências, Moodley e Gaigher (2019) observaram que a compreensão das concepções não científicas dos alunos nem sempre se correlacionavam com as dos professores. De modo geral, os docentes podem ou não entender o tipo ou a causa da concepção, assim como expor atitudes no sentido da construção conceitual ou de caráter mais algébrico, baseado em análises qualitativas ou em fatos e demonstrações. Uma vez que nem sempre os professores conseguem detectar as concepções não científicas e endereçá-las, os resultados a partir da Tese auxiliam a compreensão de algumas situações, causas de concepções e um vínculo com elementos mais difíceis aos discentes nos tratamentos e conversões.

Um elemento atitudinal é que o professor possa agir no sentido de mapear as concepções não científicas ao longo da interação com estudantes, pela forma com que são construídos os capítulos e exemplos nos materiais que utiliza, a partir da forma de estruturação de guias de laboratório, por meio da exploração de exercícios conceituais e da categorização de dificuldades e concepções observadas nas respostas dos alunos em provas aplicadas ao longo

da disciplina. Outro objetivo é, a partir disto, compreender a necessidade de desconstruir convicções que se afastam dos conceitos científicos, relativo ao primeiro contato (visual, vocabular).

A sedimentação dos conceitos auxiliares/subliminares é outro ponto que deve ser entendido a fim de corroborar com o entendimento e a aplicação das ideias de nó elétrico, ramo e malha na associação de resistores e, em consequência, nos estudos das Leis Básicas de Circuitos Elétricos. Ela também é colaborativa na compreensão tridimensional das ligações, da tipologia de associações, de modo que seja possível agir sobre as conversões que carecem do entendimento de regras de formação construtiva e possibilidades de ligações nos recursos analógicos e digitais.

Sob a perspectiva da ação docente, a ferramenta proposta subsidia diagnóstico sobre a aprendizagem conceitual dos estudantes. É possível aplicá-la antes ou mesmo após o ensino formal em vários níveis de escolarização, adaptando o contexto de tratamentos e conversões aos objetos de conhecimento e recursos disponíveis, auxiliando o aperfeiçoamento da trajetória disciplinar, curricular, de escolha dos recursos e do espectro de conteúdos e competências.

Embora se mostre essencial diagnosticar dificuldades para idealizar um processo didático que vise a sua superação, os docentes podem não proceder de modo voluntário. Morrison e Lederman (2003), no entanto, apontam que alguns professores podem não considerar tão útil esta identificação prévia das concepções não científicas, em que há um afastamento real entre o que afirmam (a importância do diagnóstico) e a aplicação prática de instrumentos em sala de aula. Muitas vezes tal fato ocorre em virtude de um prévio julgamento, como que isto seja impraticável no planejamento curricular devido à alta demanda de conteúdo. Este pensamento também existe quando nos referimos aos problemas concatenados com séries anteriores, vinculados aparentemente a outras disciplinas. O erro na manipulação de fração, na análise de proporcionalidade inversa é categorizado apenas como erro geral, não se prospectando um reexame em sala de aula.

Pode ocorrer também uma preferência ao ensino algorítmico, em que acenamos para a necessidade de avaliação conceitual das expressões algébricas e, sempre que possível, um contraponto às dificuldades provenientes dos temas interdisciplinares, por vezes originados de estudos anteriores mas, por outras, de contextos concomitantes a depender série do sujeito em cada nível de escolarização. Notadamente, acenar ao docente a possibilidade de várias ferramentas de diagnóstico e sua aplicação pode balizar o olhar sobre sua prática (revisões acerca de dificuldades de aprendizagem de conteúdos de séries anteriores, entrevistas, exercícios conceituais, mapas, pré-testes).

O aparecimento do modelo coletor/*sink* e de outros modelos mentais para a corrente elétrica indica a necessidade de novos conhecimentos pedagógicos ao professor, de modo que ele possa, durante o processo de ensino e aprendizagem, levar os estudantes à tentativa de superação de problemas conceituais associados a esta grandeza (PRAMESTI; SETYOWIDODO, 2018). A avaliação microscópica do modelo do átomo, da condução nos materiais eletrônicos e a exploração do conceito de malha elétrica na avaliação da topologia elétrica dos circuitos pode se mostrar uma alternativa. Outra ideia, orientada a partir dos resultados da tese, seria a exploração de cenários de conversão e tratamento admitindo condições dinâmicas manifestadas pela operacionalização de chaves ou transformações do nó elétrico. O processo requer cuidado com a linguagem utilizada pelo professor, uma vez que a ideia de corrente elétrica como fluxo ou como energia está muito associada à maneira como são utilizadas analogias do conceito (PRAMESTI; SETYOWIDODO, 2018, p.6).

O uso do CCK/*PhET*, do PSIM ou de outros softwares/aplicativos é importante. Como observado na Tese, eles favorecem a análise de condições de mudança de características do circuito. O primeiro permite, inclusive, referência visual comparativa da potência elétrica e uma alta produtividade pela facilidade e tempo curto com que a mudança de cenários pode ser implementada. Ele auxiliaria avaliar a desconexão de um fio ao longo de uma malha, o chaveamento de resistores em um circuito série ou paralelo, ou mesmo o uso do amperímetro ou do voltímetro, antecipando expectativas em laboratório físico.

Conversões dos registros icônicos (formal, desenho, empírico) para o domínio tecnológico de natureza digital podem expor novas perspectivas ao discente quanto ao fenômeno, garantindo condições de segurança física e operacional em virtude da natureza digital. É possível, assim, testar hipóteses, estimular o raciocínio conceitual e a análise de modelos. Autores defendem que a simulação pode reduzir dificuldades conceituais e favorecer cognitivamente o aprendizado (RAMNARAIN; MOOSA, 2017; FAOUR; AYOUBI, 2018), melhorar o entendimento conceitual (FINKELSTEIN *et al.*, 2005); outros, que ambos - recursos digitais e analógicos - podem ter um impacto positivo na aprendizagem (SANTOS; DICKMAN, 2019).

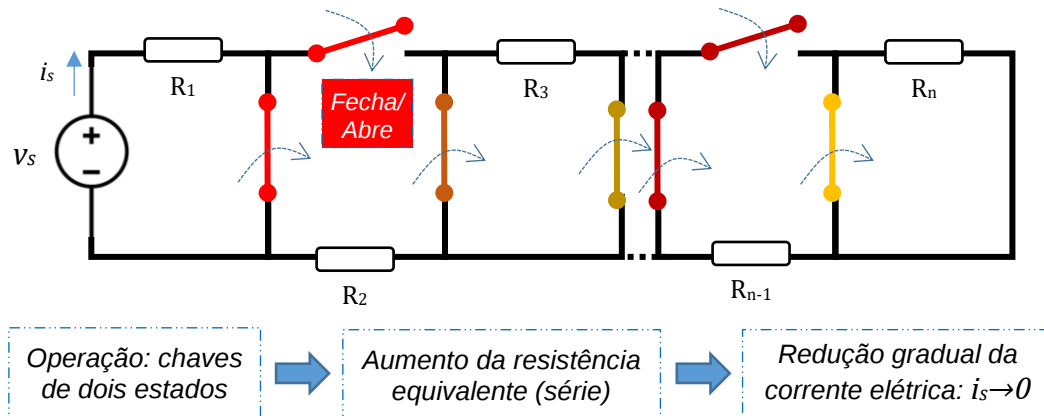
Aqui, contudo, como já reportado na descrição analítica do Segundo Estudo, percebemos uma vantagem colaborativa Real & Virtual devido a elementos específicos de ambos, além de uma correlação imediata hardware/software em uma perspectiva da formação de técnicos e engenheiros no contexto da indústria 4.0. No contexto da Tese, os estudos da FACCE revelaram que é a natureza semiótica diversificada do recurso digital ou analógico e o grau de liberdade construtiva que pode potencializar a aprendizagem conceitual sobre associação.

Quanto às concepções de curto-circuito e circuito aberto, uma proposta seria a utilização de situações que envidassem processos de conversão com descrições conceituais na língua natural, uso do registro icônico, o contexto dos conceitos subliminares e as consequências algébricas com aplicação da Lei de Ohm. Além disso, os laboratórios podem permitir simulações digitais através de programas computacionais e medições controladas em laboratório físico. Nisto, associações em série e em paralelo pode ser compreendidas através da análise dinâmica com o chaveamento de resistências (Figuras 121 e 122), de modo que é possível controlar a corrente elétrica segundo a capacidade de leitura dos instrumentos e limites operacionais de segurança, no sentido do aumento, com

$$i_s = v_s \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots \frac{1}{R_n} \right); i_s \rightarrow \infty \text{ (associação em paralelo) ou da redução, sendo}$$

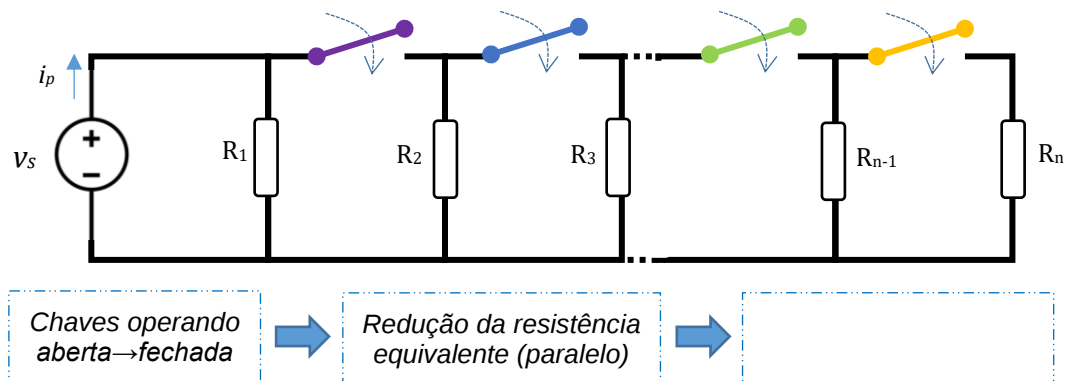
$$i_p = \frac{v_s}{R_1 + R_2 + \dots R_n}; i_p \rightarrow 0 \text{ (associação em série)}.$$

Figura 121 - Aumento da resistência equivalente por meio da administração de um circuito dinâmico com chaves: redução da corrente elétrica fornecida pela fonte.



Fonte: próprio autor.

Figura 122 - Redução da resistência equivalente por meio da administração de um circuito dinâmico com chaves: aumento da corrente elétrica fornecida pela fonte.



Fonte: próprio autor.

No primeiro circuito (Figura 121), o processo de abertura e fechamento das chaves vai ampliando a resistência equivalente série vista pela fonte. Administrando os valores das resistências, é possível, aos poucos, reduzir a corrente fornecida pela fonte (aumentando a resistência equivalente R_{eqs}), suscitando tendência a zero ($A \rightarrow mA \rightarrow \mu A \rightarrow nA$). Deve-se admitir a capacidade do instrumento de medição, envidando a noção do conceito de circuito aberto ($i_s = v_s/R_{eqs}$; $R_{eqs} \rightarrow \infty \Rightarrow i_s \rightarrow 0$). No segundo circuito (Figura 122), o processo de fechamento de chaves vai ampliando o número de resistores em paralelo e, em consequência, é possível reduzir a resistência equivalente (R_{eqp}). Isto é um aspecto de confrontação, inclusive, ao raciocínio não científico paralelo. Disto, aumenta-se a corrente fornecida pela fonte (não deve superar

sua capacidade). Gerenciando os valores das resistências é razoável expor a noção do conceito de curto-circuito ($i_p = v_s / R_{eqp}$; $R_{eqp} \rightarrow 0 \Rightarrow i_p \rightarrow \infty$).

Admitindo a essência do processo de conversão na aprendizagem, destaca-se que existem sujeitos que desenvolvem mais deliberadamente a correta forma de construção experimental a partir das noções conceituais descritas linguisticamente (apenas cinco dos vinte e seis sujeitos). Outros conseguem estruturar representações icônicas e simbólicas (algorítmicas) do conhecimento, porém têm mais dificuldade de promover a construção de casos junto a um recurso tecnológico experimental (a maioria no caso da FACCE). Por fim, há aqueles cujas dificuldades são amplas nos contextos interdisciplinares, teóricos e experimentais. Isto evidencia a necessidade de que o docente reflita sobre a concatenação entre registros de representação e domínios tecnológicos uma vez que os sujeitos podem expor heterogeneidade nas concepções sobre a construção de conhecimento em Circuitos Elétricos, de níveis mais basilares a outros mais complexos. Há um saber inacabado por partes, de natureza distinta para diferentes sujeitos, ou seja, as raízes das dificuldades e os tipos de concepções não científicas não expõe a mesma origem e, como observado na FACCE, sua revelação pode depender do tipo de situação-problema em jogo.

Quanto ao uso da matriz de contatos, há impedimentos/bloqueios no raciocínio desenvolvido pelos estudantes ao tentar materializar fisicamente um arranjo entre resistores ou mesmo representá-lo iconicamente. Logo, a análise envidada aponta que a fonte desta dificuldade está vinculada à construção, no campo visual do sujeito, de que as ligações das associações em série, em paralelo, e outras, se projetam mais fortemente com fios que se assemelham a retas dispostas na vertical ou na horizontal. Este problema é, decerto, distante da maioria das aplicações empíricas e profissionais do contexto de formação, postergando temporalmente ou gerando entraves à aprendizagem. Consoante às hipóteses levantadas, a historicidade e os signos enraizados nos livros erguem uma memória visual excessivamente associada ao saber geométrico, a qual deve ser confrontada apesar da rígida conexão entre vocábulos que superpõe saberes da Matemática e da Física.

Em sala de aula ou em laboratórios experimentais dos cursos profissionais, normalmente se orienta apenas rapidamente sobre regras básicas relacionadas aos aspectos de construção próprios do *proto-board*. Há uma abordagem tradicionalmente expositiva com lacunas acerca da interpretação de informações no dispositivo ou das conversões entre os modelos e o cenário experimental. As dimensões físicas (dos componentes, da matriz, o espaçamento entre elementos em virtude da dissipação de calor) são indispensáveis para que se compreenda contextualmente a opção por certos formatos na construção de protótipos.

A aplicação de ferramentas de simulação juntamente com a avaliação minuciosa do desempenho dos estudantes pode fortalecer a compreensão do docente sobre as dificuldades conceituais manifestadas durante a construção de casos nos recursos. Há, assim, potencial para construir cenários de maneira evolutiva, estreitando as relações entre a teoria de circuitos elétricos e elementos de facilitação da aprendizagem. Dispor de ambientes de animação ou a manipulação física de artefatos em laboratório, além de expor perspectivas de aprendizagem e limitações de cada domínio, é essencial para a formação profissional, em que ambos se encontram inseridos no mundo do trabalho.

A essência dos resultados sugere que os materiais devem introduzir o estudo de associações entre resistores diversificando o conjunto imagético, procurando enfatizar a topologia elétrica e, sempre que possível, dissociar topologia de morfologia. Uma vez que a referência visual do registro de representação icônica é preponderante na formação do conjunto conceitual imagético que subsidia os conceitos de seriação, paralelismo e outros (Δ , Y).

As atividades em torno da ideia de seriação e paralelismo poderiam partir do pressuposto relacionado aos resistores físicos de natureza cilíndrica, retangular, admitindo algo semelhante ao que fora desenvolvido na Lei de Ohm. Entender que a resistência elétrica é função da resistividade, do comprimento e área e correlacionar a corrente e a tensão elétrica ao comportamento frente estes componentes resistivos poderia ser um facilitador, um saber prévio à apreciação das Leis de Kirchhoff. Outro ponto crucial parece a necessidade de introduzir o conceito de condutância já a partir das séries iniciais. Ele é o corresponde dual

da resistência elétrica ($G = 1/R$) e, nos livros técnico-científicos que tratam sobre circuitos elétricos ou na modelagem de sistemas de energia mais avançados, é utilizado para compreender a associação em paralelo dos componentes (soma das condutâncias). Este levante conceitual, contudo, deve admitir as dificuldades observadas com relação a operações com frações, fortalecendo e não segregando os laços para com os saberes algébricos correlatos aprendidos no ensino fundamental.

Como sugerido durante a interpretação referencial dos dados, o percurso didático para classificação e produção de associações entre resistores pode se estabelecer entre a conceitualização basilar e auxiliar, o estudo da variedade morfológica e sua correlação com a língua natural, registros icônicos e domínio experimental, trazendo a variedade da referência dos terminais, de transformações invariantes até à classificação tipológica.

9 CONCLUSÕES

Na Tese foi investigado o arcabouço das dificuldades e concepções não científicas de estudantes inseridos na Educação Profissional Tecnológica em torno do estudo sobre associação de resistores e contextos adjacentes. Quatro objetivos específicos nortearam a condução da pesquisa. O primeiro foi a análise de causas e fontes de dificuldades de aprendizagem relacionadas à representação em Circuitos Elétricos. O segundo, a compreensão do papel dos signos na formação do conhecimento. Um terceiro objetivo foi prospectar possibilidades de abordagem de situações-problema relacionadas com as concepções não científicas. O quarto objetivo envolveu a análise da Teoria dos Registros de Representação Semiótica como suporte na idealização de cenários de exploração da aprendizagem. O capítulo se inicia com alguns dos resultados consoante às questões provocativas, outras norteadoras e hipóteses levantadas. Em seguida, discute-se as principais descobertas. Na terceira seção são apresentadas limitações dos estudos e dos instrumentos e potencialidades plausíveis de desenvolvimento. Na última seção são indicadas implicações curriculares dos resultados para as duas modalidades (técnico, bacharelado) e sugestões de trabalhos futuros alinhados aos construtos da Tese.

9.1 Questões, Hipóteses e Principais Descobertas

Procura-se responder inicialmente às questões provocativas levantadas:

(i) Qual a compreensão conceitual sobre seriação e paralelismo?

Prevalece um raciocínio morfológico constituído pela historicidade e uso dos termos e do conjunto visual (série - alinhamento e sequência; paralelo - linhas paralelas, referência geométrica). Na referência aos conceitos basilares para explicar as associações, é preponderante a citação à corrente elétrica como conceito primário e intuitivo. Hipóteses e argumentos mais restritos são apresentados pelos que já concluíram o ensino médio. Há tentativas de generalização pelo discentes do curso técnico, sendo nestes mais frequente citar as consequências do tipo de ligação sobre o perfil da tensão nos componentes.

(ii) Como lidam e interpretam a mudança da topologia de um circuito?

A transformação morfológica do ramo e operações combinadas de simetria e permuta posicional de componentes são de apreensão difícil na identificação de equivalência topológica. Ainda, surge na significação e produção de associações. A assimilação morfológica gera dificuldades tanto na partida quanto na chegada a registros de representação. A primeira referência intuitiva é uma barreira quando posições de componentes ou de terminais da associação são fixadas na produção de tipos de associações, causando raciocínios não coordenados com a teoria científica. Há influência conceitual da imagem que subscreve as ligações, provocando inclusive a violação de regras operacionais de recursos.

(iii) O que os influencia quando se manifestam concepções não científicas?

Os principais aspectos revelados foram: analogia concreta a conceitos abstratos, imprecisões ou ausência conceitual sobre malha, ramo e nó, confusões entre potencial elétrico e diferença de potencial, a forma não convencional da disposição dos componentes, além da representação inacabada de conceitos basilares e relações com análises icônicas, qualitativas e algébricas

(iv) Que dificuldades aparecem na conversão entre sistemas de representação?

Sobressaem erros na manipulação das expressões (algébrico), respostas sem a coordenação de hipóteses generalizáveis, tratamentos quase-instantâneos e baseados em uma única perspectiva, preponderância morfológica na tomada de decisões teóricas e empíricas. Os conceitos de curto-circuito e circuito aberto não são compreendidos qualitativamente. Um ponto crucial foi a potencialidade de tratamentos e conversões idealizadas no diagnóstico das dificuldades.

(v) Como lidam com os requisitos cognitivos na passagem de uma representação $\alpha \rightarrow \beta$ em relação à passagem inversa $\beta \rightarrow \alpha$?

A espontaneidade muda a depender do sentido da conversão em decorrência de que podem existir diferentes demandas cognitivas. Isto fica mais evidente na tradução e ilustração (havendo imagens de recursos tecnológicos), assim como entre os registros e os domínios tecnológicos. Os sujeitos podem criar caminhos alternativos aos propostos, além de incluir registros intermediários na resolução.

Apresenta-se a seguir resposta às questões norteadoras, delineando a compreensão sobre dificuldades conceituais no campo representativo dos Circuitos Elétricos e municiando novas perspectivas teórico-empíricas.

- Qual a influência dos signos na construção do conhecimento para o ensino e a aprendizagem sobre Circuitos Elétricos?

Situando o contexto histórico, a construção linguística discursiva e não discursiva acentua um relacionamento entre Matemática e Física. Desenvolvimentos experimentais em laboratório ou através de protótipos e patentes trouxeram um arcabouço linguístico-visual integrado ao contexto didático. Significados de um campo influenciam a interpretação dos sujeitos no outro. Concepções não científicas incidem em consequências à aprendizagem pois a aproximação material linguística dos dois contextos não produz um confronto cognitivo nos raciocínios imediatos. Adiciona-se a isto a tentativa de oferecer um construto material a conceitos abstratos, algo presente na historicidade do campo.

- De que forma relações entre Física e Matemática afetam a interpretação de situações sobre as ligações entre componentes e associação entre resistores?

A aproximação Geometria ↔ Circuitos Elétricos é nuclear na exposição do tema em livros didáticos e técnico-científicos. Os conceitos-chave envolvidos são tensão e corrente elétrica (fundantes), nó, ramo e malha (auxiliares). A ampla compreensão tipológica inclui ainda a potência elétrica. Da prospecção entre morfologia e topologia, sobressaem estudos com geometria plana e espacial em séries anteriores ou simultâneas ao ensino de Circuitos Elétricos. Isto influencia os sujeitos, dada a semiótica de símbolos, termos e figuras. Campos distintos, mas relacionados de modo interdisciplinar, subscrito. A heterogenia representativa dos conceitos, as consequências de um para com o outro, entre registros mono e multifuncionais para com as aplicações, a separação forma x conteúdo são essenciais para avaliar a aprendizagem. O caráter algébrico sobre associações entre resistores deve ser salientado, expondo uma rastreabilidade temporal das dificuldades em torno do conteúdo sobre frações, potenciação, equivalência, dentre outros. Dificuldades persistem na escolarização. Cálculos e comparações qualitativas baseadas em tratamentos simbólicos são laboriosos aos discentes.

- Como os registros de representação semiótica podem auxiliar na construção de situações-problema?

A exploração da diversidade representativa nas situações-problema deve admitir previamente uma categorização dos registros mono, multifuncionais, discursivos e não discursivos, além de um detalhamento sobre recursos tecnológicos que se almeja utilizar no ensino-aprendizagem. O conhecimento sobre associações, então, pode ser mapeado e detalhado. Do registro da língua natural permite-se revelar a percepção conceitual através de ideias concatenadas, palavras e agrupamentos de termos mais frequentes. O registro icônico expõe uma possibilidade diferente e um pouco mais ampla, referindo noções conceituais por meio de desenhos, através do uso, interpretação e produção de associações com o conjunto formal de signos ou com a imagem de recursos empíricos. Os tratamentos e as conversões permitem caracterizar como o sujeito lida com apreciações algébricas, como interpreta fundamentos teóricos e empíricos do conhecimento, sejam descritos no âmbito de sua iconicidade ou da escrita. Esta amplitude possibilita prever ou diagnosticar dificuldades e concepções não científicas, cujo contexto adquire robustez quando ampliamos do campo semiótico à materialização físico-digital os modelos e os raciocínios dos sujeitos.

No que concerne às hipóteses levantadas, inicialmente admitiu-se que a aprendizagem em Circuitos Elétricos seria influenciada por signos estabelecidos historicamente na formação teórica e na representação do conhecimento no campo. De fato, ela se confirma, mas os resultados estabelecem dois aportes relevantes: o primeiro, acerca da formatação conceitual sobre associação de resistores nos livros didáticos e técnico-científicos. Erros relacionados a definições e à estrutura organizacional dos capítulos e de exercícios podem gerar dificuldades e concepções não científicas. Sua ocorrência se dá pela forma de uso do vocabulário linguístico e visual, pela homogeneidade topológica entre conteúdo, exemplos e tarefas, além de uma alta indução algorítmica passível de gerar falsas generalizações. O segundo ponto tem caráter reflexivo e expõe atenção às interpretações dos docentes sobre natureza e perfil das dificuldades,

e sobre como planeja sua aula. Alguns trabalhos apontam a necessidade de lidar com esta perspectiva pois os docentes podem expor concepções não científicas.

A segunda hipótese levantada reportava que concepções diferentes daquelas aceitas cientificamente surgem quando não se mobilizam no estudante discussões sobre as particularidades conceituais teórico-empíricas. Vários indicativos ocorreram neste sentido não apenas em relação às concepções, mas sobretudo apareceram outros para com os conceitos de seriação, paralelismo e resistência equivalente. As concepções não científicas estão muito ligadas aos conceitos fundantes (tensão, corrente), no entanto, também na relação de como podem ser assimilados face a organização da topologia elétrica do circuito. A noção de nó elétrico, por exemplo, é confundida visualmente com um ponto, cuja marca nos diagramas nem sempre expõe correspondência significativa plena. Interpretativamente, o nó também pode ser associado com o conceito de nó essencial. A ausência de um marcador interpretativo quanto à ideia de caminho fechado (malha) proporciona dificuldades aos sujeitos ao tentar medir a corrente elétrica no circuito, identificar onde se deve “abrir” para conectar o instrumento, referência à necessidade de percepção da seriação mediante uso do amperímetro. Isto se complementa a incorreções na identificação do ramo em que se encontra o componente cuja grandeza se almeja medir. Deslizamentos do componente no ramo incidem fortemente em falhas interpretativas devido às transformações figurais que provocam. Disto, conjuntamente, se desenvolve uma desorganização para aplicações em cenários cuja apreciação destes conceitos é mais evidente, como na avaliação da divisão de corrente, de associação em série e em paralelo. Portanto, se trata de algo que emancipa eventuais problemas relacionados em temas a *posteriori* como as Leis de Kirchhoff e os Métodos de Tensão de Nó (MTN) e de Corrente de Malha (MCM).

A confusão na noção conceitual sobre nó elétrico envida dificuldades gerais na classificação das associações série, paralelo, mistas, Δ , Y e outras combinações também em virtude das várias aparências morfológicas e experimentais. Caracterizando-se como a materialização conectiva entre dois terminais, figurativamente ele pode ser expresso como um ponto, um segmento de reta, um segmento curvilíneo, em 90° ou sob outras formas variadas. Sob o

ponto de vista empírico, materializa-se como uma solda (visualmente implícita no *proto-board*) ou explícita em uma placa de circuito perfurado, trilhas em uma placa de circuito impresso, pelo uso de fios e cabos (um, dois, três,...). Assim, os resultados da aplicação da ferramenta de análise mostraram que se confirma um distúrbio interpretativo tanto no plano o abstrato quanto no concreto. As dificuldades se acentuam ainda mais nas passagens de um para com o outro, da necessidade de correspondência significativa quando notadamente surgem em formas cuja percepção semiótica é de incongruência, menos espontânea. Juntamente com a lacuna no conceito de ramo, caminho entre dois nós elétricos distintos, é capaz de tornar permissível e razoavelmente frequente a produção não intencional e a não compreensão de curto-circuitos.

A análise do conteúdo nos protocolos mostra também que se condiciona um desrespeito às regras básicas de formação das ligações nos recursos analógicos e digitais, tal qual um imobilismo, a ausência de iniciativa frente um diagrama cuja disposição topológica segue uma morfologia não convencional, distante da representação mental dos sujeitos, ou do conjunto semiótico que eles acreditam integrar a classificação tipológica das ligações. As conversões entre registros e domínios acentuam esta dificuldade porque voluntariamente o sujeito é colocado em uma situação que precisa lidar com esta transformação. Além do problema, surge a solução: o confronto cognitivo existente nos processos de tratamento icônico ou na reconfiguração experimental de circuitos, tal qual as conversões pela interpretação do conjunto experimental ou a sua montagem (digital, física) revelaram, neste contexto, um forte indício de superação do raciocínio morfológico.

De outra forma, os sujeitos que lidam com recursos de natureza experimental têm a possibilidade, ao longo da formação em circuitos, de lidar com várias formas inerentes aos conceitos auxiliares e isto lhes permite um desenvolvimento abstrato dos conceitos, menos dependente da forma. É possível compreender que existe uma evolução cognitiva (e somente motivacional) aos que utilizam programas de simulação, aos que fazem uso de laboratórios físicos e, mais ainda, aos que lidam com os dois planos

experimentais, desde que haja distanciamento representativo dos conjuntos semióticos associados com as possibilidades.

Para os dois grupos a formação declarativa do conceito possui traços semelhantes, no entanto, ao lidar com as situações-problema, a construção argumentativa é mais próxima do científico naqueles que tiveram formação experimental, em que admitiu-se recursos inerentes ao ambiente natural (*protoboard*, módulo 1103A) dos discentes do curso técnico e também de fora dele (CCK/PhET). Para alguns sujeitos, inclusive, o uso do recurso com modelos representativos de conceitos ou a apreciação de restrições dimensionais, pode levar à tomada de consciência para amplificação da coleção individual de possibilidades representativas de um circuito.

Uma terceira hipótese considerou que o entrelaçamento de signos e linguagem entre Matemática e Física indicaria parâmetros de influência sobre as concepções adquiridas por estudantes em Circuitos Elétricos. Da relação entre a linguagem declarativa, a imagética e os domínios tecnológicos, a historicidade e uso didático cria de fato uma homogenia perceptiva nos estudantes, cujos parâmetros de influência estão ligados à forma, às imagens que subscrevem o desenho de um circuito, ao que o sujeito incorporou previamente sobre o significado vocabular de seriação e de paralelismo, às aprendizagens em Geometria. O surgimento de certas dificuldades em vários países provavelmente também tem relação com aproximações curriculares sobre o tempo que cada conteúdo de Geometria é apresentado, especialmente no que aqui conhecemos como Ensino Fundamental e Médio, e como são (ou não) relacionados à Teoria de Circuitos Elétricos. Outras dificuldades, porém, permitiram verificar que é muito estreita a influência da aprendizagem de alguns conteúdos de Álgebra sobre a interpretação simbólica (expressões, cálculos) e, de maneira complementar, acerca da avaliação relacional entre as grandezas.

O entendimento qualitativo da proporcionalidade direta ou inversa na função afim incompleta " $f(x) = ax$ " é essencial no estudo da Lei de Ohm " $v = R.i$ ", e cujos resultados expuseram certa dificuldade dos sujeitos neste construto. Há algum tipo de conflito entre o raciocínio intuitivo e a avaliação qualitativa das

grandezas. Vários raciocinam que a tensão é gerada pela corrente “ $v(i) = R.i$ ” e não que, fisicamente, a corrente é função da tensão, mediada pela resistência, o que tornaria mais razoável escrever “ $i(v) = \left(\frac{1}{R}\right). v$ ”, em que a resistência depende da característica intrínseca do componente ou da associação de vários. Esta segunda expressão, de natureza monofuncional discursiva, não é evidente na apresentação conceitual dos livros, sendo explorada na forma “ $i = v/R$ ” a partir desdobramentos de caráter algébrico em exemplos e exercícios. Este conteúdo relacional da corrente como função da tensão, porém, reflete a natureza do desenvolvimento experimental da Lei de Ohm, e cuja avaliação do registro não discursivo gráfico ($i \times v$) pode ser uma alternativa para endereçamento das variáveis e compreensão da natureza dependente de um para com o outro. O registro gráfico não foi explorado na tese em virtude do tema delimitado, porém reconhecemos que pode ser muito importante por delinear possibilidades de unidades significativas de valor definido nas conversões de e para outros registros, algo não tão evidente no contexto icônico imagético.

De modo adicional, o âmbito algébrico acomete de maneira paramétrica a análise de proporcionalidade inversa, o estudo da equivalência de expressões, a realização de operações com frações (obtenção da resistência equivalente), cálculos que envidam a potenciação com expoente negativo. Dificuldades nestes conteúdos limitam a análise concomitante de grandezas ou a resposta simples sobre o valor da resistência equivalente de um arranjo. Isto implica também erros na comparação, por exemplo, da potência dissipada por lâmpadas (análise do brilho). Neste ponto, o uso de ferramentas com modelagem visual da potência, como é o caso do CCK/PhET, pode atrapalhar caso não esteja concatenado diretamente à situação de montagem com o registro algébrico, pois o exame convidativo visual, em muitos casos, inibe a análise das expressões ($P = v.i$; $P = R.i^2$; $P = v^2/R$), com ocorrência verificada aqui junto aos sujeitos mesmo após a instrução formal. As dificuldades na interpretação conceitual são mais evidentes neste caso pois envolvem, conjuntamente, o desenvolvimento analítico com a apreciação comparativa de várias grandezas simultaneamente, inclusive através de expressões ou raciocínios anteriores que precisam de avaliações do tipo “maior que” ou “menor que”. Esta última é uma compreensão

essencial nas situações que envolvem mudança dinâmica para caracterização da corrente elétrica ou da percepção da potência dissipada por resistores em circuitos série e paralelo quando da inclusão de outros (chaveamentos). As percepções em torno do conteúdo algébrico aplicado na análise de circuitos, de fato, foram amplas, para além do que se havia delimitado conceitualmente.

Uma última hipótese levantada seria a indicação de que, para uma apreensão significativa, as relações entre vocabulário e imagem devem ser tratadas em suas especificidades, admitindo objetos de aprendizagem e a representação teórico-empírica, além da multiplicidade de situações-problema. Começando pelo fim, na verdade percebemos que a multiplicidade de situações deve ser conduzida sob o viés da diversificação representativa do conhecimento e, concomitantemente, prezando pelos contextos que se alinham à demanda acadêmico-profissional dos sujeitos. Há uma evolução significativa do *status* e dos horizontes de aplicação dos conceitos de Circuitos Elétricos na engenharia, no avanço técnico, na tecnologia de produtos e equipamentos, em orientações de segurança individual e operacional. É este olhar, para o fim do processo, que amplifica a urgência pela separação das relações entre vocabulário e imagem já no início das construções conceituais, ainda em sala de aula.

Neste processo, devem ser evidenciadas singularidades dos recursos e da representação discursiva e não discursiva. Os resultados também podem balizar orientações para a construção e especificação de recursos experimentais para fins educacionais. Este subsídio talvez envide uma classificação baseada no modelo representativo aplicado no recurso e na semiótica. Isto deve aparecer consoante às demandas por competências e habilidades na construção de protótipos, na compreensão sobre o funcionamento e o reparo de tecnologias contemporâneas, na especificação das características elétricas de componentes ou mesmo na construção de circuitos, no uso de instrumentos elétricos.

O exame das competências profissionais passíveis de desenvolvimento garante vínculo com o significado comunicativo, sociocultural, representativo e investigativo que acomete o âmbito profissional a partir dos Circuitos Elétricos, em que pesem as competências almejadas a cada nível de escolarização. Nisto,

foram demonstrados atributos alinhados com os parâmetros curriculares para o ensino médio, com a formação técnica integrada e com as Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs) em engenharia. Assim, admite-se a percepção tecnológica e contextual da aplicação dos saberes em Circuitos Elétricos. Esta multiplicidade deve ser reconhecida como ponto de chegada e não de partida, observada daqui pra frente na construção e teste de novos recursos, por exemplo, os que se alinham à formação 4.0, às cargas cognitivas associadas com a célere integração analógico-digital, na experimentação remota, com o desenvolvimento de ferramentas de realidade aumentada, os quais vem sendo testados para ensinar sobre os equipamentos de laboratório, com alguns resultados considerados satisfatórios no desenvolvimento de habilidades (SINGH *et al.*, 2019; AVILÉS-CRUZ; VILLEGAS-CORTEZ, 2019).

Examinando os resultados acerca dos conceitos de associação série e em paralelo, além de um olhar minucioso para a linguagem na construção de conhecimento, nota-se um esclarecimento às questões norteadoras da tese. O contexto histórico de formação de termos, a linguagem sob uso e o conjunto de imagens trazida nos materiais didáticos, em sala de aula, exercem influência sobre a aprendizagem do sujeito e o levam a uma experiência sensorial ultra estimulada a termos e a uma classe de representações morfológicas. Os signos edificadas na teoria de Circuitos Elétricos podem gerar ou reforçar fortemente as concepções não científicas dos sujeitos. A robustez com que isso ocorre na estruturação do raciocínio é preponderante nas respostas de estudantes junto a várias situações-problema, seja no plano teórico ou no experimental. O arcabouço visual e da língua natural do sujeito, mesmo quando distantes da acepção científica, se sobressaem à aplicação conceitos subliminares ou basilares da teoria.

9.2 Implicações Disciplinares

Ao confrontar os resultados com outras pesquisas e com a historicidade do conhecimento construído, se faz oportuno propor seções introdutórias nos livros, as quais venham a tratar dos aspectos vocabulares e topológicos, das relações significativas entre o conhecimento algébrico-geométrico e sua

aplicação contextual na teoria de Circuitos Elétricos, expondo aproximações e, sobretudo, distanciamentos.

É preciso entender que certos saberes são admitidos, pelos professores, muitas vezes já sedimentados pelos alunos quando estão em séries mais avançadas. Eles consideram como erro exclusivo da teoria de Circuitos Elétricos dificuldades de natureza da Matemática rastreadas do conteúdo de séries anteriores ou na aplicação teórico-experimental, nas relações construídas.

As aprendizagens experimentais se mostram importantes para o desenvolvimento cognitivo, para a superação de raciocínios não científicos em que recomendamos não apenas a ampliação do espectro digital-analógico, mas também o estabelecimento de construtos de conversão dos fundamentos teóricos para a ação experimental e no sentido contrário. Os resultados apontam que os recursos de simulação digital podem ser administrados antes dos de natureza construtiva, manipulativa. Eles se mostram complementares e não auto excludentes quando se considera o estudo da associação entre resistores, a análise da corrente, tensão e potência elétrica em circuitos de corrente contínua.

O uso do software pode permitir a simulação de cenários fisicamente não recomendados. Ainda alguns estudantes demonstraram espontaneidade em avaliar outros casos, para além do solicitado em situação-problema, facilitado pela dinamicidade e curto tempo utilizado na implementação de mudanças de um arranjo. Além disso, a interface com modelagem dinâmica é motivacional mas, sobretudo, pode potencializar o aprendizado àqueles que já possuem conceitos e argumentos mais próximos da realidade científica. A organização intencional deve, assim, planejar interações diretas entre os conceitos e as dotações tecnológicas.

A construção analógica, por sua vez, auxilia no desenvolvimento do raciocínio tridimensional. A realidade manipulativa permite o teste de hipóteses sobre ligações, especialmente quando as ligações podem ser materializadas com os terminais físicos dos resistores. Isto pode orientar a aplicação, o uso de placas de circuito perfurado ou impresso, de maneira prévia a outros recursos, emancipando o trato com o *protoboard*, com módulos didáticos cuja

apresentação do nó elétrico ou de outro conceito auxiliar aparece de maneira não diretamente explícita, cujas ligações não transparecem diretamente ao raciocínio intuitivo dos estudantes.

Atenta-se que os dados obtidos a partir da FACCE podem expor uma estabilidade no tempo quando se envia sua aplicação a grupos semelhantes, podendo ser ampliada. No entanto, podemos inferir que, na escolarização técnica integrada ou subsequente ao ensino médio, na formação em engenharia ou até mesmo na formação de professores de Física e Ciências, a presença de componentes ou conteúdos curriculares que versem sobre a aprendizagem experimental pode enriquecer o núcleo semiótico da teoria de circuitos e, consequentemente, seria uma vantagem a ser testada desde as disciplinas iniciais dos currículos, em componentes optativos ou cursos extras.

A eficiência na aproximação conceitual depende, evidentemente, de intenções didáticas que aproximem abstrato e concreto no plano teórico ou no cerne experimental. Contudo, mesmo sem referência à forma com que os docentes ministraram as disciplinas nos dois grupos de sujeitos, os resultados observados expuseram que aqueles que lidam com os recursos experimentais aparentemente se aproximam com mais razoabilidade aos conceitos científicos.

9.3 Limitações dos Estudos e dos Instrumentos

Quanto à admissibilidade a objetos de aprendizagem e à representação teórico-empírica, houve um foco de investigação nos efeitos para a formação de técnicos e de engenheiros, no cerne da Educação Profissional Tecnológica, respeitando o caráter uno e complexo do caso. Embora não tenha sido foco, é possível entender o processo de uso da Teoria dos Registros de Representação Semiótica para avaliar contextos destituídos de recursos tecnológicos como programas de simulação e equipamentos mais robustos em laboratórios de Ciências. Adicionalmente, na Tese existiu a compreensão da tecnologia como elemento intrínseco entre a formação do conhecimento e sua aplicação, da necessidade de habilidades técnicas ao passo da dimensão profissional. Isto foi fundamental para o alcance analítico, embora vários processos de conversão e tratamento tenham sido realizados sem o contexto do domínio tecnológico.

Os princípios gerais sobre a apreensão significativa das particularidades do vocabulário e da imagem são de caráter generalista na formação do conhecimento, mas de percepção restrita na Tese quanto à natureza do público e dos recursos tecnológicos em seu ambiente natural. Em consequência, grupos com materiais didáticos diferentes, utilizando recursos tecnológicos (digitais e/ou analógicos) distintos, devem expor um raciocínio indutivo particular, em que é possível o surgimento de concepções não científicas e dificuldades aqui não referenciadas.

Há uma fiabilidade plausível quanto ao processo proposto na Tese, a administração das etapas e requisitos, a replicação na idealização dos tratamentos e conversões para as situações, do delineamento metodológico de procedimentos, coleta e análise dos dados. Testes podem ser reproduzidos a outros grupos semelhantes de sujeitos a partir das dificuldades e concepções elencadas. No entanto, especificidades devem ser verificadas a partir da escolarização do público (antes ou após a instrução formal, com ou sem atividades empíricas no currículo, nível fundamental, médio, médio integrado, curso técnico subsequente ao médio, superior), avaliando o perfil semiótico dos recursos, os materiais instrucionais, preservando o caráter complexo de cada caso.

Embora enfatizado o uso de programas de simulação digital, é essencial avaliar desdobramentos do modelo utilizado na interface de cada um. No caso do CCK/PhET, por exemplo, o modelo cinético para representar a corrente elétrica e o de segmentos de retas saindo de lâmpadas tipo bulbo para representar a potência. Não adentramos neste espectro, embora reconheçamos como fundamental. Pode haver evidentemente que o caráter discreto envidado pelo “salto dos elétrons” entre bandas de valência dos materiais, a representação da conversão elétrica-térmica/luminosa através de tamanhos de segmentos e reta provoque dificuldades de abstração em outros contextos.

Outro ponto que pode ser compreendido como limitação, mas que não foi tratado intencionalmente, se refere ao registro gráfico, potencial para análise da Lei de Ohm e com possíveis cenários didáticos a explorar na associação de

resistores. Este, porém, não foi admitido diretamente no trabalho em virtude da ampla possibilidade de exploração conceitual, no campo da extração de atributos de resultados experimentais, das possibilidades múltiplas de tratamentos e, principalmente, conversões, tornando ainda mais complexo e árduo o volume dos dados e se distanciando potencialmente do escopo tratado na Tese. Aproveitamos este aspecto para incluir a dificuldade da FACCE, nos moldes finais apresentados na Etapa 2, de ser aplicado a grandes grupos. Talvez seja razoável ampliar de maneira gradativa a organização da característica de cada uma das situações, reorganizando aquelas passíveis de abordagem através de itens (de fácil formatação por meio de questionário digital) ou cujo objetivo seja exclusivamente uma manifestação declarativa. Isto, sem perder de vista os ganhos das situações abertas e o contexto experimental físico, os quais permitiram analisar a interpretação e a produção dos sujeitos lançando mão de uma gama mais expressiva de registros e domínios tecnológicos.

9.4 Sugestões ao Currículo e Trabalhos Futuros

Em termos práticos, a pesquisa evidenciou dificuldades presentes na interface dos conhecimentos da Matemática com a Física no âmbito dos Circuitos Elétricos. Parte dos saberes se mostra inacabado em relação a estudos em séries anteriores, assim como se arrastam para níveis de escolarização mais avançados. Portanto, acredita-se que pode haver o desenvolvimento de um estudo integrado, o qual pode ser dividido em etapas. A primeira se dedicaria a avaliar a organização dos saberes algébricos em consonância com os conteúdos e competências almejados em cada nível de escolarização, propondo e avaliando as situações integradas ao estudo de tipologias de ligação entre resistores, no sentido do aprimoramento da aprendizagem conceitual. Para além das ligações em série e em paralelo, as transformações Δ -Y apresentam um forte conteúdo demonstrativo e de importante aplicação, assim como o estudo da Ponte de Wheatstone. Um segundo aspecto se trata da fundação de um estudo topológico sobre Circuitos Elétricos, que começaria antes ou em sintonia com o estudo das grandezas basilares e auxiliares, porém enfatizando as ligações, as particularidades da forma e do conteúdo de diagramas, ao passo das correlações

linguísticas. Parte disto pode ser construído juntamente com professores de Ciências, Física e de Engenharia, provendo os devidos afastamentos, invariantes de cada conceito (aqui foram observados alguns), possibilidades empíricas, dentre outros aspectos. A terceira perspectiva viria a contemplar o aspecto integrado do ponto de vista dos registros de representação (mono e multifuncionais, discursivos e não discursivos), incluindo, além do que foi foco de observação na Tese, também o registro gráfico com o estudo da Lei de Ohm e das Leis de Kirchhoff.

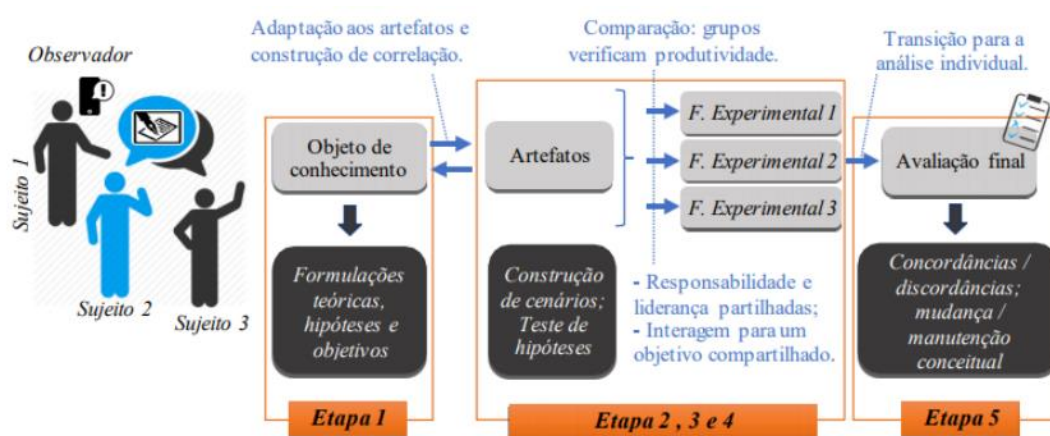
Outra vertente tem uma natureza curricular e pedagógica. Os resultados na Tese permitiram sugerir que a inclusão de conteúdos ou de disciplinas experimentais no início das disciplinas, dos cursos, pode ser um potencial instrumento para aperfeiçoar ou desenvolver a capacidade de interpretação dos sujeitos por influenciar aspectos cognitivos e ampliar o conjunto semiótico e material na aprendizagem. Esta hipótese pode ser avaliada sob a perspectiva das possibilidades construtivas por um conjunto de professores, de estudantes de licenciatura, na interação entre eles, admitindo o compartilhamento das diversas realidades acadêmico-profissionais. Da mesma forma, isto pode ocorrer observando a análise detalhada dos materiais utilizados pelos professores, pela forma de apresentação do conteúdo no livro didático (e/ou no livro técnico-científico) e pela variabilidade de tecnologias educacionais e profissionais. A avaliação desta conjuntura pode ser admitida no ambiente natural do estudante, ampliado a diversos grupos, e cujos resultados poderiam balizar a reestruturação de currículos. Alguns cursos técnicos na Rede Profissional de Educação Científica e Tecnológica, por exemplo, possuem disciplinas semestrais, outros anuais e, mais ainda, há um processo de reestruturação em certas instituições que devem reduzir a carga horária global dos cursos, de quatro para três anos. A percepção global dos resultados das ações sugeridas, poderia, portanto, auxiliar a forma de fusão de componentes curriculares, da correspondência temporal dos conteúdos técnicos com os da Matemática, além de reflexões sobre possíveis reestruturações de conteúdos experimentais.

Uma terceira e última sugestão de desenvolvimento expõe o caráter da Inovação tecnológica. A partir das reflexões construídas ao longo da tese, dos

objetivos alcançados, é possível delinear elementos de avaliação dinâmica dos recursos tecnológicos experimentais utilizados para aprendizagem sobre circuitos elétricos simples, recorrendo a concepção de novos, os quais incorporem operações de equivalência topológica e expressem a heterogeneia visual dos conceitos. Isto reconhece que o contexto educacional e científico deve compreender as relações dos materiais pedagógicos à disposição, outros novos, associados com os objetivos da prática profissional. Novas tecnologias surgem ou evoluem frequentemente, impulsionando a formatação de laboratórios didáticos, além de proverem novas funções e tipos de ferramentas, estreitando a construção de conceitos com a manipulação física e sua simulação. As tecnologias educacionais apontam caminhos de conhecimento aos sujeitos que, sob concepção e uso adequado, podem expandir e potencializar aprendizagens.

Uma linha potencial, a qual exhibe contributos a partir dos resultados da Tese, se trata de oferecer aos discentes a vivência de uma abordagem de ensino voltada para a concepção e aplicação de um *design* colaborativo e ativo com uso de diferentes artefatos e representações (Florêncio *et al.*, 2019). O *design* foi desenvolvido no contexto da análise de circuitos resistivos simples em corrente alternada, aplicado a estudantes de Engenharia Elétrica. Ele proporcionou interação e integração entre estudantes na construção de circuitos com vários recursos no domínio tecnológico. Promoveram-se variações de arranjos de artefatos (resistores, lâmpadas, fontes) em fases teórico-experimentais (Figura 123).

Figura 123 - Características de um design metodológico colaborativo e ativo.



Fonte: Florêncio *et al.*, (2019, p.5).

Os resultados revelaram que os alunos são capazes de desenvolver e repensar suas ideias a partir da estruturação de configurações empíricas subsidiadas por artefatos de laboratório. A estruturação proposta tornou permissível diálogo argumentativo e discussão com partilha espontânea de responsabilidades. Comparado a procedimentos de aula convencionais, aparentemente os alunos atingem de maneira mais equilibrada as concepções científicas na análise de Circuitos Elétricos. Percebeu-se, contudo, a resiliência de algumas concepções não científicas, certificando dados nacionais e internacionais encontrados na literatura. A proposta se expõe como um balizador plausível, no entanto, novas configurações devem prever a prospecção de cenários que envidem explorações analíticas. Foi apontado, ainda, que o design colaborativo e ativo poderia incorporar a participação de um especialista ativo no grupo, algo a se avaliar.

Por fim, apenas profere-se destaque que à evolução no processo de codificação de informações a partir dos registros de representação, o qual expõe um enriquecimento à aprendizagem. No cenário ideal, uma vez superados obstáculos preliminares, a produção de uma representação semiótica (*semiósis*) e a apreensão conceitual do objeto (*noésis*), reconhecida a diversidade simbólica e o conteúdo experimental e profissional que atinge a teoria de Circuitos Elétricos, convergiria para um *ávit* do ato de abstração. Indicaria, nuclearmente, o domínio das situações de conversão interna e externa, em que o sujeito compilaria generalizações e leis que governam as relações de transformação e a interpretação de um objeto, com argumentações robustas e de caráter científico. A Tese, portanto, auxilia no entendimento desta trajetória, dos construtos que se inserem do estudo de ligações e da associação de resistores na Teoria de Circuitos Elétricos uma vez que na literatura prevalecem abordagens em torno dos conceitos Tensão, Corrente e Resistência Elétrica, sendo que este último, juntamente com as definições subjacentes vinculadas à estrutura dos circuitos, aparece em menor frequência e com foco distinto deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ABEGG, I.; RAMOS, D. B. Investigação de ferramentas e métodos de ensino de circuitos de corrente alternada para curso introdutório de eletrotécnica. **Revista Dynamis**, v. 19, n. 1, p. 30-42, 2013.
- ABEL, J. **Students' conceptual modeling of simple DC electric circuits during computer-based instruction**. Tese de Doutorado. Virginia Polytechnic Institute. 1995. Disponível em: <https://vtechworks.lib.vt.edu/handle/10919/38370>. 20 dez. 2017.
- AFRA, N. C.; OSTA, I.; ZOUBEIR, W. Students' alternative conceptions about electricity and effect of inquiry-based teaching strategies. **International journal of science and mathematics education**, v. 7, n. 1, p. 103-132, 2009.
- ALEXANDER, C. K.; SADIKU, M. N. O. **Fundamentos de circuitos elétricos**. AMGH Editora, 2013. ISBN-13: 978-8580551723.
- ANDRADE, F. A. L. *et al.* Recorrência de concepções alternativas sobre corrente elétrica em circuitos simples. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 40, n. 3, 2018.
- ANDRADE, M. E.; BUFFON, L. O.; JUNIOR, A. S. O uso de um software de simulações para a aprendizagem de circuitos elétricos simples: uma abordagem a partir do ensino por investigação. **Revista do Professor de Física**, v. 2, n. 2, 2018. Disponível em: <http://periodicos.unb.br/index.php/rpf/article/download/12078/10589>. 27 jun. 2019.
- ANDRE, T.; DING, P. Student misconceptions, declarative knowledge, stimulus conditions, and problem solving in basic electricity. **Contemporary Educational Psychology**, v. 16, n. 4, p. 303-313, 1991.
- ANDRÉ, M. O que é um estudo de caso qualitativo em educação? **Revista da FAEEBA-Educação e Contemporaneidade**, v. 22, n. 40, p. 95-103, 2019.
- ARONS, A. Phenomenology and Logical Reasoning in Introductory Physics Courses. **American Journal of Physics**, v. 50, n. 1, p. 13-20, 1982. Disponível em: <https://aapt.scitation.org/doi/pdf/10.1119/1.13012> . 15 set. 2019.
- ASSIS, A. K. T. **Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade**. Montreal: Apeiron. V.2, 2018.
- ATES, S. The effects of learning cycle on college students' understanding of different aspects in resistive DC circuits. **Electronic Journal of Science Education**, v. 9, n. 4, 2005. Disponível em: <http://ejse.southwestern.edu/article/view/7737>. 10 dez. 2019.

AVILÉS-CRUZ, C.; VILLEGAS-CORTEZ, J. A smartphone-based augmented reality system for university students for learning digital electronics. **Computer Applications in Engineering Education**, v. 27, n. 3, p. 615-630, 2019.

AZEVEDO, W. V. S.; GITIRANA, V. **Dificuldades geométricas e topológicas de estudantes em circuitos resistivos: Problema da física e/ou da matemática?** In: Encontro Nacional de Didática da Geometria e das Grandezas e Medidas (EnDiGGraM), Recife. Anais - EnDiGGraM, 2016.

AZEVEDO, W. V. S.; GITIRANA, V. **Construindo conhecimento sobre circuitos elétricos: As representações semióticas e novos referenciais sobre dificuldades de aprendizagem.** In: Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE), Joinville. Anais - COBENGE, 2017a.

AZEVEDO, W. V. S.; GITIRANA, V. **Construindo conhecimento sobre circuitos elétricos: tratamento, conversão e concepções intuitivas na resolução de situações-problema.** In: Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE), Joinville. Anais - COBENGE, 2017b.

BACHELARD, G. **O novo Espírito Científico**, Edições. 1934.

BACHELARD, G. **A formação do Espírito Científico**: contribuição para uma psicanálise do conhecimento. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996. Disponível em: http://www.academia.edu/download/60972070/2_Bachelard-A_Formacao_do_espiritocientifico199620191021-77167-6jzyee.pdf. 10 dez. 2019

BARDIN, L. **Análise de conteúdo** (L. de A. Rego & A. Pinheiro, Trans.), 2006. Lisboa: Edições 70. (Obra original publicada em 1977).

BARRETO FILHO, B.; XAVIER, C. **Física aula por aula: eletromagnetismo, ondulatória e física moderna**, 3ª Edição. São Paulo: FTD, 2016. ISBN 978859600319-3.

BILAL, E.; EROL, M. Investigating students' conceptions of some electricity concepts. **Latin-American Journal of Physics Education**, v. 3, n. 2, p. 1, 2009.

BISWAS, G.; SCHWARTZ, D.; BHUVA, B.; BROPHY, S.; BALAC, T.; KATZLBERGER, T. **Analysis of student understanding of basic AC concepts.** Vanderbilt University Nashville Learning Technology Center, 1998. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/235036090_Analysis_of_Student_Understanding_of_Basic_AC_Concepts. Acesso em 10 dez. 2019.

BISWAS, G.; SCHWARTZ, D. L.; BHUVA, B.; BRANSFORD, J.; HOLTON, D.; VERMA, A.; PFAFFMAN, J. **Assessing problem solving skills in understanding and troubleshooting AC circuits.** Vanderbilt University Nashville - Sponsored Research (v.298), 2001. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/>

235170030 Assessing Problem Solving Skills in Understanding and Troubleshooting AC Circuits. Acesso em: 10 dez. 2019.

BOYLESTAD, R. L. **Introductory circuit analysis**. Pearson Education, 11th edition, 2010. ISBN 0-13-173044-4.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. **Base Nacional Comum Curricular**. MEC, Brasília, 2018.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio**. Brasília: MEC, Brasília, 1999.

BRASIL. **Pcn+ ensino médio: orientações educacionais complementares aos parâmetros curriculares nacionais**. *Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias*. Brasília: MEC, 2002.

BRASIL. **Lei Federal Nº 11.892**, de 29 de dezembro de 2008.

BRNA, P. Confronting misconceptions in the domain of simple electrical circuits. **Instructional Science**, v. 17, n. 1, p. 29-55, 1988.

BURYIAN Jr. Y; LYRA, A. C. C. **Circuitos Elétricos**. Editora Pearson, 2013.

CARLSEN, D. D. (1989). **Overcoming student preconceptions about simple series circuits: promoting conceptual change with text manipulations and a microcomputer simulation**. Dissertação de Doutorado. Iowa State University. Iowa, 1989. Disponível em: <https://lib.dr.iastate.edu/rtd/9111/>. Acesso em: 20 set. 2017.

CAREGNATO, R. C. A.; MUTTI, R. Pesquisa qualitativa: análise de discurso versus análise de conteúdo. **Texto contexto enfermagem**, v. 15, n. 4, p. 679-84, 2006. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_issuetoc&pid=0104-070720060004&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 21 fev. 2019.

COSTA, G. G. G.; CATUNDA, T. **Investigação das dificuldades conceituais dos estudantes sobre circuitos elétricos**. Encontro de Pesquisa em Ensino em Física, 2008. Disponível em: <http://www.cienciamao.usp.br/dados/epef/investigacaodasdificulda.trabalho.pdf>. Acesso em: 18 mai. 2018.

COSTA, M. J. N.; RIBEIRO, J. W.; GÓES, U. T. T.; DE LIMA, L.; SOUZA, R. D. Desenvolvimento da Aprendizagem Significativa de Eletricidade com o Auxílio Pedagógico de Simulação Computacional de Circuitos de Resistores Elétricos. **In: Anais do Workshop de Informática na Escola**. 2013. pp. 110-119.

DARLING, W. H.; BOCK Jr., L. **Electro-Magnetic Motor**. U.S. Patent n. 354.357, fev. 1887.

DE ANDRADE, F. A. L. D.; BARBOSA, G. F.; SILVEIRA, F. L. D.; SANTOS, C. A. D. Recurrency of alternative conceptions about electrical current in simple circuits. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 40, n. 3, 2018.

DE PÁDUA, E. M. M. Análise de conteúdo, análise de discurso: questões teórico-metodológicas. **Revista de Educação PUC-Campinas**, n. 13, 2012. Disponível em: <https://seer.sis.puc-campinas.edu.br/seer/index.php/reveducacao/article/view/316>. Acesso em: 13 jun. 2017.

DESPORTES, K., ANUPAM, A., PATHAK, N., & DiSALVO, B. Circuit diagrams vs. physical circuits: The effect of representational forms during assessment. In: **2016 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)**. IEEE, 2016. p. 1-9. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7757381/>. Acesso em: 15 dez. 2018.

DEWEY, M. W. **Method of Electric Refrigeration**. U.S. Patent n. 413.136, out. 1889.

DORF, R. C.; SVOBODA, J. A. **Introduction to Electric Circuits**. LTC – 7ª ed., 2008. ISBN-13: 978-0471386896.

DORNELES, P. F. T. **Investigação de ganhos na aprendizagem de conceitos físicos envolvidos em circuitos elétricos por usuários da ferramenta computacional Modellus**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Física (UFRGS), Porto Alegre, 2005.

DORNELES, P. F. T.; ARAÚJO, I. S.; VEIT, E. A. Simulação e Modelagem computacionais no auxílio à aprendizagem significativa de conceitos básicos de eletricidade: Parte I - Circuitos elétricos simples. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 4, p. 487-496, 2006.

DORNELES, P. F. T.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. **A integração entre atividades computacionais e experimentais: um estudo exploratório no ensino de circuitos CC e CA em física geral**. Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, v. 6, 2007.

DUIT, R.; VON RHÖNECK, C. Learning and understanding key concepts of electricity. **Connecting research in physics education with teacher education**, p.1-6, 1997. Disponível em: http://kdflls1.troja.mff.cuni.cz/publications/teach1/ConnectingResInPhysEducWithTeacherEduc_Vol_1.pdf#page=50. Acesso em: 22 nov. 2017.

DUVAL, R. **Registres de représentation sémiotique et fonctionnement cognitif de la pensée**. In: Annales de didactique et de sciences cognitives. p. 37-65, 1993.

DUVAL, R. A cognitive analysis of problems of comprehension in a learning of mathematics. **Educational Studies in Mathematics**, v. 61, n. 1-2, p. 103-131,

2006. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10649-006-0400-z>. Acesso em: 16 jun. 2018.

DUVAL, R. (1999). Representation, Vision and Visualization: Cognitive Functions in Mathematical Thinking. Basic Issues for Learning.

DUVAL, R. **Semiósis e pensamento humano**: registros semióticos e aprendizagens intelectuais. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2009. ISBN 9788578610357.

DUVAL, R.; MORETTI, M. T. Registros de representação semiótica e funcionamento cognitivo do pensamento. Trad. *Registres de représentation sémiotique et fonctionnement cognitif de la pensée*. **Revemat: Revista Eletrônica de Educação Matemática**, v. 7, n. 2, p. 266-297, 2012.

EDISON, T. A. **System of Electrical Distribution**. U.S. Patent n.274.290, mar. 1883.

EIRAS, W. C. S. **Atividades Demonstrativas no Ensino de Física. IX Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física**. Simpósio nacional de Ensino de Física, 2005. Disponível em: <http://www.cienciamao.usp.br/dados/epef/atividadesdemonstrativas.trabalho.pdf>. Acesso em: 09 out. 2017.

ENGELHARDT, P. V. **Examining students' understanding of electrical circuits through multiple-choice testing and interviews**. Tese de Doutorado, North Carolina State University, 1997. Disponível em: <https://projects.ncsu.edu/PER/Articles/EngelhardtDissertation.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2017.

ENGELHARDT, P. V.; BEICHNER, R. J. Students' understanding of direct current resistive electrical circuits. **American Journal of Physics**, v. 72, n. 1, p. 98-115, 2004. Disponível em: <https://aapt.scitation.org/doi/abs/10.1119/1.1614813>. Acesso em: 13 jun. 2017.

FAOUR, M.A.; AYOUBI, Z. The effect of using virtual laboratory on grade 10 students' conceptual understanding and their attitudes towards physics. **Journal of Education in Science, Environment and Health (JESEH)**, v.4, n.1, pp. 54-68. 2017. DOI:10.21891/jeseh.387482. Disponível em: <https://www.jeseh.net/index.php/jeseh/article/viewFile/131/51>. Acesso em: 23 nov. 2019.

FARIAS, R. J. C.; OLIVEIRA, A.L.; JUNIOR, H. A. **Análise de aprendizagem com o uso dos softwares pspace e matlab na disciplina de circuitos elétricos do curso de engenharia elétrica da UnB**. In: Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE), Juiz de Fora, 2014.

FERNANDES, M. B., HARTMANN, Â. M., DORNELES, P. F. T. A física no ensino médio integrado: uma sequência didática sobre eletricidade com

aplicação do arduíno. **Revista Brasileira de Física Tecnológica Aplicada**, v. 1, n. 2, 2014.

FINKELSTEIN, N. D. *et al.* When learning about the real world is better done virtually: A study of substituting computer simulations for laboratory equipment. **Physical review special topics-physics education research**, v. 1, n. 1, p. 010103, 2005.

FLORÊNCIO, M. E. M.; PAZ, E. M.; SILVA JÚNIOR, C. M.; AZEVÊDO, W. V. S.; GITIRANA, V. **Superação de Concepções Alternativas sobre Circuitos Elétricos: Uma Análise da Vivência com uma Abordagem Ativa e Diferentes Recursos**. In: Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE), Fortaleza, 2019.

FRAGA, J. R. C. P.; CASTRO, M.C. **Aprimoramento no Ensino de Circuitos Elétricos Utilizando Programas de Simulação**. In: Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE), Brasília, 2014.

FRANZONI, G. **Múltiplas Representações Aplicadas na Aprendizagem de Circuitos Elétricos**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Educação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/131055>. Acesso em: 27 abr. 2019.

FRANZONI, G.; LABURÚ, C. E.; DA SILVA, O. H. M. **O Desenho como Mediador entre a Mudança Representacional do Experimento e Esquemas Aplicado na Aprendizagem de Circuitos Elétricos**. In: II Simpósio Nacional de Ensino de Ciência e Tecnologia (SINECT), Ponta Grossa, 2010.

FREIESLEBEN, F. B. **Construção de conhecimento na área tecnológica: estudo de casos múltiplos com a temática circuitos elétricos**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática - Universidade Estadual de Londrina, 2010. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/131055>. Acesso em: 11 ago. 2018.

GAIGHER, E. Questions about answers: probing teachers' awareness and planned remediation of learners' misconceptions about electric circuits. **African Journal of Research in Mathematics, Science and Technology Education**, v. 18, n. 2, p. 176-187, 2014. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10288457.2014.925268>. Acesso em: 17 ago. 2018.

GASPAR, A. **Compreendendo a Física 3 - Eletromagnetismo e Física Moderna**. Editora Ática, 2013. ISBN 978850816367-0.

GODOY, A. S. **Pesquisa qualitativa: tipos fundamentais**. Revista de Administração de empresas, v. 35, n. 3, p. 20-29, 1995. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rae/v35n3/a04v35n3.pdf>. Acesso em: 09 set. 2017.

GONÇALVES FILHO, A.; TOSCANO, C. **Física 3 Interação e Tecnologia**. Editora Leya. Volume 3, 2016. ISBN 978-85-451-0354-7.

GORIS, T. V. Common Misunderstandings of Electricity: Analysis of Interview-Responses of Electrical Engineering Technology Students. **International Journal of Engineering Pedagogy (iJEP)**, v. 6, n. 1, p. 4-10, 2016.

GOUVEIA, A. A. **Dificuldades de aprendizagem conceitual em circuitos elétricos reveladas por meio de desenhos**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática - Universidade Estadual de Londrina (UEL), 2007. Disponível em: <https://www.cedoc.fe.unicamp.br/banco-de-teses?page=290#36071>. Acesso em: 08 mai. 2019.

GRAVINA, M. H.; BUCHWEITZ, B. Mudanças nas concepções alternativas de estudantes relacionadas com eletricidade. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. V. 16, n. 1/4 (1994), p. 110-119, 1994. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/116895>. Acesso em: 10 mai. 2018.

GUALTER, J. B.; NEWTON, V. B.; RICARDO, H. C. **Física 3: Eletricidade e Física Moderna**. Editora Saraiva. Edição 3, 2016. ISBN 978854720563-8.

GUPTA, M. S. Georg Simon Ohm and Ohm's Law. **IEEE Transactions on Education**, v. 23, n. 3, p. 156-162, 1980. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Madhu_Gupta22/publication/3052303_Georg_Simon_Ohm_and_Ohm's_Law/links/5becd0db92851c6b27bf6ace/Georg-Simon-Ohm-and-Ohm's-Law.pdf. Acesso em: 15 set. 2017.

HÄRTEL, H. The electric circuit as a system. **Aspects of understanding electricity**, p. 343-352, 1985.

INEP. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais. **Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM)**. Brasília: MEC/INEP, 2017.

JAAKKOLA, T.; NURMI, S.; VEERMANS, K. A comparison of students' conceptual understanding of electric circuits in simulation only and simulation-laboratory contexts. **Journal of research in science teaching**, v. 48, n. 1, p. 71-93, 2011.

JEFFRIES, T. I. **Protective device for electric circuits**. U.S. Patent n. 863.185, ago. 1907.

KARAPETOFF, V. **The Electric Circuit**. McGraw-Hill Book Company, 1912. ISBN-13: 978-1377927831.

KIRCHHOFF, G. LXIV. On a deduction of Ohm's laws, in connection with the theory of electro-statics. **The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science**, v. 37, n. 252, p. 463-468, 1850.

KIRCHHOFF, G. LIV. On the motion of electricity in wires. **The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science**, v. 13, n. 88, p. 393-412, 1857.

KELLY, P. F. **Electricity and Magnetism**. CRC Press, 2014. ISBN 9781482206357.

KIPNIS, N. A law of physics in the classroom: The case of Ohm's law. **Science & Education**, v. 18, n. 3-4, p. 349, 2009.

KOLLÖFFEL, B.; DE JONG, T. Conceptual understanding of electrical circuits in secondary vocational engineering education: Combining traditional instruction with inquiry learning in a virtual lab. **Journal of engineering education**, v. 102, n. 3, p. 375-393, 2013. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jee.20022>. Acesso em: 05 abr. 2018.

KORGANCI, N.; MIRON, C.; DAFINEI, A.; ANTOHE, S. The importance of inquiry-based learning on electric circuit models for conceptual understanding. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 191, pp. 2463-2468, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042815027901>. Acesso em: 23 out. 2018.

KÜÇÜKÖZER, H.; DEMIRCI, N. Pre-Service and In-Service Physics Teachers' Ideas about Simple Electric Circuits. **Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education**, v. 4, n. 3, 2008.

LABURÚ, C. E.; GOUVEIA, A. A.; BARROS, M. A. Estudo de circuitos elétricos por meio de desenhos dos alunos: Uma estratégia pedagógica para explicitar as dificuldades conceituais. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 26, n. 1, p. 24-47, 2009. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/10493>. Acesso em: 08 dez. 2017.

LENIZ, A.; ZUZA, K.; SARRIUGARTE, P.; GUIASOLA, J. University students' explanations for electric current in transitory situations. **European Journal of Physics**, v. 41, n. 1, p. 01-11, 2020.

LI, J.; SINGH, C. Students' common difficulties and approaches while solving conceptual problems with non-identical light bulbs in series and parallel. **European Journal of Physics**, v. 37, n. 6, p. 065708, 2016. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0143-0807/37/6/065708/meta>. Acesso em: 14 dez. 2017.

LOPES, R. P. *et al.* **Experimentação real e virtual de circuitos elétricos simples como ferramenta mediadora no processo de aprendizagem de Física**. Simpósio Nacional de Ensino de Física, v. 18, p. 1-9, 2009. Disponível

em: <http://www.academia.edu/download/61361171/t0177-2.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2018.

MACÊDO, J. A. D.; DICKMAN, A. G. **Simulações computacionais como ferramentas auxiliares ao ensino de conceitos básicos de eletricidade**. Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF), v. 18, n. 1-12, 2009.

MARKS, J. B. **Understanding key concepts of electric circuits: Students' use of mental models**. Tese de Doutorado. University of York, 2012. Disponível em: <http://etheses.whiterose.ac.uk/id/eprint/3938>. Acesso em: 02 jul. 2018.

MARLI, A. O que é um estudo de caso qualitativo em educação? **Revista da FAEEBA-Educação e Contemporaneidade**, v. 22, n. 40, 2013. Disponível em: <http://www.revistas.uneb.br/index.php/faeeba/article/view/7441>. Acesso em: 08 fev. 2018.

MARSHALL, J. Students' creation and interpretation of circuit diagrams. **Electronic Journal of Science Education**, v. 12, n. 2, 2008. Disponível em: <http://ejse.southwestern.edu/article/view/7775>. Acesso em: 07 fev. 2018.

MCDERMOTT, L. C.; SHAFFER, P. S. Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. Part I: Investigation of student understanding. **American journal of physics**, v. 60, n. 11, p. 994-1003, 1992. Disponível em: <https://aapt.scitation.org/doi/abs/10.1119/1.17003>. Acesso em: 08 fev. 2018.

MEIRELES, V. C.; **Circuitos Elétricos**. Editora LTC, 2007. ISBN-13: 978-8521615699.

MESTRE, J. Hispanic and Anglo Students' Misconceptions in Mathematics. **ERIC Digest**. 1989. Disponível em: <https://eric.ed.gov/?id=ED313192>. Acesso em: 05 nov. 2018.

MÉTIOUI, A. **The persistence of students' unfounded beliefs about electrical circuits: The case of Kirchhoff's laws**. In: 4th International Conference on Education and New Learning Technologies, Barcelonan, Spain. 2012.

MOODLEY, K.; GAIGHER, E. Teaching electric circuits: Teachers' perceptions and learners' misconceptions. **Research in Science Education**, v. 49, n. 1, p. 73-89, 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11165-017-9615-5>. Acesso em: 10 abr. 2020.

MORRISON, J. A.; LEDERMAN, N. G. Science teachers' diagnosis and understanding of students' preconceptions. **Science education**, v. 87, n. 6, p. 849-867, 2003. Disponível em:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/sce.10092>. Acesso em: 28 abr. 2018.

NAHVI, M.; EDMINISTER, J. A. **Circuitos Elétricos**. Bookman Editora, 2014. ISBN-13: 978-8582602034.

NICOLAU, G. F.; TOLEDO, P. S.; RAMALHO, F. J. **Os fundamentos da física. eletricidade, introdução à física moderna e análise dimensional - Volume 3**. Editora Moderna, 2009. ISBN 978851606336-8.

NIEDDERER, H.; GOLDBERG, F. Lernprozesse beim elektrischen Stromkreis. **Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften**, v. 1, n. 1, p. 73-86, 1995. Disponível em: <http://didaktik.physik.uni-bremen.de/pubs/Niedderer/1995-ZfDN-NiGo.pdf>. Acesso em: 03 mai. 2018.

NILSSON, J. W.; RIEDEL, S. A. **Circuitos elétricos**. Editora Pearson, 2014. ISBN-13: 978-8543004785.

NORONHA, R. V. **Ferramenta de autoria e ensino de perícias em circuitos elétricos**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. 2001.

ÖNDER, Fatih; SENYIGIT, Çigdem; SILAY, Ilhan. The Effects of Misconceptions on Pre-Service Teachers' Ability to Constructing Simple Electric Circuits. **European Journal of Physics Education**, v. 8, n. 1, p. 1-10, 2017.

OLIVEIRA, VANDERLI F. *et al.* A Engenharia e as Novas DCNs: Oportunidades para Formar mais e Melhores Engenheiros. LTC/GEN, 2019.

OHM, G. S. **Die galvanische Kette, mathematisch bearbeitet**. TH Riemann, 1827. ISBN-13: 444-4006885340.

OUHROUCHE, M. **Circuits électriques: méthodes d'analyse et applications**. Presses inter Polytechnique, 2008. ISBN 978255301422-2.

PACCA, J. L.; FUKUI, A.; BUENO, M. C. F.; COSTA, R. H. P.; VALÉRIO, R. M.; MANCINI, S. Corrente elétrica e circuito elétrico: algumas concepções do senso comum. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 20, n. 2, p. 151-167, 2003.

PERKINS, K.; ADAMS, W.; DUBSON, M.; FINKELSTEIN, N.; REID, S.; WIEMAN, C.; LEMASTER, R. PhET: Interactive simulations for teaching and learning physics. **The Physics Teacher**, v. 44, n. 1, p. 18-23, 2006. Disponível em: <https://aapt.scitation.org/doi/abs/10.1119/1.2150754>. Acesso em: 04 mar. 2018.

PEŞMAN, H. **Development of a three-tier test to assess ninth grade students' misconceptions about simple electric circuits**. Master's thesis,

Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 2005. Disponível em: <https://etd.lib.metu.edu.tr/upload/12606625/index.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2019.

PEŞMAN, H.; ERYILMAZ, A. Development of a three-tier test to assess misconceptions about simple electric circuits. **The Journal of educational research**, v. 103, n. 3, p. 208-222, 2010. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00220670903383002>. Acesso em: 20 mar. 2019.

PIETROCOLA, M.; POGIBIN, A.; DE ANDRADE, R.; ROMERO, T. R. **Física em Contextos 3: Ensino Médio**. São Paulo: Editora do Brasil S.A., 2016. ISBN: 978851006265-7.

PITTERSON, N. P.; STREVELER, R. A. **Teaching and learning complex circuit concepts: An investigation of the intersection of prior knowledge, learning activities, and design of learning environments**. In: ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings. 2016. Disponível em: <https://peer.asee.org/26018.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2019.

POTTER, C. W. **Limiting device for electric circuits**. U.S. Patent n. 754.496, mar. 1904.

PRAMESTI, Y. S.; SETYOWIDODO, I. Students' mental model in electric current. In: **Journal of Physics: Conference Series**. IOP Publishing, 2018. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1013/1/012024/meta>. Acesso em: 06 dez. 2019.

RAMNARAIN, U.; MOOSA, S. The use of simulations in correcting electricity misconceptions of grade 10 south African physical sciences learners. **International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education** (formerly CAL-laborate International), v. 25, n. 5, 2017.

RIBAS, A. S.; DA SILVA, S. C. R.; GALVÃO, J. R. **Utilizando tecnologias cotidianas e de baixo custo para ensinar a 2ª lei de Ohm**. In: Simpósio Nacional de Ensino de Ciência e Tecnologia, Ponta Grossa, 2010. Disponível em: <http://www.sinect.com.br/anais2010/artigos/EF/95.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2018.

SADIKU, M. N.; ALEXANDER, C. K.; MUSA, S. **Análise de circuitos elétricos com aplicações**. AMGH Editora, 2014. ISBN 978858055303-1.

SANTOS, J. C. D.; DICKMAN, A. G. Experimentos reais e virtuais: proposta para o ensino de eletricidade no nível médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 41, n. 1, 2019.

SALVADOR, A. I. N. **O Ensino e a Aprendizagem dos Circuitos Elétricos: utilização de Analogias e da Resolução de Problemas**. Tese de Doutorado.

Universidade de Coimbra. 2017. Disponível em: <https://estudogeral.uc.pt/handle/10316/32627>. Acesso em: 17 mai. 2020.

SCARLATOS, L. L.; PRATMA, A.; TCHOUBAR, T. The Virtual Breadboard: Helping Students to Learn Electrical Engineering at a Distance. **Future Technologies Proceedings**. Vancouver, Canada, 2017. Disponível em: https://saiconference.com/Downloads/FTC2017/Proceedings/85_Paper_272-The_Virtual_Breadboard_Helping_Students.pdf. Acesso em: 11 out. 2019.

SENCAR, S.; YILMAZ, E. E.; ERYILMAZ, A. High school students' misconceptions about simple electric circuits. **Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi**, v. 21, n. 21, 2001. Disponível em: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/87978>.

SHAFFER, P. S.; MCDERMOTT, L. C. Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. Part II: Design of instructional strategies. **American Journal of Physics**, v. 60, n. 11, p. 1003-1013, 1992. Disponível em: <https://aapt.scitation.org/doi/abs/10.1119/1.16979>.

SHIPSTONE, D. M. A Study of Children's Understanding of Electricity in Simple DC Circuits. **European Journal of Science Education**, v. 6, n. 2, p. 185-198, 1984.

SHIPSTONE, D. M. On children's use of conceptual models in reasoning about current electricity. **Aspect of Understanding Electricity**, p. 73-83, 1985.

SINGH, G. *et al.* Evaluating the impact of the augmented reality learning environment on electronics laboratory skills of engineering students. **Computer Applications in Engineering Education**, v. 27, n. 6, p. 1361-1375, 2019.

SMAILL, C. R.; ROWE, G. B.; GODFREY, E.; PATON, R. O. An investigation into the understanding and skills of first-year electrical engineering students. **IEEE Transactions on Education**, v. 55, n. 1, p. 29-35, 2011. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5722055/>. Acesso em: 02 jan. 2018.

STOCKLMAYER, S. M.; Treagust, D. F. Images of electricity: How do novices and experts model electric current?. **International Journal of Science Education**, v. 18, n. 2, p. 163-178, 1996.

TEMBREVILLA, G.; MILNER-BOLOTIN, M.; PETRINA, S. Electric fluid to electric current: The problematic attempts of abstraction to concretization. P. 1-7, 2019. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1910.02762>. Acesso em: 08 jun. 2020.

THOMSON, W. On the measurement of electrical resistivity. In: **Proceedings of the Royal Society of London**. p. 313-328, 1861.

TORRES, C. M. A.; FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. T.; PENTEADO, P. C. **M. Física: Ciência e Tecnologia**. 4ª Edição, Volume: 3, São Paulo: Editora Moderna, 2016.

TORMA, E. S. **Sequência investigativa em circuitos elétricos no ensino médio**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Ensino de Física, Instituto de Matemática, Estatística e Física (IMEF) - Fundação Universidade do Rio Grande (FURG), Rio Grande, 2015. Disponível em: https://mnpefprg.furg.br/images/Dissertacao_2013/Produto-Educacional_Diss-Edilson_Torma.pdf. Acesso em: 06 out. 2018.

TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Atlas, 1987. ISBN-13: 978-8522402731.

TURGUT, Ü.; GÜRBÜZ, F.; TURGUT, G. An investigation 10th grade students' misconceptions about electric current. **Procedia Social and Behavioral Sciences**, v. 15, p. 1965-1971, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042811005829>. Acesso em: 12 abr. 2019.

VIEIRA, J. S.; QUILLFELDT, J. A.; SELISTRE, L. F.; RIOS, L.H.R.; SCHMITZ, S.R. M. H.; STEFFANI, V. Conservação de corrente elétrica num circuito elementar: O que os alunos pensam a respeito? **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 3, n. 1, p. 12-16, 1986. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/download/7933/7299>. Acesso em: 20 mar. 2019.

WHEATSTONE, C. An account of several new instruments and processes for determining the constants of a voltaic circuit. In: **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**. London: The Royal Society, 1843. p. 469-471.

WIDODO, W.; ROSDIANA, L.; FAUZIAH, A. M. Revealing Student's Multiple-Misconception on Electric Circuits. In: **Journal of Physics: Conference Series**. IOP Publishing, 2018. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1108/1/012088/meta> . Acesso em: 15 jun. 2020.

YIN, ROBERT, K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Porto Alegre. Bookman, 2001. ISBN 857307852-9.

YORKE, R. **Electric circuit theory: Applied electricity and electronics**. Elsevier, 2013. ISBN: 978008026133-1.

APÊNDICE A - FACCE

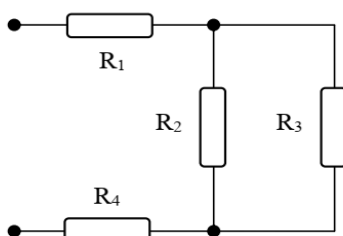
Ferramenta para Análise de Concepções em Circuitos Elétricos

I. Situações-problema do Primeiro Estudo

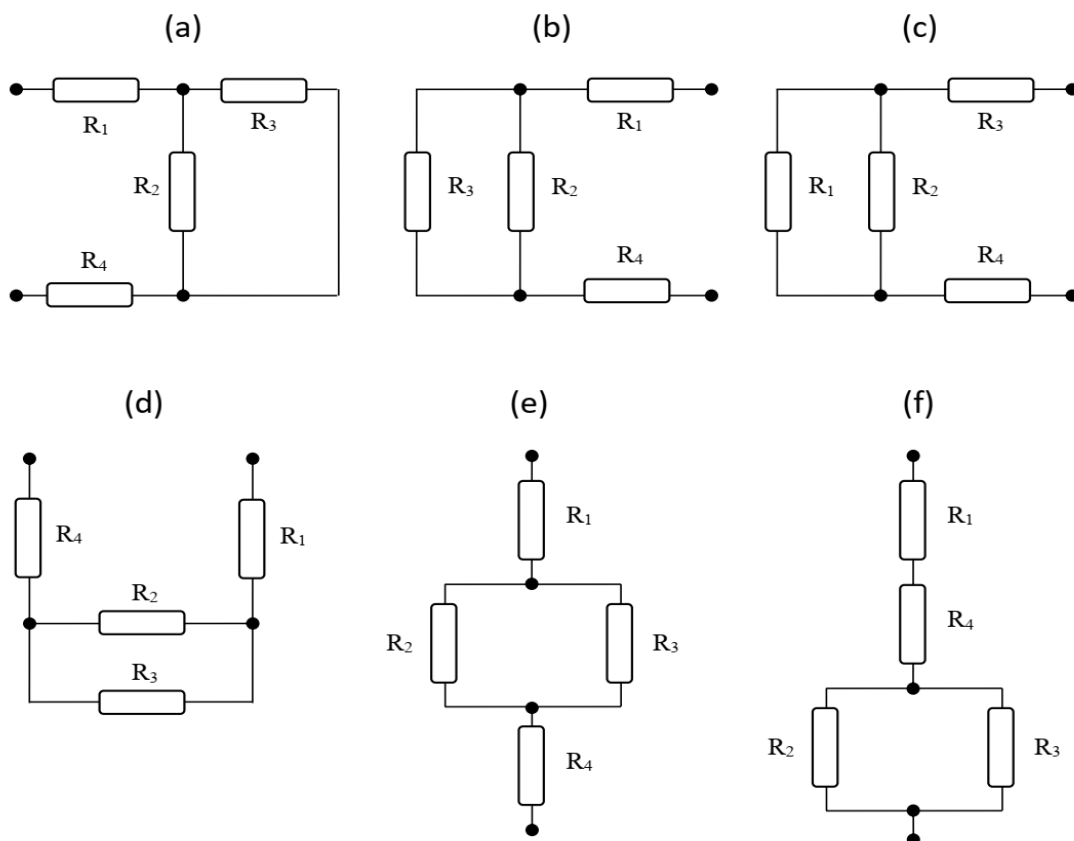
Situação Conceitual 1 – Em sua interpretação, o que significa dizer que “resistores se encontram em série em um circuito”? Se possível, exemplifique sua resposta.

Situação Conceitual 2 – Em sua interpretação, o que significa dizer que “resistores se encontram em paralelo em um circuito”? Se possível, exemplifique sua resposta.

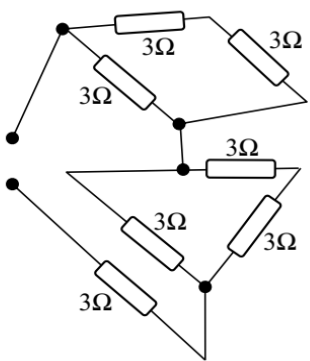
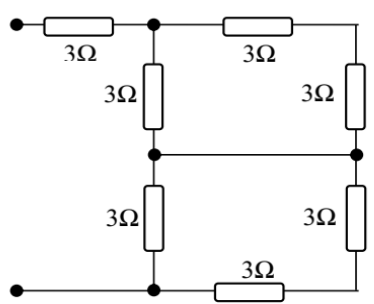
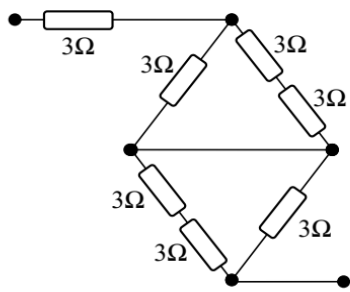
Situação 1 - Considere a topologia de circuito elétrico apresentada abaixo, formada por resistores.



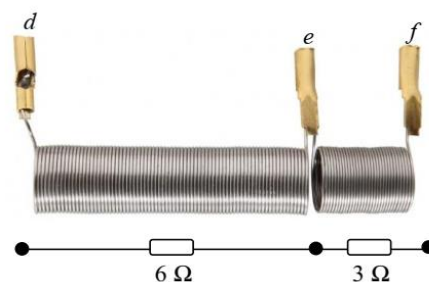
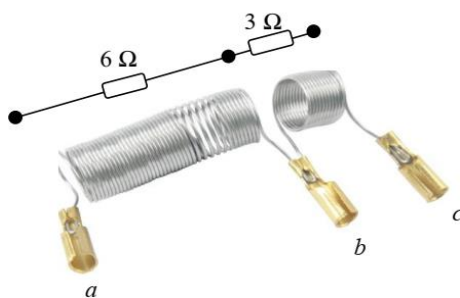
Assinale a seguir a(s) alternativa(s) que **NÃO** representa(m) um circuito cuja resistência equivalente, vista dos terminais em aberto, é igual a do circuito anterior.



Situação 2 – Determine a resistência equivalente em cada um dos circuitos apresentados.

Item	Circuito	Resposta
(a)		
(b)		
(c)		

Situação 3 - Considere os dois resistores elétricos apresentados abaixo. Eles são comumente utilizados em chuveiros elétricos comercialmente disponíveis, os quais possuem chaves seletoras tipo inverno/verão. São de materiais diferentes, porém apresentam características resistivas semelhantes. Seus terminais estão identificados.

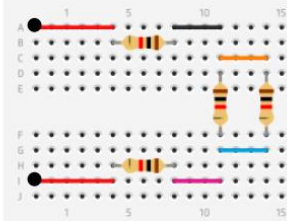
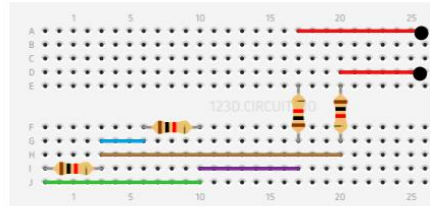
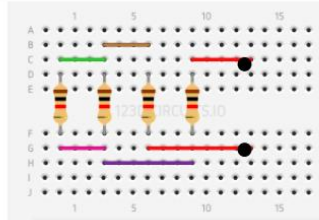
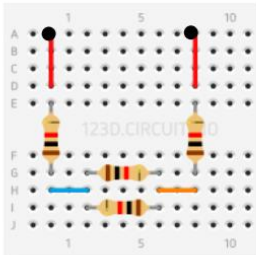
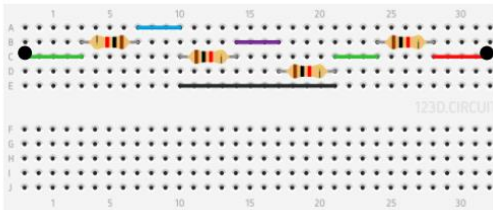


A partir das informações, represente uma associação entre os resistores (produza combinação) de modo que a resistência equivalente a partir de dois terminais (que você deve informar) seja:

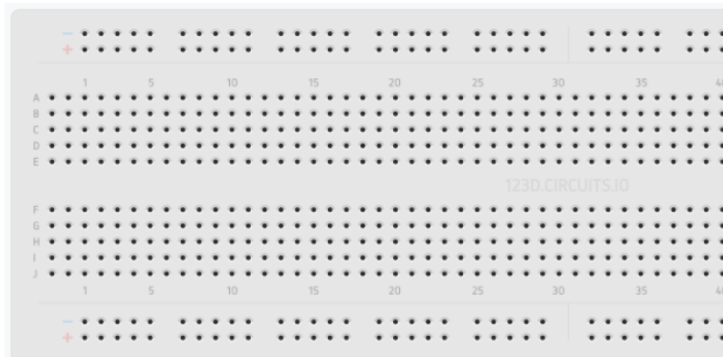
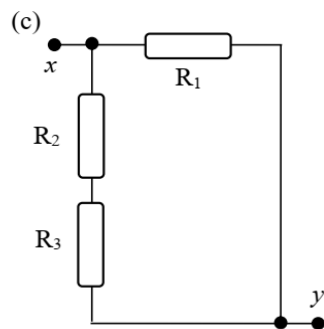
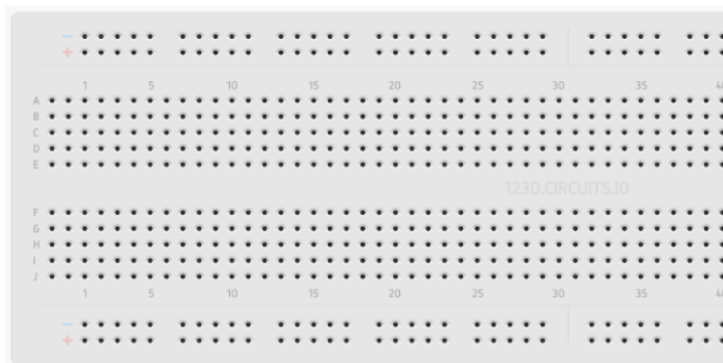
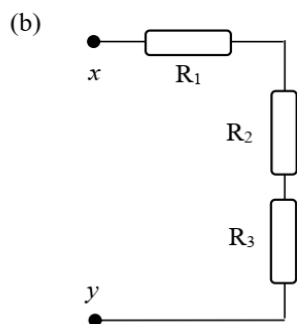
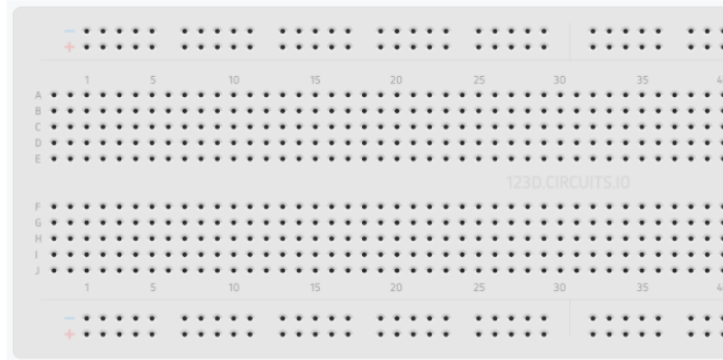
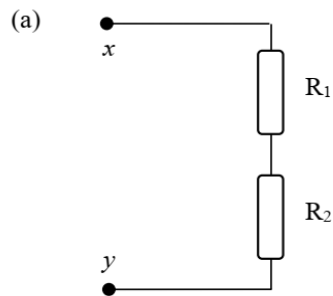
a) A maior possível

b) A menor possível

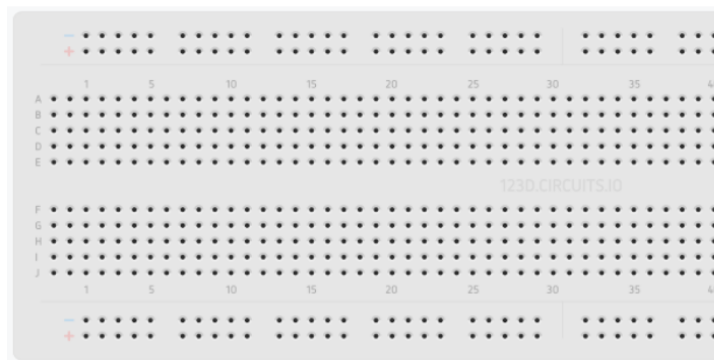
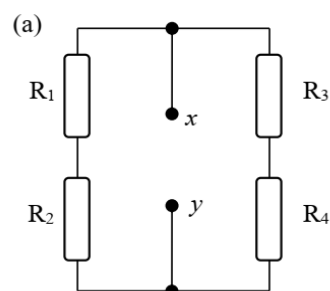
Situação 4 – Utilizando a representação formal para topologias de circuitos elétricos, desenhe a partir dos terminais em aberto cada uma das redes de resistores apresentadas nas matrizes de contato a seguir. Todos os resistores da rede são iguais.

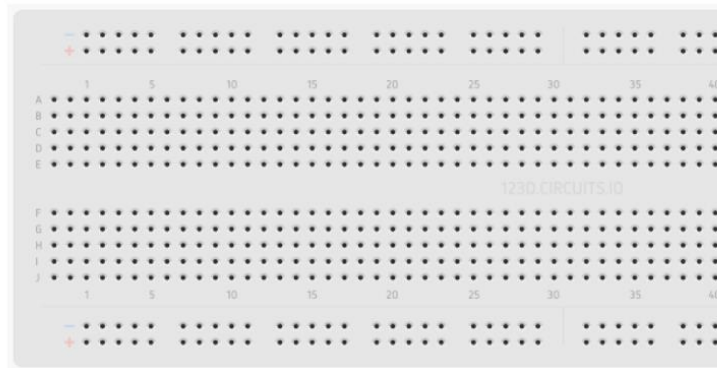
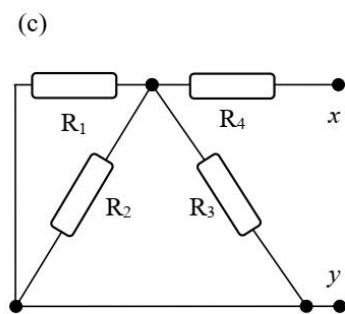
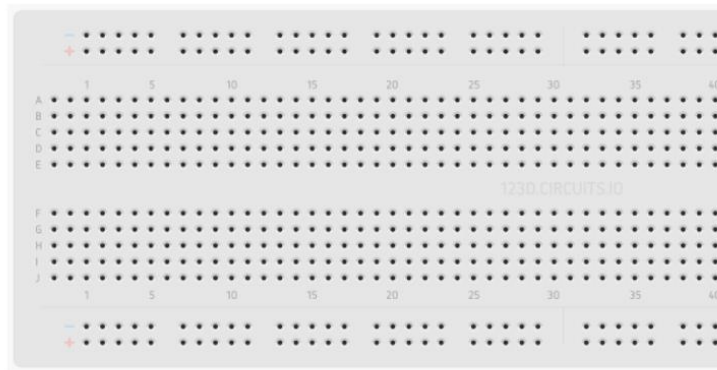
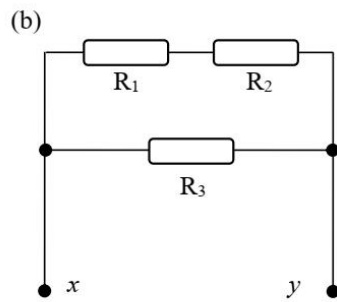
Item	Circuito em protoboard	Representação formal
(a)		
(b)		
(c)		
(d)		
(e)		

Situação 5.1 – Represente cada uma das topologias de circuito elétrico no protoboard, indicando cada resistor e os terminais em aberto.

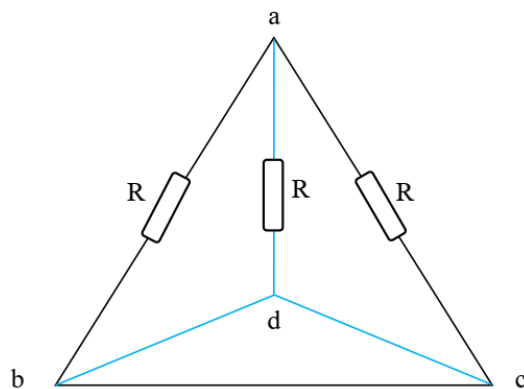


Situação 5.2 – Represente cada uma das topologias de circuito elétrico no protoboard, indicando cada resistor e os terminais em aberto.



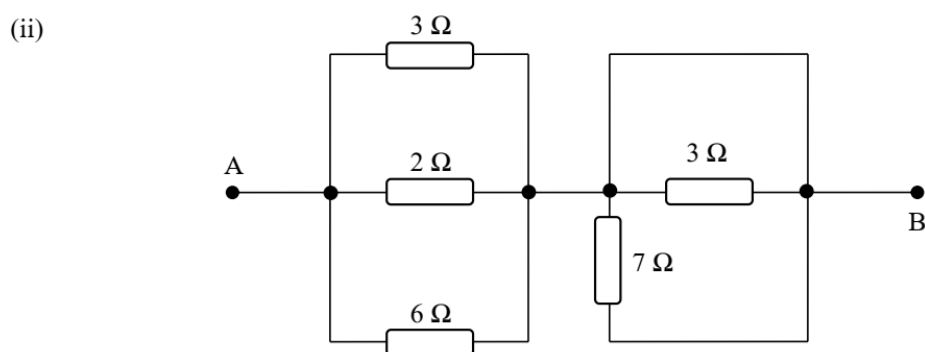
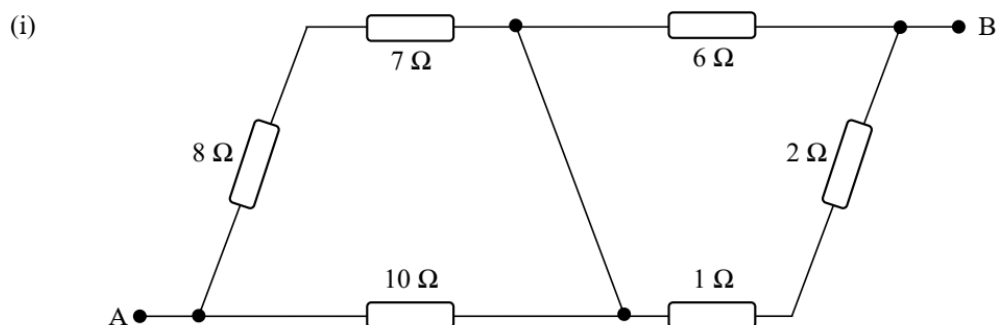


Situação 6 – Considere a topologia abaixo, a qual é formada por resistores idênticos entre si e de resistência R .

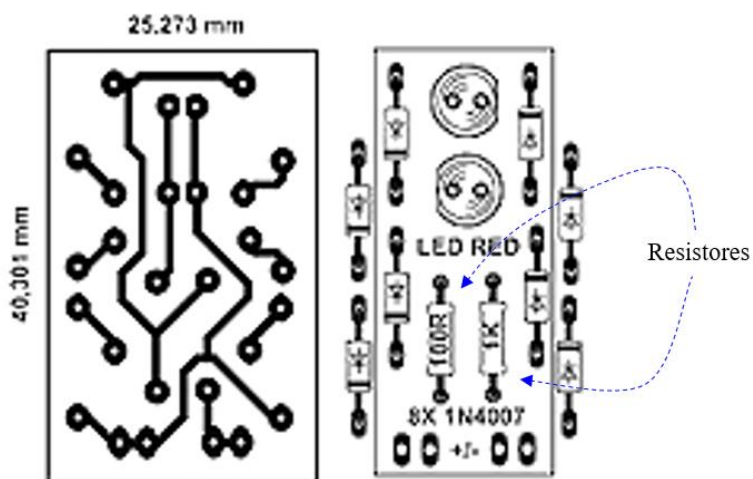


Informe a resistência equivalente entre os pontos: (i) a e b; (ii) a e c; (iii) a e d.

Situação 7 – Determine a resistência equivalente, entre os pontos A e B, de cada um dos circuitos apresentados a seguir.



Situação 8 – Uma certa placa de circuito impresso apresenta dois resistores (100Ω e $1k\Omega$). As imagens a seguir representam a disposição dos componentes elétricos em uma face e as ligações entre eles na outra, as quais devem ser analisadas sobrepostas.



Em relação aos resistores é CORRETO afirmar que:

- (a) Estão conectados em série. (b) Estão conectados em paralelo. (c) Não estão conectados diretamente entre si.

Situação 9.1 – Esboce e em seguida construa redes resistivas na matriz de contatos (protoboard) respeitando as regras definidas abaixo.

Caso 1 – A rede deve conter cinco resistores associados em série.

Caso 2 – A rede deve conter três resistores associados em paralelo.

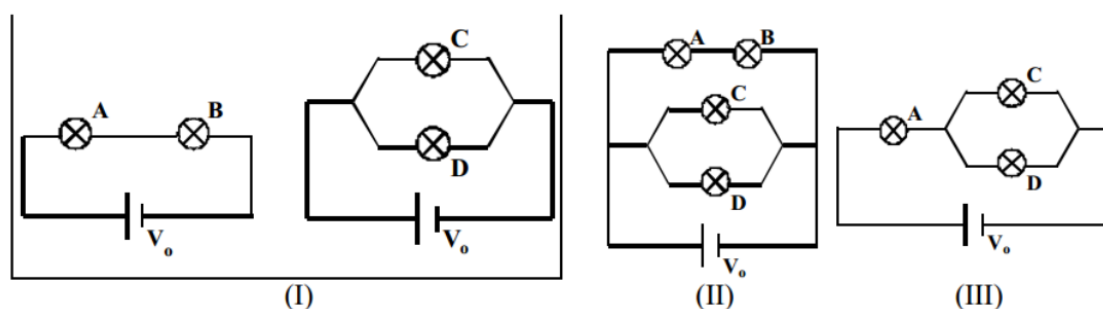
Caso 3 – Conecte as redes dos casos 1 e 2 em paralelo.

Situação 9.2 – Esboce e em seguida construa redes resistivas na matriz de contatos (protoboard) respeitando as regras definidas abaixo.

Caso 1 – A rede deve conter dois resistores associados em paralelo. Esta combinação de resistores deve estar em série com um terceiro resistor.

Caso 2 – A rede deve conter três resistores associados em conexão do tipo triângulo. Cada resistor, individualmente, deve apresentar um outro resistor em paralelo.

Situação 10 – Uma lâmpada nada mais é do que uma resistência. Se essa lâmpada for ideal significa que a sua resistência é aproximadamente constante e desta forma obedece à Lei de Ohm. Suponha 4 (quatro) lâmpadas idênticas e ideais (A,B,C,D) e uma bateria ideal (V_0), compondo os circuitos, nos esquemas (I, II, III) abaixo. Para cada caso [(I), (II) e (III)], classifique as lâmpadas, por ordem de luminosidade. Explique sucintamente o seu raciocínio em cada caso.



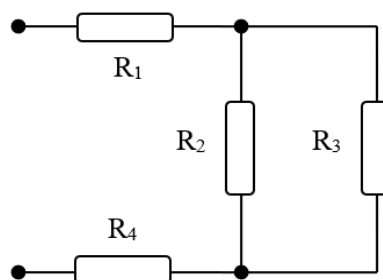
II. Situações-problema do Segundo Estudo– Fase A

Situação B1

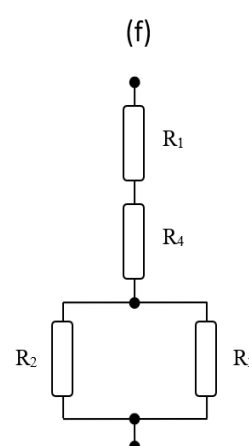
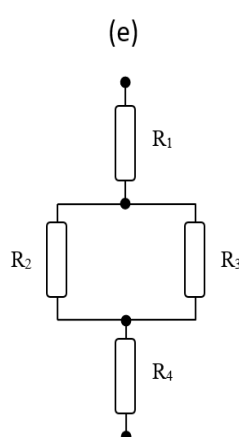
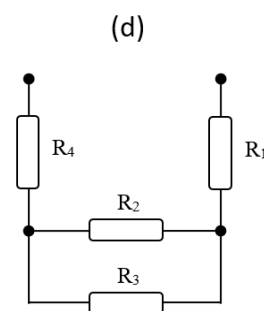
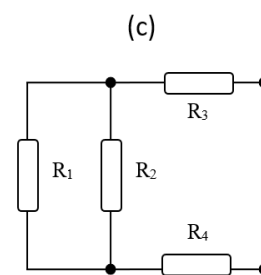
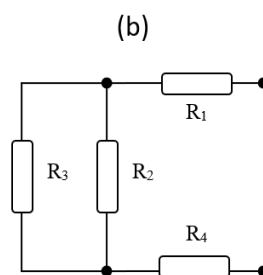
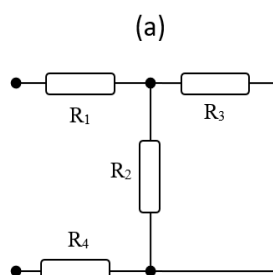
- Em sua interpretação, o que significa dizer que “resistores se encontram em série em um circuito”? Exemplifique sua resposta.
- Em sua interpretação, o que significa dizer que “resistores se encontram em paralelo em um circuito”? Exemplifique sua resposta.

Situação B2

Considere o arranjo entre resistores apresentado abaixo.



Assinale a seguir a(s) alternativa(s) que **NÃO** representa(m) um circuito cuja resistência equivalente, vista dos terminais em aberto, é igual a do circuito anterior.

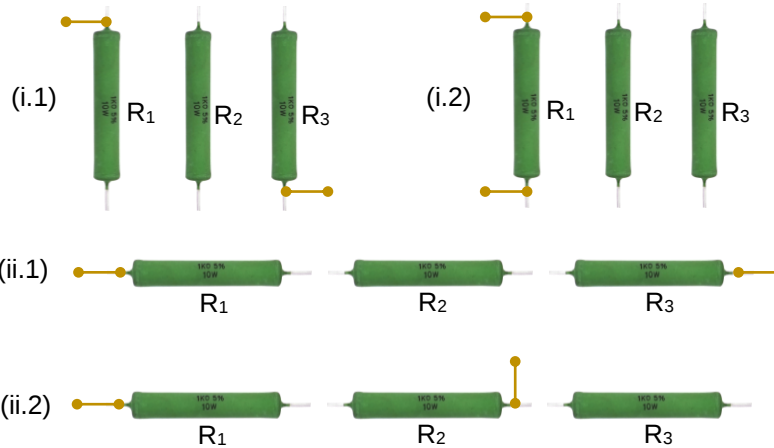


Situação B3.1

Os elementos a seguir representam três resistores R_1 , R_2 e R_3 . Realize ligações entre os componentes de tal forma que se permita observar, a partir dos terminais em aberto indicados:

(i) uma associação em paralelo entre os três resistores;

(ii) uma associação em série entre os três resistores;

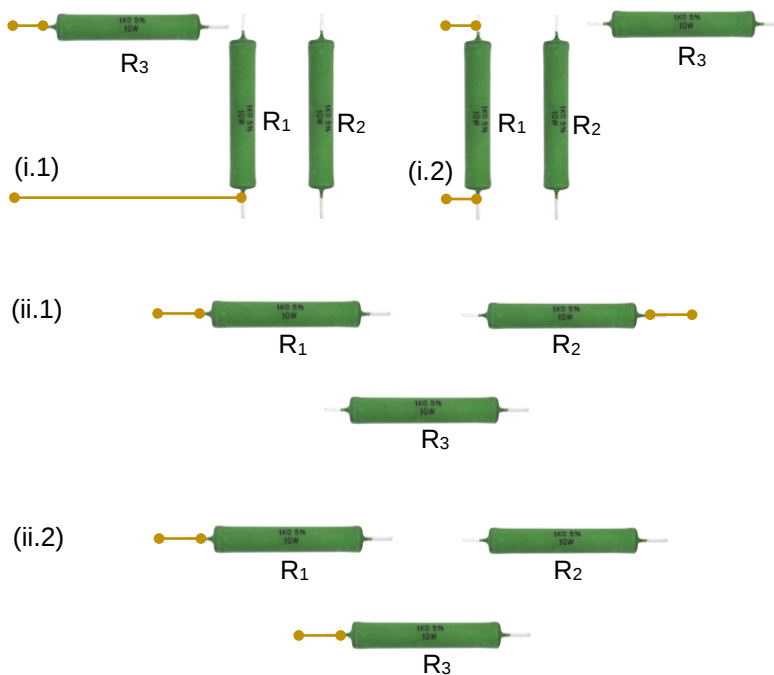


Situação B3.2

Os elementos a seguir representam três resistores R_1 , R_2 e R_3 . Realize ligações entre os componentes de tal forma que se permita observar, a partir dos terminais em aberto indicados:

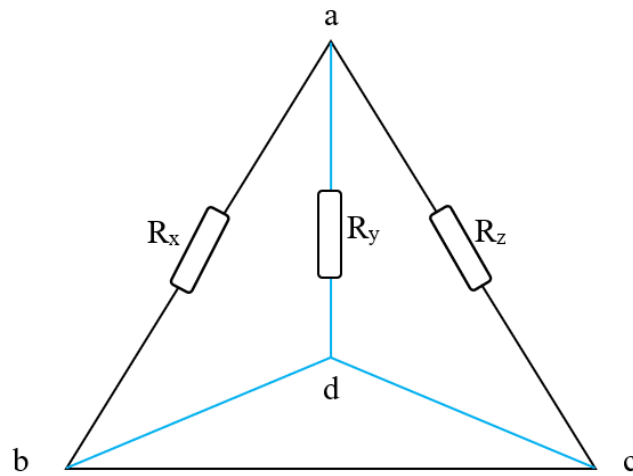
(i) R_1 em paralelo com R_2 . Esta associação em série com R_3 ;

(ii) R_1 em série com R_2 . Esta associação em paralelo com R_3 ;



Situação B4

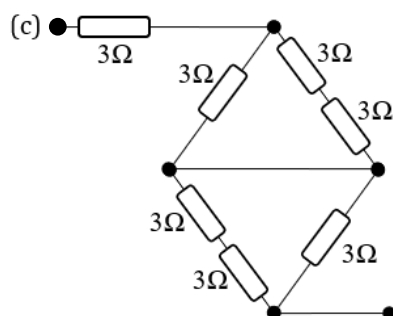
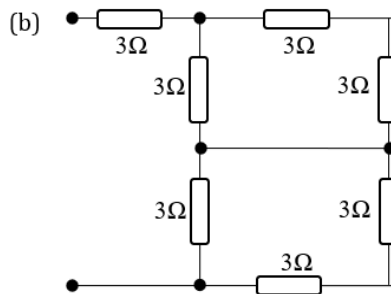
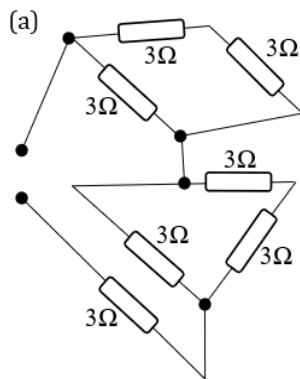
Considere a topologia abaixo, a qual é formada por alguns resistores elétricos. Informe como estão conectados.



O que você entende por nó elétrico? Quantos nós elétricos existem no arranjo descrito nesta situação?

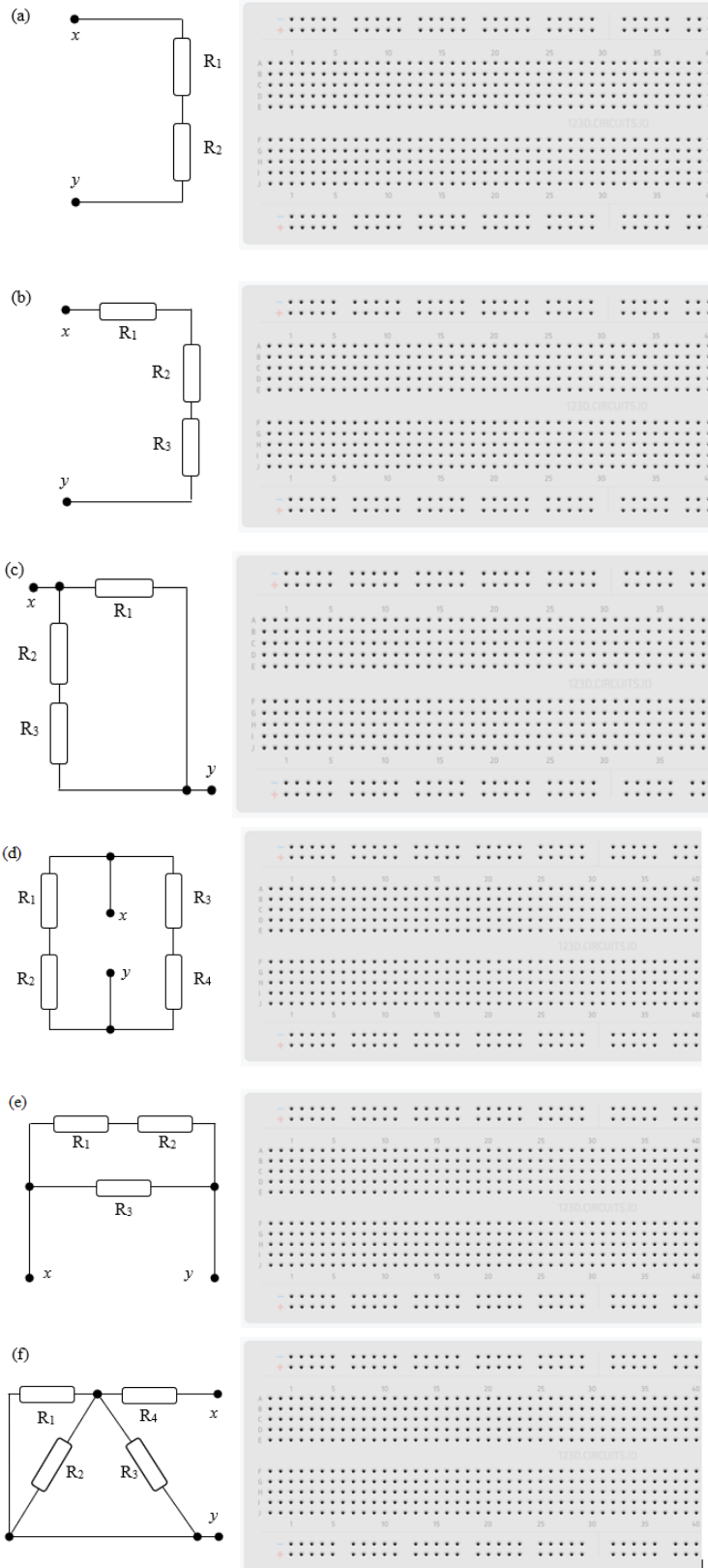
Situação B5

Observe cada um dos arranjos resistivos e determine a resistência equivalente em cada caso apresentado.



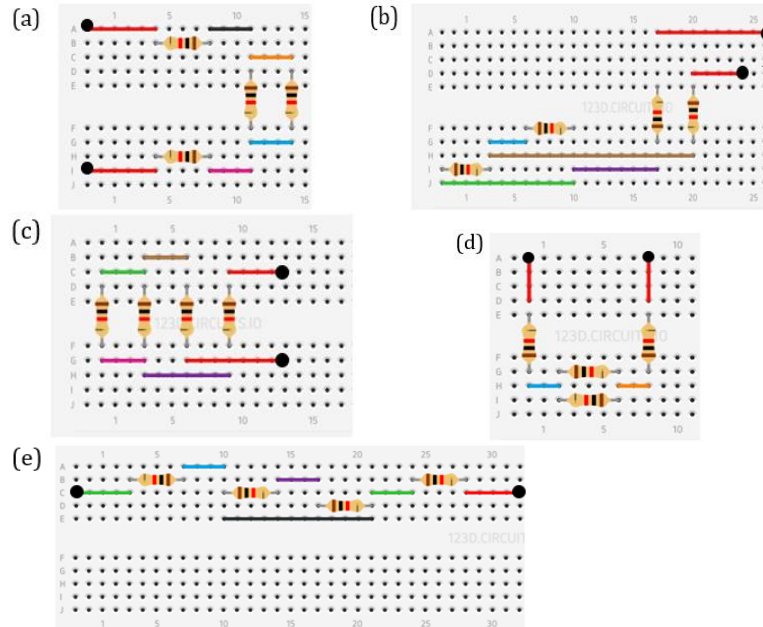
Situação B6

Represente cada uma das topologias de circuito elétrico na imagem que representa o *protoboard*, indicando cada resistor e os terminais em aberto.



Situação B7

Utilizando a representação formal para topologias de circuitos elétricos, desenhe, a partir dos terminais em aberto, cada uma das redes de resistores apresentadas nas matrizes de contato a seguir. Todos os resistores da rede são iguais.



III. Situações-problema do Segundo Estudo – Fase B (Parte I)

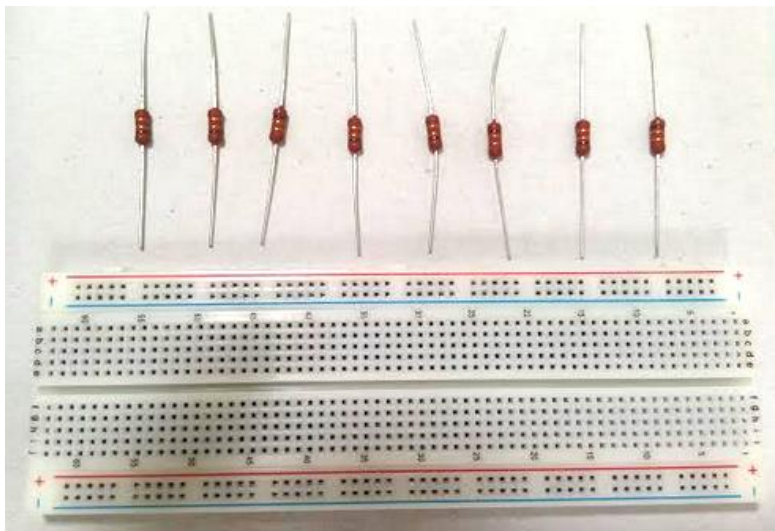
Situação C1

Esboce e em seguida construa redes resistivas na matriz de contatos (*protoboard*) respeitando as regras definidas em cada um dos casos indicados a seguir:

Caso 1 – A rede deve conter cinco resistores associados em série.

Caso 2 – A rede deve conter três resistores associados em paralelo.

Caso 3 – Conecte as redes dos casos 1 e 2 em paralelo.



Situação C2

Esboce e em seguida construa redes resistivas na matriz de contatos (*protoboard*) respeitando as regras definidas em cada um dos casos indicados a seguir.

Caso 1 – A rede deve conter dois resistores associados em paralelo. Esta combinação de resistores deve estar em série com um terceiro resistor.

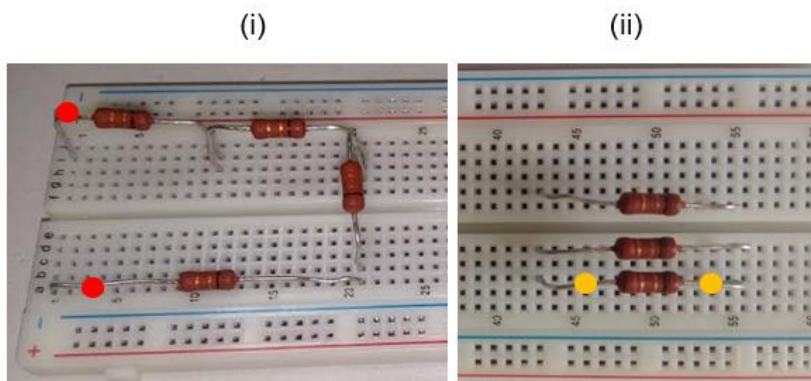
Caso 2 – A rede deve conter três resistores associados em conexão do tipo triângulo. Cada resistor, individualmente, deve apresentar um outro resistor em paralelo.

Situação C3

Em cada um dos arranjos apresentados, construídos sobre matriz de contatos, os resistores são idênticos (de valor nominal 1Ω).

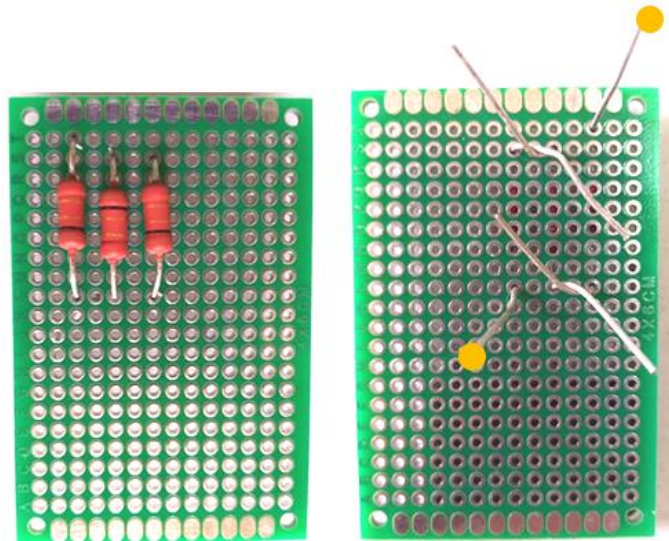
(a) Represente os arranjos sob o ponto de vista dos terminais indicados e determine a resistência equivalente a partir deles.

(b) Caso uma bateria de 12 V seja conectada entre os terminais indicados, qual seria a corrente elétrica fornecida pela fonte?



Situação C4

A placa de circuito impresso a seguir é apresentada em suas duas faces. Esboce a representação do arranjo entre os resistores do ponto de vista dos terminais em aberto.

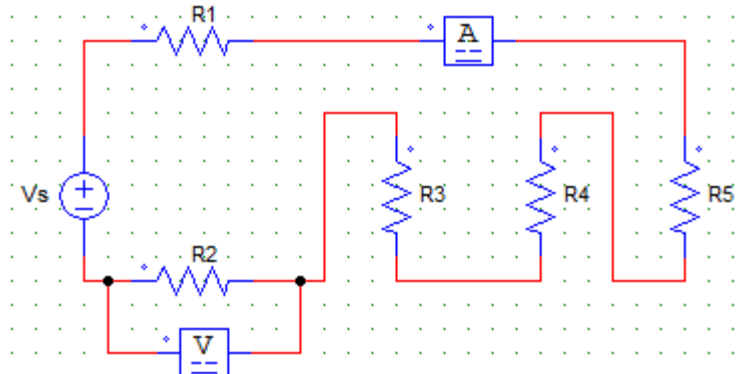


Situação C5 – Montagem via Software (CCK/PhET)

- Construa, utilizando o software disponibilizado, um circuito elétrico em corrente contínua com fonte de tensão de 20 V alimentando quatro resistores ($R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 50\Omega$) em uma associação mista: R_1 e R_2 estão, cada um, em paralelo com a fonte. R_3 e R_4 estão conectados em série entre si e tal associação deve estar em paralelo com a fonte de alimentação. Após a montagem, esboce aqui o diagrama do circuito.
- Determine as estimativas teóricas para a tensão e para a corrente em cada resistor.
- A partir do software utilize os instrumentos de corrente contínua para determinar a tensão e a corrente em cada resistor. Ordene os resistores de acordo com a potência elétrica dissipada por cada um.
- Agora substitua cada resistor por uma lâmpada, ordene-as de acordo com o brilho. Compare com o resultado anterior.

Situação C6

Considere o circuito a seguir construído no software PSIM. Todos os resistores são iguais e de valor 3Ω . A alimentação ocorre por uma fonte de tensão $V_s = 30\text{ V}$.



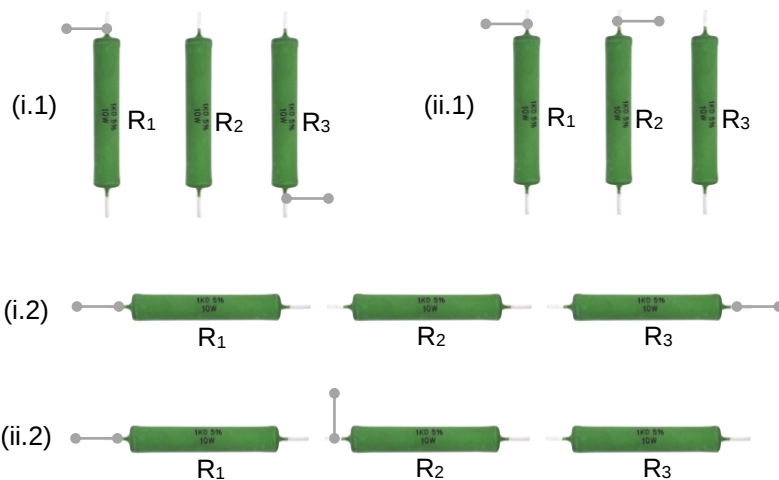
- Represente, utilizando a simbologia formal, o circuito completo.
- Informe a corrente medida pelo amperímetro e a tensão indicada pelo voltímetro.
- Qual a corrente sobre o resistor R_4 ? E a tensão sobre R_3 ?

IV. Situações-problema do Segundo Estudo – Fase B (Parte II)

Situação D1

Os elementos a seguir representam três resistores R_1 , R_2 e R_3 . Realize ligações entre os componentes de tal forma que se permita observar, a partir dos terminais em aberto indicados:

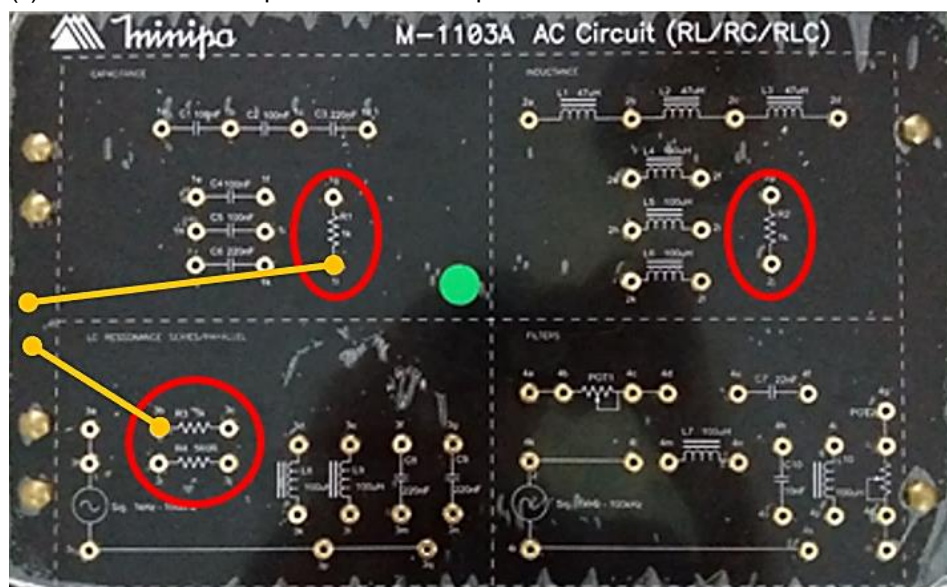
- (i) uma associação série entre os três resistores;
- (ii) uma associação em paralelo os três resistores;



Situação D2

Considere os componentes passivos destacados a seguir (três resistores de $1\text{ k}\Omega$ e um resistor de 560Ω). Realize ligações entre os componentes de tal forma que se permita medir, utilizando um ohmímetro, a partir dos terminais em aberto indicados:

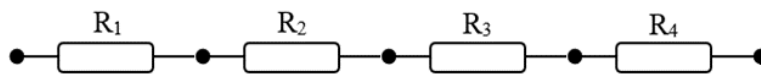
- (i) uma resistência equivalente maior que $3\text{ k}\Omega$;
- (ii) uma resistência equivalente menor que $1\text{ k}\Omega$.



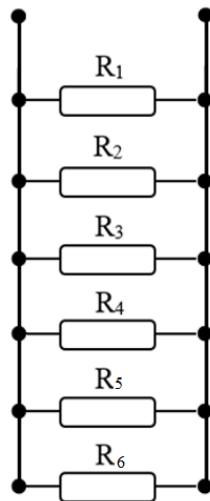
Situação D3

- (a) Construa os arranjos resistivos em cada uma das matrizes de contato disponibilizadas.
- (b) Caso uma fonte de 6 V seja conectada aos terminais em aberto (em cada uma das situações), qual seria o valor teórico estimado para a corrente no resistor R_2 ?

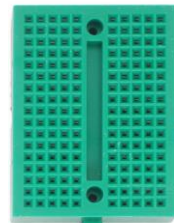
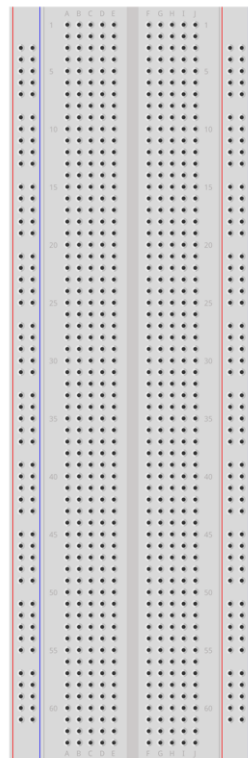
(i)



(ii)



Escala: 1:2



APÊNDICE B – TERMO DE AUTORIZAÇÃO

Termo de Autorização para Realização de Pesquisa

Prezado Diretor Geral do IFPE Campus Garanhuns, Prof. José Carlos de Sá Júnior

Eu, **Wilker Victor da Silva Azevêdo**, doutorando do Programa de Pós-graduação em Educação Matemática e Tecnológica da UFPE, na linha de pesquisa Educação Tecnológica, e autor do projeto de tese intitulado *Investigando Concepções e Dificuldades em Circuitos Elétricos: Contribuições a Partir dos Registros de Representação e Domínios Tecnológicos* (Título Provisório), orientado pela professora PhD Verônica Gitirana, venho através deste documento solicitar autorização para realização de atividade vinculada ao referido projeto junto a duas turmas: uma do curso técnico em Eletroeletrônica (modalidade integrado) e outra do Curso Superior de bacharelado em Engenharia Elétrica nesta Instituição de Ensino.

Através da pesquisa será realizada atividade teórico-experimental junto a estudantes dos cursos em tela, de modo que auxiliará na análise das causas e fontes de dificuldades de aprendizagem relacionadas à representação do conhecimento em Circuitos Elétricos, na compreensão do papel dos signos na formação conceitual na área, aplicando situações-problema relacionadas com as concepções destes estudantes e seu contexto de formação profissional. O procedimento metodológico será realizado no Laboratório de Eletricidade e Eletrônica durante, pelo menos, dois ou três turnos, com natureza exploratória semelhante ao encontrado nas matrizes curriculares dos cursos. As atividades têm caráter de participação voluntária. Várias situações-problema serão administradas considerando alguns dos recursos tecnológicos e profissionais disponibilizados a partir da infraestrutura do laboratório (*protoboard*, multímetros, maleta SD1202, módulo 1103A) e outros de cunho particular, em que há comprometimento na reposição de eventuais componentes.

A maior parte das análises será proveniente de protocolos de resposta escritos e montagens realizadas pelos estudantes; parte das atividades será registrada através de imagens fotográficas; outras através de vídeos. Todos os estudantes que participarem das atividades terão assegurada a preservação da sua identidade em caráter sigiloso devido à organização sequencial e em códigos dos arquivos. Participantes e eventuais responsáveis receberão todas as informações referentes à pesquisa e darão anuência a um Termo de Consentimento acerca do processo. O pesquisador estará à disposição para tirar quaisquer dúvidas para prestar esclarecimentos às partes envolvidas sobre o contexto da pesquisa. Os parâmetros e valores de eventuais grandezas elétricas foram administrados para evitar eventuais riscos potenciais na manipulação de equipamentos e instrumentos de medição.

Os resultados poderão ser divulgados em revistas, conferências, congressos, eventos científicos em geral, durante seminários acadêmicos, respeitado o caráter sigiloso mencionado de não revelar a identidade dos envolvidos.

Wilker Victor da Silva Azevêdo

Declaro que fui devidamente informado sobre a pesquisa e autorizo a realização na instituição.

Diretor Geral do IFPE - Campus Garanhuns: José Carlos de Sá Júnior

Data: *Garanhuns 15/02/17*

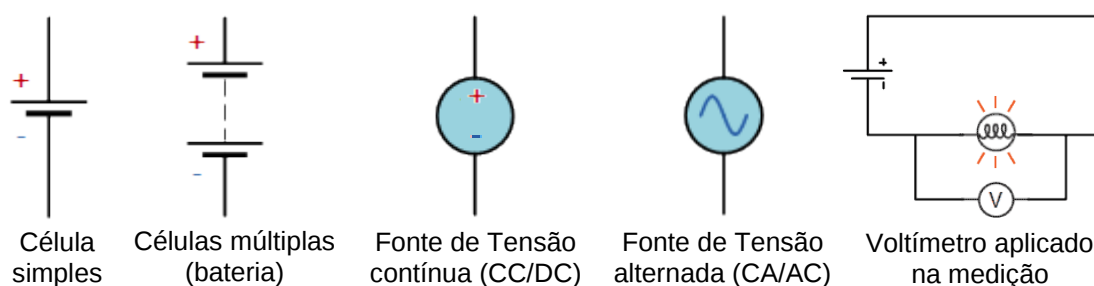
APÊNDICE C - SOBRE TENSÃO E CORRENTE ELÉTRICA

C.1 Tensão Elétrica

Tensão ou potencial elétrico pode ser definido como a energia (ΔW) por unidade de carga (Δq) criada pela separação de cargas positivas e negativas (NILSSON e RIEDEL, 2014, p.11). Buryian Jr. e Lira (2013, p.2) indicam que a tensão é relacionada com a energia necessária para transportar uma carga elétrica entre dois pontos. As abordagens são complementares. Em livros didáticos existe, em geral, a indicação dos termos tensão (v) ou diferença de potencial (d.d.p.; Δv). Em obras que tratam em exclusivo da Análise de Circuitos Elétricos, é comum a utilização do termo tensão para entender o potencial em um nó elétrico específico (tensão de nó) ou a diferença de potencial entre os terminais de um componente (“tensão no resistor”, “tensão da bateria”).

A Tensão Elétrica tem como unidade Volts (V). O Voltímetro é o instrumento utilizado para medir tensão em circuitos elétricos. Os modelos convencionais deste instrumento devem ser conectados *em paralelo* entre dois pontos distintos do circuito para realizar a correta medição. Destacamos que existe um conjunto simbólico sob uso na Física e na Engenharia para representar fontes de tensão e voltímetro (Figura C.1).

Figura C.1 | Simbologia adotada para representar fontes de tensão e voltímetro.

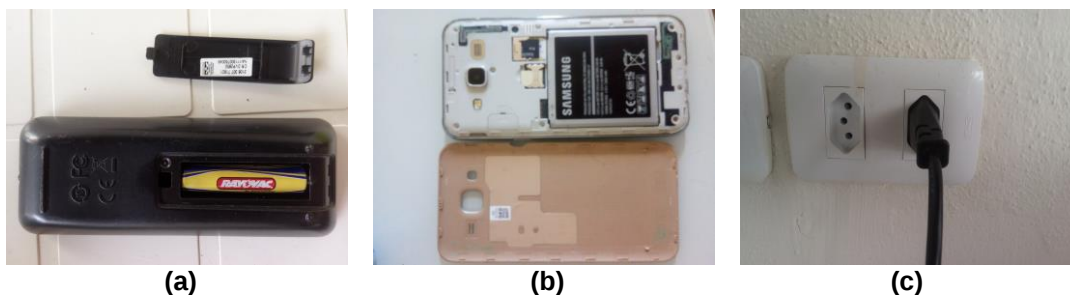


Fonte: próprio autor.

A este conjunto relacionam-se diversos objetos reais, os quais, ao sujeito aprendiz, remetem ao seu cotidiano, a saberes sociais frequentemente já materializados. A percepção de fontes elétricas como objetos do cotidiano é construída ao longo da vida dos sujeitos: uma pilha como fonte para

funcionamento de um controle remoto (Figura C.2a), em um controle de *videogame* ou em um relógio, a bateria que alimenta o aparelho celular (Figura C.2b), a tomada para suprimento de eletrodomésticos (Figura C.3c).

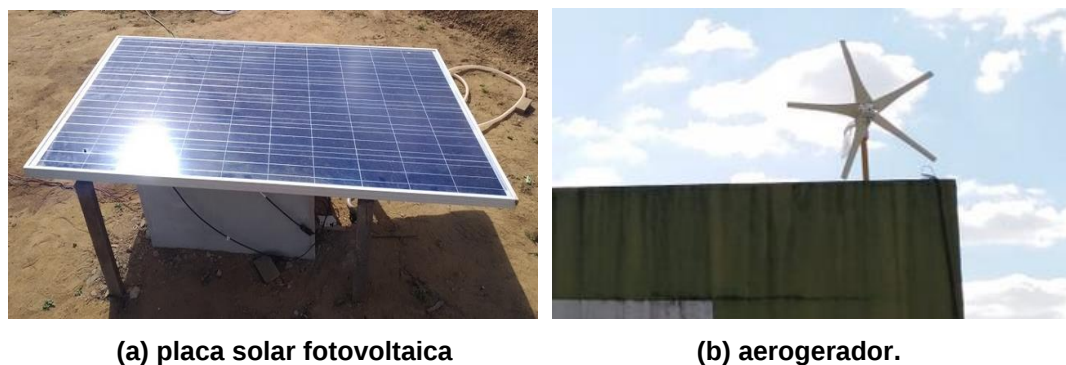
Figura C.2 | Fontes elétricas – percepção a partir de objetos reais.



Fonte: próprio autor.

Tecnologias como placas fotovoltaicas (Figura C.3a), aerogeradores (Figura C.3b), geradores em hidrelétricas e em usinas nucleares, dentre diversos outros exemplos podem compor a paleta de *cases* sobre as fontes elétricas.

Figura C.3 | Fontes elétricas renováveis (IFPE – Campus Garanhuns):

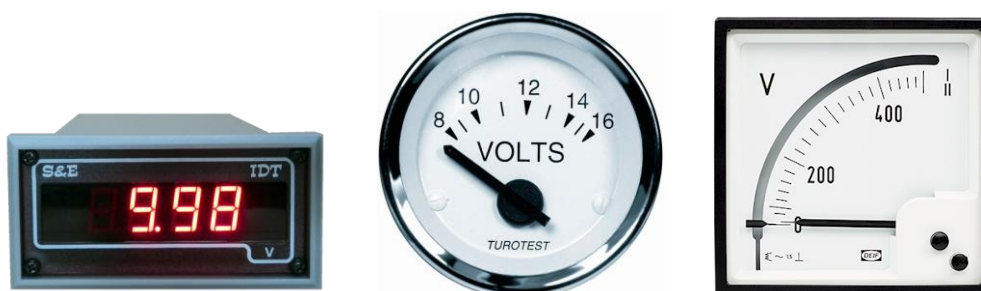


Fonte: próprio autor.

É factível afirmar que se estabelecem pré-conceitos pelo sujeito a partir da observação do funcionamento dos objetos reais ao seu redor. O contato com os elementos simbólicos é, a partir disso, regido em um processo de associação a algo que, de certo modo, já faz parte do seu arcabouço de conhecimentos. Há a percepção dos objetos reais antes do contato com o conceito associado. A interação eficiente entre conhecimentos novos e conhecimentos já dominados pelo estudante pode compor uma estrutura cognitiva mais desenvolvida e abstrata (MEC/SEB, 2018, p.10).

Elementos instrumentais estão incorporados nos cenários vinculados à aprendizagem profissional. Os voltímetros são instrumentos importantes ao cotidiano de diversos profissionais. Aparecem em formatos variados através de modelos digitais ou analógicos (Figura C.4).

Figura C.4 | Exemplos de modelos de voltímetros tipo digital e analógico.

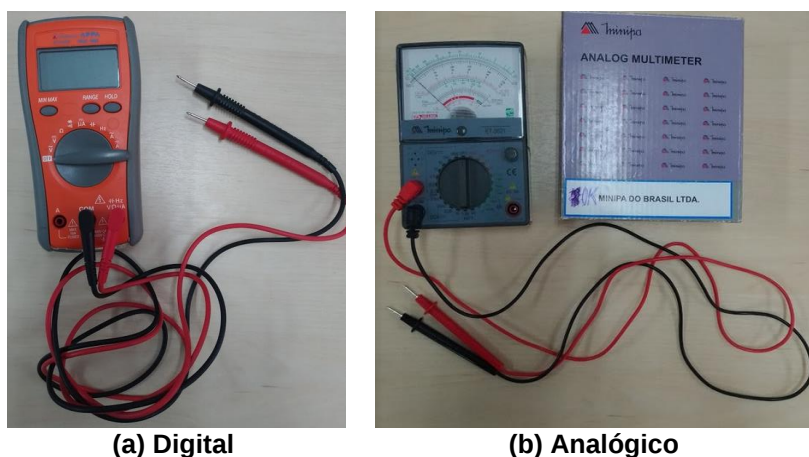


Fonte(s): S&E Instrumentos (<http://www.seinstrumentos.com.br>); Turotest (<http://www.turostes.com.br>); DEIF (<https://www.deif.com.br>).

A especificação instrumental trazida destaca a existência de uma necessidade inerente à aprendizagem sobre a utilização destes componentes na formação técnica, na engenharia. Instrumentos de medida apropriados podem permitir identificar ou inferir sobre elementos não previstos preliminarmente quando da concepção, uso e teste de um modelo.

A função de medição de tensão realizada pelos voltímetros pode ser parte integrante de outros equipamentos denominados multímetros, os quais possibilitam a medição individual de diversas grandezas distintas (Figura C.5), sendo este um equipamento geralmente encontrado em laboratórios experimentais.

Figura C.5 | Multímetro com função para medir tensão elétrica: (a) digital; (b) analógico.



(a) Digital

(b) Analógico

Fonte: próprio autor.

Um elemento a destacar desse processo de apropriação simbólica e instrumental é o entendimento sobre como conectar fontes e instrumentos de medição a um circuito, de modo que a estruturação sobre o conceito e sua aplicação (com objeto real ou através de um símbolo) ocorra de maneira bem estruturada ao discente. Este domínio oferece, ao sujeito em aprendizagem, um conjunto de dificuldades. Não há, muitas vezes, uma percepção imediata sobre a forma adequada de conectar fontes a cargas ou incluir um medidor em um circuito elétrico. Alunos novatos no tema normalmente tentam dois planos de ligação incorretos (ABEL, 1995, pp. 24-25) quando são solicitados a acender uma lâmpada de lanterna usando um único fio e uma bateria (Figura C.6).

Figura C.6 | Exemplos de ligações incorretas para acionamento de lâmpada através de pilha.



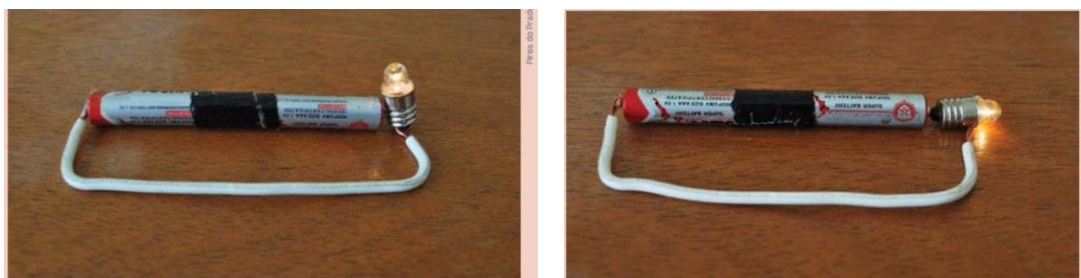
Fonte: próprio autor.

Esta não pode ser confundida em exclusivo com uma dificuldade conceitual relacionada apenas com tensão ou corrente elétrica. O aluno detém uma concepção de que o circuito elétrico é formado por conexões entre componentes, porém, ele despreza alguns terminais de elementos que integram o circuito. Ele realiza conexões, no entanto com incorreções. Podem atuar como colaborativas neste sentido a falta de atividades de caráter empírico e a manutenção de lacunas conceituais vinculadas às ligações ou à ideia de caminho fechado (ou malha elétrica) durante o ensino. É importante reconhecer que a maioria dos componentes em um circuito elétrico simples possui, pelo menos, dois terminais.

Estas dificuldades já haviam sido observadas por McDermott e Shaffer (1992, p.996), apontando que, mesmo após o estudo de circuitos elétricos

simples, vários estudantes não conseguem desenhar um circuito completo quando solicitados a representar cenários semelhantes. Os autores julgam que, para a maioria dos professores de Física, o conceito de um circuito completo é tão simples que geralmente é dada apenas uma atenção superficial em um curso introdutório. Livros didáticos no Brasil já trazem uma discussão mais detalhada a este respeito, com seções sugerindo aos discentes e docentes algumas atividades experimentais (Figura C.7).

Figura C.7 | Circuitos com acendimento: possibilidades de variação da posição da lâmpada.



Fonte: Gonçalves Filho e Toscano (2016).

Sugere-se, contudo, que a proposta apresentada por Gonçalves Filho e Toscano (2016) não se alinha a uma demanda espontânea, própria dos autores, para prover a superação de inconsistências conceituais dos estudantes, dada a existência robusta de pesquisas científicas sobre o tema. Adiante na mesma obra, nota-se que a atividade experimental proposta se alinha para atender ao desenvolvimento de competência cujo objetivo é a resolução de quesito proposto pelo Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM).

A ideia de circuitos elétricos é estruturada pelo estudante em um modo que aparece a discussão do conceito de corrente elétrica. Ela é estimulada, por exemplo, ao se perceber a resposta de uma lanterna quando um conjunto de pilhas é utilizado para acioná-la ou durante a substituição de uma bateria descarregada por outra em um carro. Testar fontes conectando-as a alguns equipamentos é o primeiro contato realizado, envidando o entendimento sobre como os indivíduos percebem as ligações entre uma fonte e carga(s). A demonstração sobre as conexões entre fonte e componentes também pode ser relatada através de imagens na forma de representação simbólica não oficial.

Alguns autores defendem que a utilização de desenhos (linguagem pictórica) pode ser uma forma de aproximar a codificação entre casos abstratos e concretos. Gouveia (2007) em sua dissertação, analisando a dificuldade de aprendizagem conceitual de estudantes, propôs a incorporação da linguagem relacionada aos desenhos junto ao tradicional tratamento da simbologia convencional. Isto, atrelado à utilização de dispositivos reais, segundo o autor, motiva, ajuda a aproximar o aluno de uma linguagem mais perto de si, além de servir como instrumento auxiliar para explicitar as dificuldades conceituais. Em outro trabalho de sua coautoria, constata-se a defesa de que o modo pictórico/imagem evita que as dificuldades conceituais sejam encobertas pela representação oficial (LABURÚ *et al.*, 2009). Embora não discutida em detalhes, consta no trabalho uma afirmação acerca dos esquemas simbólicos oficiais, a qual se alinha com parte das observações e do tratamento do tema por esta proposta:

Muito utilizados em certos conteúdos de Física, os esquemas simbólicos baseiam-se num conjunto de convenções prévias; são deveras abstratos e pretendem figurar o real de maneira geométrica (LABURÚ *et al.*, 2009, p.26).

A linguagem manifestada através de signos está sujeita a revelar dificuldades conceituais. A tentativa de promover uma aparência geométrica alinhada a pré-experiências dos estudantes permeia substancialmente todas as obras avaliadas. Junto com a realização de configurações via objetos reais e situações-problema pode evidenciar inconsistências durante a solução mobilizada pelo estudante.

Outro ponto em destaque trata da indicação da observação durante interpretação do conceito de diferença de potencial. Há uma dificuldade relacionada particularmente com este conceito, porém pode haver algum tipo de relação dela com as configurações e ligações. Trata-se da concepção de que uma bateria se comporta como fonte de corrente constante e não como fonte de tensão constante, independente de número ou disposição elétrica de elementos em um circuito, ocorrendo com mais frequência em estudantes na idade da escolarização de nível médio (SHAFFER e MCDERMOTT, 1992; ENGELHARDT,

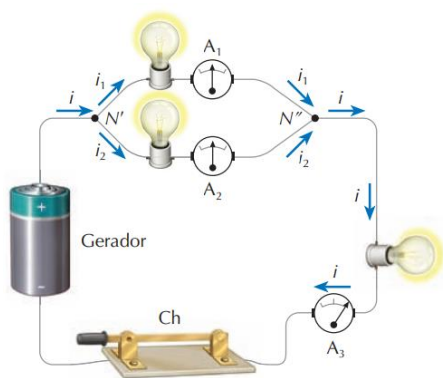
1997; DUIT e von RHÖNECK, 1997; ANDRADE *et al.*, 2018). Pode haver dificuldade relacionada à compreensão sobre a divisão de tensão em circuito com elementos dispostos em série ou a análise de equivalência em circuitos com elementos em paralelo.

C.2 Corrente Elétrica

O trabalho para deslocar cargas elétricas normalmente é mobilizado por uma fonte elétrica. O deslocamento dos portadores de carga elétrica dá origem à corrente elétrica. A intensidade da corrente elétrica ou simplesmente corrente elétrica é definida como a quantidade de carga (Δq) que se desloca em relação a um certo intervalo de tempo (Δt). Em circuitos simples compostos por fonte(s) e resistores, a circulação de corrente e, em particular sua intensidade, depende da disposição esquemática dos elementos do circuito. Seu estudo é essencial no contexto da Eletrodinâmica.

A unidade da intensidade de corrente elétrica é o Ampère (A) e o Amperímetro, instrumento utilizado para medição da corrente elétrica, é normalmente disposto em série com o circuito quando nos referimos a arranjos com componentes em circuitos eletrônicos. Ramalho *et al.* (2009) recorre à representação imagética com componentes reais para expor estas ligações (Figura C.8). Esta disposição é realizada a fim de que a corrente atravessasse o medidor. Existem diversos modelos de amperímetro em formato analógico e, mais recentemente, digitais (Figura C.9).

Figura C.8 | Medida de corrente em um circuito com amperímetros.



Fonte: Ramalho *et al.* (2009).

Figura C.9 | Modelo de Amperímetro Digital.



Fonte: <http://www.tholz.com.br>.

Para análise em instalações em que não se recomenda desenergizar o circuito para conexão do amperímetro e posterior medição da corrente, são frequentemente utilizados modelos do tipo alicate amperímetro (Figura C.10), os quais normalmente são também construídos para medir outras grandezas. Eles não são utilizados para medir corrente elétrica em circuitos eletrônicos.

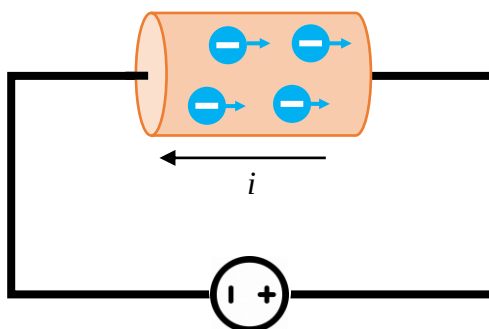
Figura C.10 | Exemplos de modelos comerciais de alicate amperímetro.



Fonte(s): MINIPA (<http://www.minipa.com.br>); FLUKE (<https://www.fluke.com>).

Na representação simbólica oficial, o sentido da corrente elétrica (i) em um circuito simples ocorre considerando que entra pelo terminal negativo da fonte de alimentação e sai pelo terminal positivo (considerando esta fonte fornecedora de energia). O sentido convencional da corrente é admitido como oposto ao dos portadores de carga, modelo muitas vezes incorporado em programas de simulação digital (Figura C.11).

Figura C.11 | Sentido convencional atribuído à corrente elétrica.



Fonte: Próprio autor.

Esta convenção é denominada passiva (RAMALHO *et al.*, 2009, p.120; NILSSON e RIEDEL, 2014, p.13). Ainda, em circuitos a corrente pode ser contínua

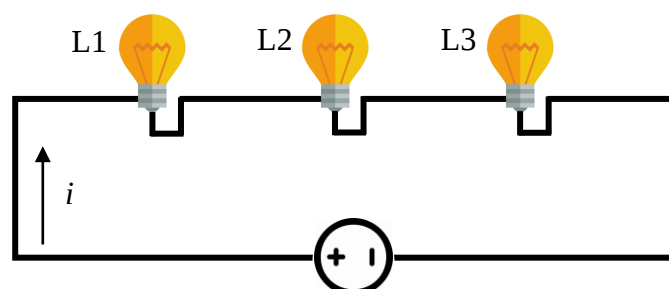
(constante ao longo do tempo), em que a representação anterior é factível, ou alternada (representada em muitas dos cenários por sinais elétricos periódicos).

No que concerne aos trabalhos na literatura, esta é uma grandeza com muitas referências de estudos sobre as concepções dos estudantes. Parcela considerável das dificuldades em relação à corrente se relaciona com confusões mobilizadas ao tentar dissociar tensão, corrente, potência e energia. A concepção primeira do estudante pode remeter a outros conceitos:

[...] é possível afirmar que os significados das palavras para a corrente nas línguas europeias geralmente estão mais próximos do significado da energia do que da corrente usada na Física. Em outras palavras, o termo corrente na linguagem cotidiana inclui um amplo espectro de significados com uma certa predominância de ideias energéticas. Portanto, é provável mal-entendidos nas aulas de física se o professor não esteja ciente dessas diferenças entre o modo como ele ou ela fala sobre os fenômenos elétricos (DUIT e von RHÖNECK, 1997, p.50).

A compreensão imediata sobre corrente elétrica e sobre sua interpretação conjunta com outras grandezas em um circuito muitas vezes não é espontânea. Os alunos manifestam a concepção de que a corrente se desgasta (ou é consumida) ao passar por uma resistência do circuito (ENGELHARDT, 1997; DORNELES *et al.*, 2006; ANDRADE *et al.*, 2018). De outro modo, classificam que a posição dos elementos é importante quando são solicitados a ordenar lâmpadas a partir do brilho em um circuito. Este tipo de manifestação ocorre com frequência em circuitos como o apresentado na Figura C.12.

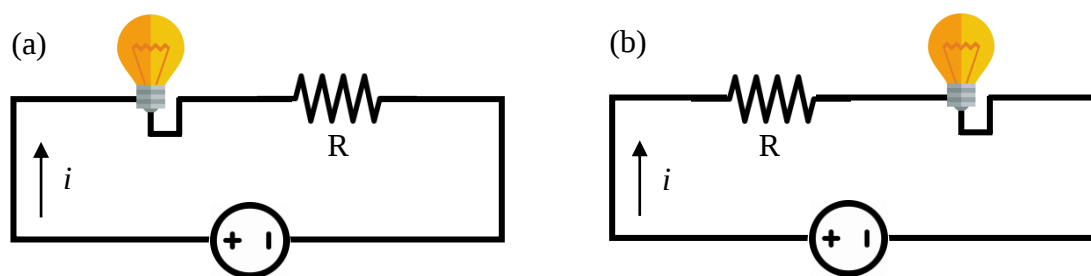
Figura C.12 | Representação esquemática de circuito que favorece o raciocínio sequencial.



Fonte: Próprio autor.

Quando solicitados a ordenar o brilho das lâmpadas, parcela dos estudantes pode indicar que o brilho da lâmpada L1 é maior que o da lâmpada L2 e, no caso desta, maior que o brilho da lâmpada L3. A ideia de que a corrente elétrica se desgasta também é observada quando se comparam circuitos com componentes idênticos compostos por fonte em corrente contínua (CC ou DC) suprimindo resistor em série com lâmpada (Figura C.13), porém com disposição esquemática diferente da lâmpada em relação ao resistor R.

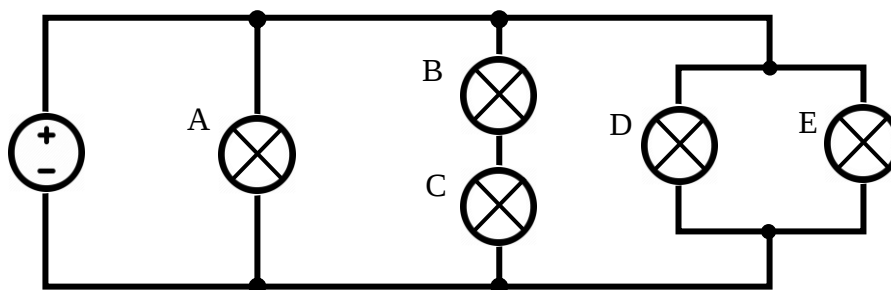
Figura C.13 | Representação comparativa de circuitos com registro de raciocínio sequencial.



Fonte: Próprio autor.

No caso da Figura C.13, é comum, ao comparar o brilho das lâmpadas no dois circuitos, que os estudantes indiquem que a lâmpada no primeiro arranjo (Fig. C.13a) apresenta maior brilho que a do segundo circuito (Fig. A.13b). Este tipo de raciocínio sequencial foi verificado em vários países (SHIPSTONE, 1985; ENGELHARDT e BEICHNER, 2004; DE ANDRADE *et al.*, 2018) com estudantes de diversos níveis de escolarização, discorrendo a ideia que, em um circuito série, a corrente diminui ao atravessar um resistor. Eles também tendem a focalizar em um elemento particular em um raciocínio local (ABEL, 1995), admitindo que a corrente se divide em partes iguais em um nó elétrico independente do que está acontecendo no restante do circuito.

Outra concepção frequente é de que os estudantes acreditam que a direção da corrente e a ordem dos elementos importa. Na pesquisa de McDermott e Shaffer (1992) realizada junto a centenas de estudantes, os autores obtiveram respostas que apontavam que as lâmpadas A, B, D e E no arranjo da Figura C.14 apresentavam o mesmo brilho, sendo superior ao brilho da lâmpada C.

Figura C.14 | Teste utilizado para análise de concepções sobre corrente elétrica.

Fonte: McDermott e Shaffer (1992), modificado.

Como justificativa, apontava-se que “a corrente é livre para circular através destas lâmpadas (A, B, D, E) sem ter que circular por outras primeiro”. (MCDERMOTT e SHAFFER, 1992, p.997). Há, de certo modo, uma referência espacial que pode ter influenciado nas conclusões dos estudantes em virtude da posição das lâmpadas no arranjo apresentado. Muitos alunos não compreendem que a intensidade da corrente elétrica em um circuito depende não somente das características da fonte, mas também da resistência equivalente do que foi acoplado entre os terminais da fonte (DORNELES, ARAÚJO e VEIT, 2006). Isto nos remete a outra grandeza fundamental da análise, resistência elétrica, da qual se fracionam diversos outros conceitos.

C.3 Resistência Elétrica e Leis Básicas de Circuitos

O estudo sobre resistores elétricos é uma das portas de entrada que mais motivam os estudantes quando aprendem sobre circuitos. Diversos equipamentos, os quais dissipam energia na forma de calor, podem ser modelados como resistores (Figura C.15). A característica de resistência é uma propriedade física de um componente ou dispositivo que se opõe à passagem de corrente elétrica (DORF e SVOBODA, 2008). É possível também interpretá-la como a capacidade dos materiais de provocar ou permitir maior ou menor fluxo de carga elétrica.

Representada normalmente pelo símbolo R , esta grandeza tem como unidade o Ohm (Ω). Vários instrumentos são utilizados profissionalmente para realizar a medição de resistência: ohmímetro, megômetro, terrômetro.

Figura C.15 | Representações modeladas de um resistor elétrico linear.



Fonte: Próprio autor.

As duas representações expostas na Figura A.15 são muito utilizadas para indicar o modelo de um resistor elétrico linear com dois terminais. Neste caso, ele obedece à Lei de Ohm. A relação entre tensão e corrente elétrica neste componente é linear e, na convenção passiva, deve-se observar o aspecto algébrico.

Discorremos que os estudos que balizam a análise de Circuitos Elétricos tiveram significativo desenvolvimento a partir do fim do século XVIII e ao longo do século de XIX. As oposições de ideias entre os italianos Luigi Galvani (1737-1798) e Alessandro Volta (1745-1827) resultaram, pelo segundo, na construção da pilha elétrica entre 1795 e 1799 (ASSIS, 2018). Entre a descoberta e o desenvolvimento mais robusto da pilha, na Itália, e a realização de outros estudos sobre Eletricidade na França (André-Marie Ampère | 1775-1836), Alemanha (Thomas Johann Seebeck | 1770-1831), Dinamarca (Hans Christian Oersted | 1777-1851) e Inglaterra (Humphry Davy | 1778-1829) – *cientistas de diversas áreas: Matemática, Química, Medicina, Física, Filosofia* – o físico e matemático alemão Georg Simon Ohm (1789-1854) estabeleceu importantes conclusões sobre o comportamento da corrente elétrica em um condutor. A Lei de Ohm remete à relação algébrica de tensão e corrente em um resistor ($v = R.i$; $i = v/R$). Seus desenvolvimentos se encontram na obra “*Die Galvanische Kette - Mathematisch Bearbeitet*” (“A Corrente Galvânica Examinada Matematicamente”).

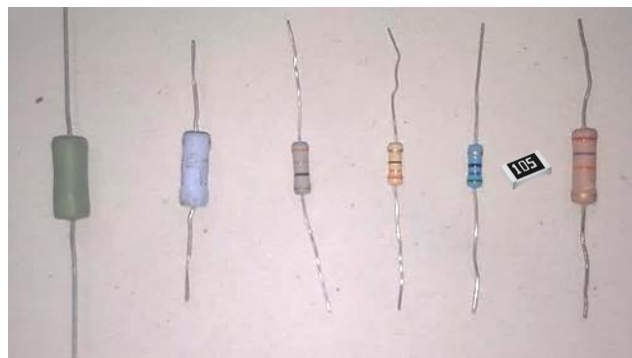
A propriedade de resistência elétrica modela, completa ou parcialmente, parcela significativa dos dispositivos eletrônicos e componentes de sistemas elétricos. O filamento de carbono ou de tungstênio de uma lâmpada, por exemplo, se comporta como um resistor (Figura C.16).

Figura C.16 | Lâmpadas com filamento.

Fonte: Próprio autor.

Os estudos com estes dispositivos estão presentes em experimentos realizados por pesquisadores em todo o mundo, os quais visam avaliar a compreensão do estudante sobre o funcionamento de um circuito elétrico simples formado por lâmpada(s) e bateria.

Existe também uma notória profusão de resistores eletrônicos (Figura C.17) em equipamentos. Eles podem ser usados para construção de dispositivos, estando presentes em experimentos para fins educacionais, tanto em laboratórios de ciências no ensino médio ou em estruturas mais robustas de laboratórios de Circuitos Elétricos e Eletrônica voltados para a formação profissional.

Figura C.17 | Exemplos de resistores eletrônicos (grafite, metalfilme, SMD, carvão).

Fonte: Próprio autor.

O estudo da Lei de Ohm é campo fértil para a realização de experimentos com vistas à comprovação teórica e fomento conceitual. A construção de circuitos utilizando este tipo de resistor é uma das primeiras experiências realizadas pelos estudantes durante o curso técnico ou superior.

De modo complementar, à medida que os circuitos vêm se tornando mais complexos, é convidativo e essencial a apropriação de outras leis. A resolução de um circuito elétrico ocorre quando características inerentes a cada componente ou a um trecho do circuito são obtidas. A exemplo, determinar a tensão e a corrente elétrica em todos os seus elementos, calcular a resistência a partir de dois terminais específicos. Cabe destacar aqui que uma das pesquisas realizadas pelo físico alemão Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887) resultaram na generalização dos estudos de Ohm, permitindo um detalhamento analítico sobre circuitos com vários elementos.

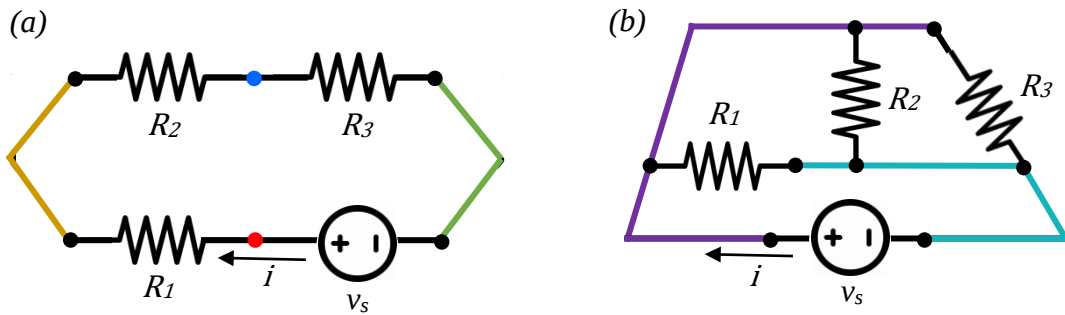
A partir das Leis de Kirchhoff é possível propor a solução analítica de circuitos com componentes dispostos (associados) de diversas maneiras. O enunciado delas é apresentado a seguir (DORF e SVOBODA, 2008, pp.54-55):

- *Lei de Kirchhoff para Correntes (LKC)*: A soma algébrica das correntes em um nó em qualquer instante é igual a zero.
- *Lei de Kirchhoff para Tensões (LKT)*: A soma algébrica das tensões ao longo de uma malha (caminho fechado) em qualquer instante é igual a zero.

No caso da LKC, a referência à “soma algébrica” diz respeito a levar em consideração o sentido das correntes nos componentes que estão ligados em um nó elétrico. Em relação à LKT, a referência à “soma algébrica” significa que é necessário considerar a polaridade da tensão de cada componente elétrico que integra a malha.

Inicialmente trataremos da análise de dois tipos de circuito – série (Figura C.18a), quando todos os componentes são percorridos pela mesma corrente elétrica; paralelo, quando são submetidos à mesma tensão (Figura C.18b). Observe que, quando dois componentes se encontram conectados em série, eles estão conectados a um mesmo nó elétrico. Nenhum outro componente estará ligado a este nó. Por sua vez, se os componentes estão conectados em paralelo, estarão ligados aos mesmos nós.

Figura C.18 | Representação simbólica de circuitos com resistores:
(a) em série; (b) em paralelo.



Fonte: Próprio autor.

Observe que, para a escolha de representação utilizada na modelagem dos circuitos da Figura C.18 expõe-se que o nó elétrico não precisa ser encarado como um ponto. Ele pode ser representado através de um fio ou por meio de uma solda entre componentes. Visualizar os conceitos de série e paralelo neste tipo de escolha representativa não é algo intuitivo. Do ponto de vista analítico, a aplicação da Lei de Ohm e das Leis de Kirchhoff incorre que a resistência equivalente (*parâmetro que substitui, de maneira equivalente, as demais resistências dos componentes do circuito*), é expressa, para um circuito série (R_{eqs}), através de:

$$R_{eqs} = R_1 + R_2 + R_3 \quad (\text{Eq. C.1})$$

Para “ n ” resistores dispostos em série:

$$R_{eqs} = \sum_{k=1}^n (R_k) = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n \quad (\text{Eq. C.2})$$

No caso do circuito com resistores em paralelo (Figura C.18b), a expressão da resistência equivalente (R_{eqp}) é dada por:

$$R_{eqp} = \left[\left(\frac{1}{R_a} \right) + \left(\frac{1}{R_b} \right) + \left(\frac{1}{R_c} \right) \right]^{-1} \quad (\text{Eq. C.3})$$

Considerando “ n ” resistores dispostos em paralelo, a resistência do resistor equivalente é determinada:

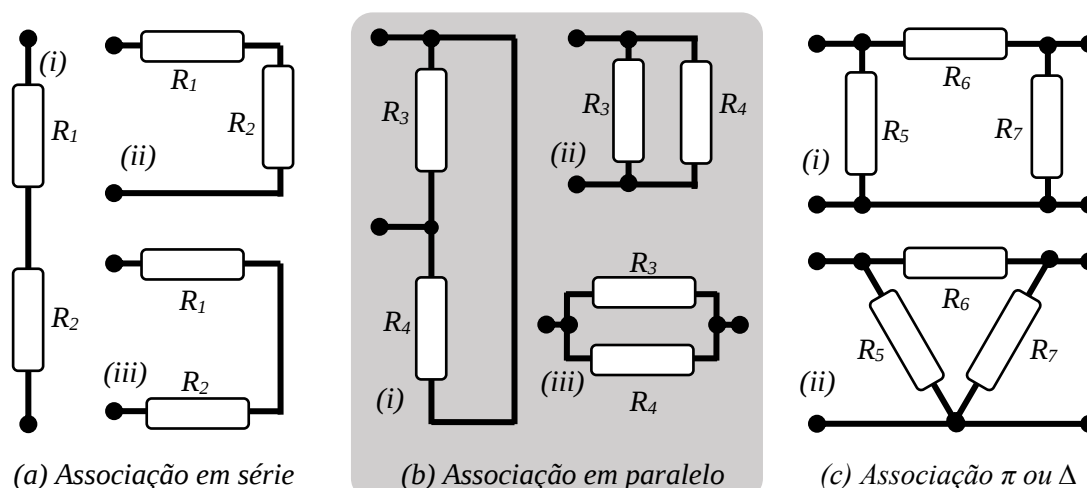
$$R_{eqp} = \sum_{k=1}^n \left(\frac{1}{R_k} \right)^{-1} = \left[\left(\frac{1}{R_1} \right) + \left(\frac{1}{R_2} \right) + \left(\frac{1}{R_3} \right) + \dots + \left(\frac{1}{R_n} \right) \right]^{-1} \quad (\text{Eq. C.4})$$

Analisar a associação de componentes em circuitos é etapa essencial durante a escolarização. Há, neste ponto, dois enquadramentos: um de natureza da Matemática (algébrico; geométrico) e outro da Física (simbólico, topológico, conceitual, instrumental, experimental).

APÊNDICE D – TOPOLOGIA ELÉTRICA E TECNOLOGIAS

Consideremos algumas representações planares: em série (se estiverem conectados por um único nó), em paralelo (se compartilharem dois nós), em formato π ou Δ (Figura D.1).

Figura D.1 | Representação simbólica convencional sobre formas de conectar resistores.



Fonte: próprio autor.

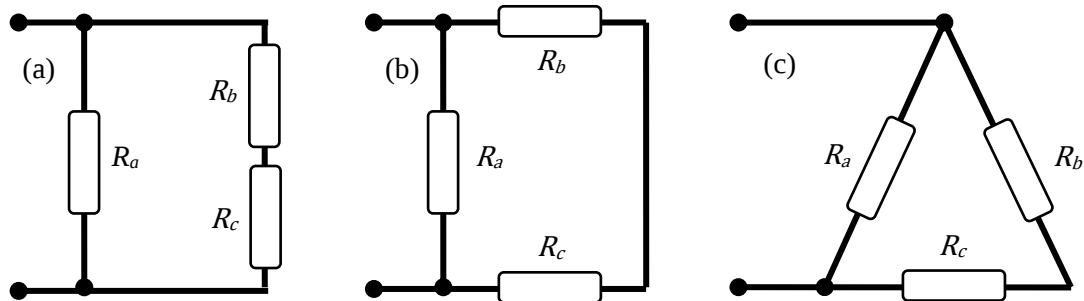
Cada uma destas possui uma coleção de representações e suas particularidades algébricas. A Resistência Equivalente é obtida no processo de simplificação de uma rede de resistores para um resistor único (equivalente) que representa a associação. Não parece simples a separação entre ligações, componentes e a distribuição espacial deles.

Nos modelos da Figura D.1 são verificadas formas diferentes para apresentar um mesmo tipo de associação, de conhecimento. A disposição espacial utilizada para apresentar a conexão entre dois ou mais resistores pode influenciar a percepção sobre o tipo de associação em jogo.

É comum, por exemplo, encontrar dificuldade de interpretar a correspondência ou equivalência topológica entre redes resistivas com a realização das alterações sugeridas há pouco. Observe, por exemplo, o caso apresentado na Figura D.2. Apesar do mesmo conjunto simbólico para

representar o signo “ R_b e R_c em série, conectados em paralelo com R_a ”, coexistem formas distintas de representação visual.

Figura D.2 | Associação mista entre resistores e equivalência topológica.



Fonte: próprio autor.

As topologias indicam uma mesma associação entre os componentes a partir dos terminais em aberto: os resistores R_b e R_c se encontram em série e esta primeira associação se encontra conectada em paralelo com R_a . Note que existe uma correspondência biunívoca entre os nós e componentes dos diagramas (a), (b) e (c) da Figura D.2, além de que os mesmos componentes estão ligados aos mesmos nós.

Em relação ao circuito da Figura D.2a mobiliza-se, por vezes, o pensamento primitivo que R_b e R_c estão em série em virtude da disposição, em vizinhança. Embora a consequência do “*raciocínio lógico*” neste caso esteja correta, este é uma forma de interpretação não generalizável. A vizinhança entre os componentes não dita a seriação. É evidente que o alinhamento pode se traduzir em uma falsa acepção do signo, no entanto, caso o sujeito em aprendizagem participe de um ambiente que apenas este tipo de formato seja apresentado nas situações, notoriamente a concepção não científica se torna resistente à mudança quando, à *posteriori*, um novo cenário seja apresentado. A morfologia pode ser um elemento de lembrança figural da imagem do circuito, porém não integra formalmente o conceito de seriação.

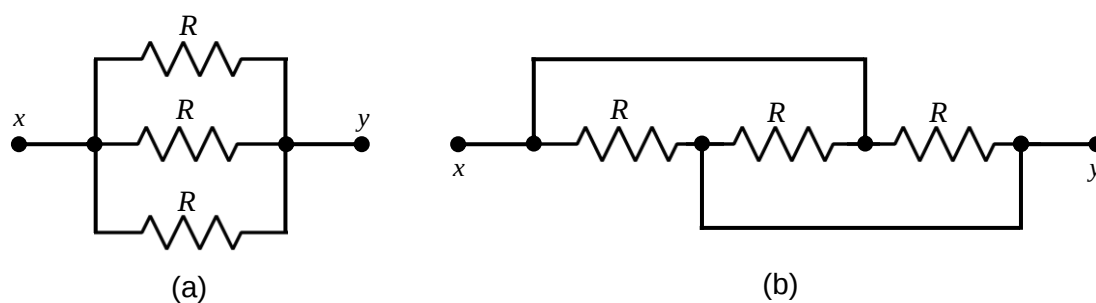
Do caso da Figura D.2b incorre muitas vezes a concepção de que os resistores R_b e R_c se encontram conectados em paralelo em virtude de sua disposição - sob ramos que se assemelham a retas geometricamente em paralelo. Esta também é uma concepção não científica decorrente da operação

de deslizamento dos resistores R_b e R_c ao longo do ramo em relação ao circuito da Figura D.2a. No caso da Figura D.2c, uma concepção primitiva seria imaginar que se trata de uma topologia do tipo Δ , apenas devido ao formato da figura geométrica que subscreve a conexão entre os resistores. Nesta situação não há concordância morfológica com os casos 1 e 2, porém há o mesmo significado topológico do ponto de vista da resistência equivalente vista a partir dos terminais em aberto da associação.

A formação do conceito de Resistência Equivalente perpassa pelo processo de decifrar códigos, compreender modalidades de associações, dissociar significados matemáticos de físicos e confrontar as experiências intuitivas com aquelas admitidas no campo formal do estudo de circuitos elétricos. Fica evidente a importância da mudança de sistemas e signos, de uso simbólico formal e informal e de diversificação representativa de objetos.

É relevante a transição entre o estudo de cada conceito e aquele a partir da Lei de Ohm, concatenando tensão, corrente e resistência elétrica. A variação na disposição espacial dos componentes não evidencia um realismo imutável. Elementos como soldas e cabos são representados, em modelos de representação formal, através de pontos ou linhas. A forma escolhida para desenhar um circuito incorpora saberes. Como decorrência, observa-se que a percepção de correspondência entre diagramas não é imediata quando se administra de maneira não simétrica conexões entre componentes (Figura D.3a e Figura D.3b).

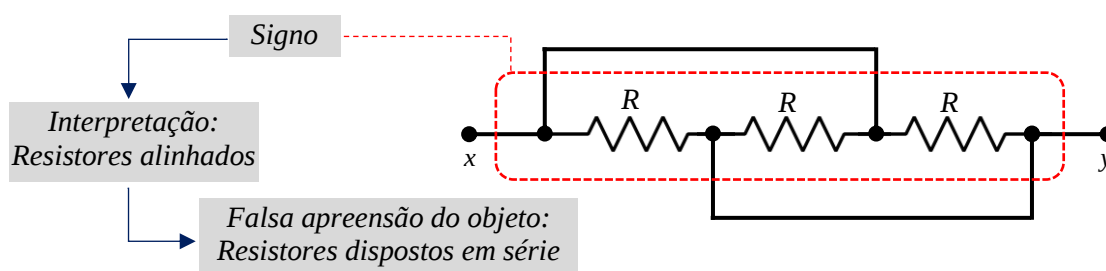
Figura D.3 | Circuito com três resistores iguais em paralelo desenhados de maneiras diferentes: redistribuição espacial para nós e ramos.



Fonte: próprio autor.

A maioria dos estudantes não percebe que o circuito da Figura D3b representa resistores dispostos em paralelo. A interpretação conceitual de grandezas elétricas quando estes arranjos são alimentados por fontes elétricas é precedida de um cenário contemplativo, cuja apropriação científica requer o entendimento abstrato do objeto. O estudante pode recorrer a informações equivocadas durante a análise da situação (Figura D.4).

Figura D.4 | Falsa interpretação da associação série evocado pela disposição espacial.



Fonte: próprio autor.

O desenho exerce certa influência às noções prévias do sujeito, provocando certa turbidez interpretativa. Um elemento é o alinhamento visual dos resistores, o qual pode remeter para o sujeito em aprendizagem ao conjunto simbólico dos aspectos topológicos inerentes aos resistores em série.

Nota-se ainda que alguns fabricantes têm preferido ampliar a gama de produtos disponíveis, simplificando ou personalizando a oferta a cada cliente. Há, normalmente, a disponibilidade de um equipamento com componentes base (fontes, chaves, LEDs,...), em que é possível acoplar módulos, cada um com função ou tema de estudo específico (Figura D.5).

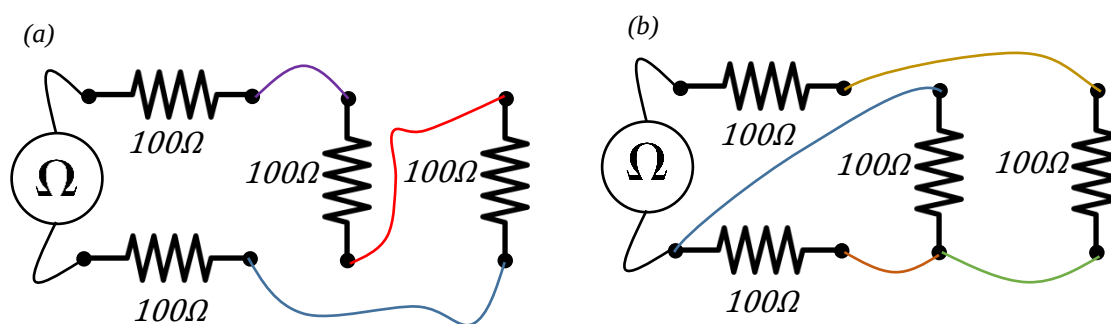
Figura D5 | Unidade laboratorial móvel SD1202 e módulos didáticos.



Fonte: MINIPA (<http://www.minipa.com.br>).

Recai sobre este tipo de recurso tecnológico a observação de que os componentes estão normalmente em posições inalteráveis (resistores fixos). Os terminais são disponibilizados necessitando de cabos para efetivar as ligações. Neste caso, o conceito subjacente de nó elétrico é representado empiricamente por um fio e não por uma solda ou ponto (possibilidade em outras situações). Explorar situações de aprendizagem que considerem esta condição é interessante, uma vez que permite apresentar didaticamente que, mesmo dispostos em uma certa posição, resistores podem ser associados de diversas formas (Figura D.6).

Figura D.6 | Representação da associação de resistores com componentes dispostos de maneira fixa no espaço: (a) $R_{eq} = 400\Omega$; (b) $R_{eq} = 250\Omega$.



Fonte: Próprio autor.

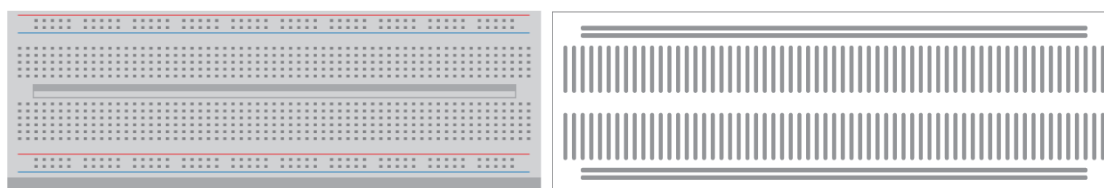
Os resistores se encontram dispostos em série na configuração da Figura BD6a. Há uma associação mista na Figura D6b, de modo que dois dos resistores se encontram em paralelo e, esta associação, se encontra em série com os outros dois resistores. Este processo de interpretação torna a aprendizagem mais efetiva segundo a Teoria dos Registros de Representação (DUVAL, 1993). Estimativas algébricas que decorrem da aplicação das Leis de Kirchhoff e medições da resistência equivalente a partir de terminais em aberto podem tentar validar estimativas teóricas.

Atenta-se para o fato de que, no contexto profissional, para além das experiências introdutórias, o estudante carece um olhar estratégico e instrumental. Após o contato preliminar é importante que verifique as limitações dos recursos. A variação qualitativa de cenários favorece a apropriação e o domínio conceitual, além da percepção de maneiras mais adequadas para se

fazer algo. Ainda, ampliam-se as habilidades empíricas. Diversos equipamentos didáticos inibem isto quando reduzem substancialmente o número de componentes ou restringem a possibilidade de conexões. É inoportuno também que o idealizador venha a moldar a paleta de casos para a realização de situações muito específicas, limitadas apenas às atividades oferecidas nos “guias didáticos” fornecidos pelas empresas.

Em virtude de custos, da flexibilidade e disponibilidade, as matrizes de contato (Figura D.7) ou matrizes de ensaio (também denominadas *protoboard* ou *breadboard*) são muito utilizadas para o estudo de circuitos elétricos. Elas dispõem de orifícios que remetem a contatos metálicos (conexões condutoras). No modelo apresentado, as duas linhas na horizontal na parte superior e na parte inferior da placa indicam a existência de solda em todos os pontos de cada uma destas trilhas, representando um único nó elétrico. No centro da placa os nós elétricos são indicados por soldas que agrupam cinco pontos na vertical.

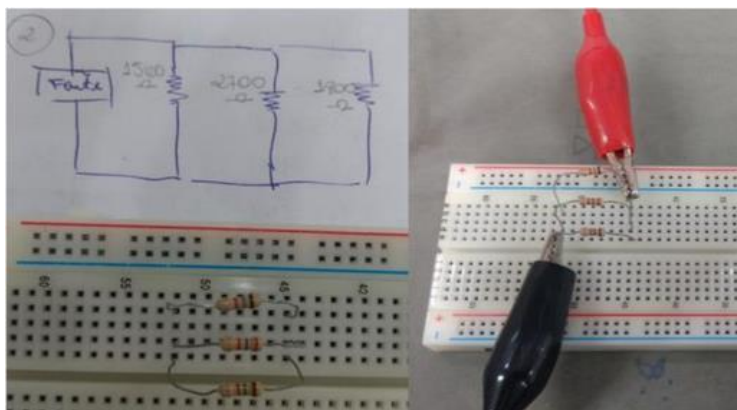
Figura D.7 | Modelo de matriz de contatos e suas conexões.



Fonte: próprio autor.

Uma vez que não se necessita de soldagem, são aparatos interessantes para a construção de protótipos e realização de testes. Os nós elétricos, para esta situação, podem ser representados por cada conjunto de orifícios em uma trilha elétrica ou por meio de fios conectados a estes pontos, como apresentado anteriormente na Figura D.7.

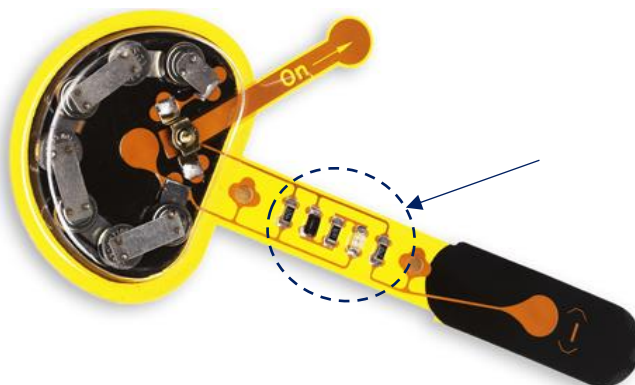
Embora exista uma diversidade de pontos e, conseqüentemente, de disposições espaciais para construir o circuito, caso não haja o incentivo à diversificação de cenários de aprendizagem, os estudantes tendem a reproduzir espacialmente no *protoboard* os modelos idealizados a partir da representação simbólica convencional (Figura D.8).

Figura D.8 | Atividade utilizando a matriz de contatos.

Fonte: próprio autor.

Montagens deste tipo remetem diretamente a um aspecto cotidiano da formação de vários profissionais. No caso dos recursos digitais, os programas transitam entre representações pictóricas e tentativas de reprodução da simbologia convencional. É evidente que o uso da atividade de simulação exerce a devida importância na formação de estudantes, caracterizando-se como elemento motivador e, quando detém de recursos mais elaborados, suaviza a transição entre o abstrato e a observação prática (FARIAS *et al.*, 2014). A simulação torna passível também a análise de cenários que, construtivamente, são muito complexos. São estimados comportamentos, componentes podem ser submetidos a testes antes da realização de projetos em protótipos ou placas.

Em projetos que fazem uso de placas de circuito impresso flexíveis (FPC – *Flex Printed Circuit*), a disposição das ligações, dos nós elétricos, pode seguir padrão que depende de limitações de espaço para montagem (Figura D.9).

Figura D.9 | Exemplo de trilha de conexão em uma placa de circuito impresso flexível.

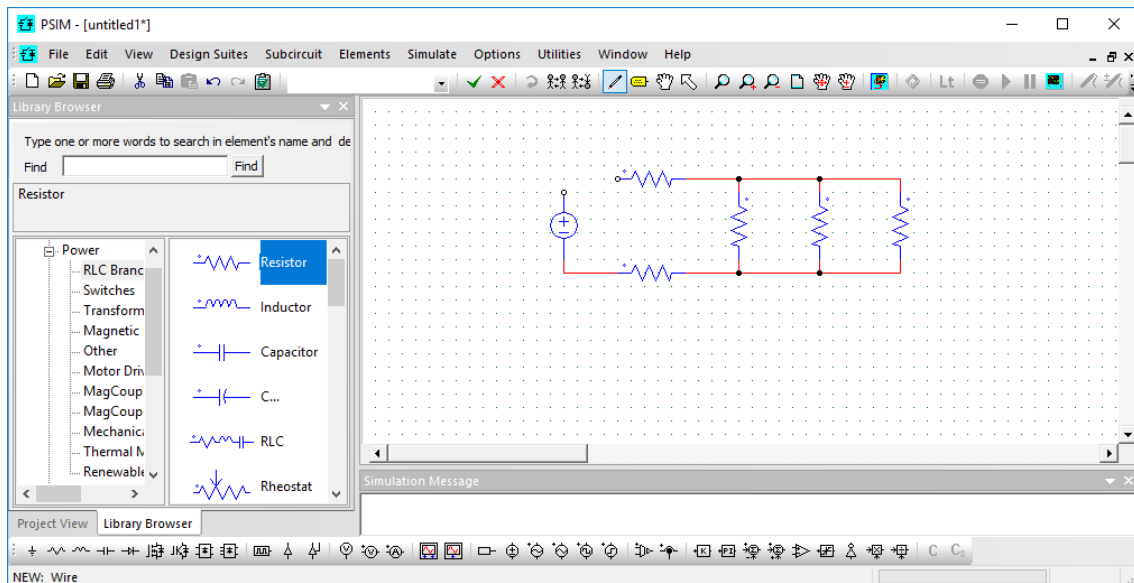
Fonte: *Flexible Circuit Technologies* – FCT (<https://www.flexiblecircuit.com>).

Os componentes em destaque estão conectados de maneira mista (ligações em série e em paralelo). Em virtude de restrições de espaço do protótipo, no entanto, estão dispostos visualmente como que sobre retas paralelas.

Em sua atuação, técnicos e engenheiros são requeridos a realizar projetos, sistemas e a desenvolver dispositivos nos quais se faz necessário um amplo conhecimento não apenas de um cenário real específico, mas também de situações com variações paramétricas, de sensibilidade. Neste aspecto, as tecnologias digitais oferecem vantagem (ou complementariedade) em relação aos laboratórios físicos, colaborando para a formação.

O percurso frente à virtualização de situações por meio de modelos apropriados resulta na frequente análise de situações hipotéticas, plausíveis de ocorrência no âmbito profissional. Na área de circuitos elétricos constata-se a tendência de acoplar real e virtual em novas infraestruturas tanto em cursos de engenharia como na escolarização técnica profissional. Isto converge para novas exigências aos docentes, em que fazer uso de ferramentas digitais junto aos tradicionais aparatos analógicos parece ser não apenas um modismo tecnológico, mas uma alternativa para geração de novas possibilidades de aprendizagem aos estudantes.

É importante ressaltar, de modo semelhante aos recursos analógicos, que os aparatos digitais possuem estruturas próprias de funcionamento com regras que, frequentemente, são distintas da flexibilidade representativa dos modelos junto aos signos convencionais. O PSIM, da PowerSim Tech (<https://powersimtech.com/try-psim/>), a exemplo, possui uma estrutura rígida de montagem, de modo que sua *interface* com o usuário (Figura D.10), formada por uma matriz de pontos (individualmente independentes), leva a uma aparência geométrica restrita dos circuitos elétricos construídos, condicionando, tal qual alguns recursos analógicos, a forma de apresentação das montagens.

Figura D.10 | Tela inicial – PSIM: elaborando um cenário.

Fonte: próprio autor.

A tecnologia, por si só, não é passível de oferecer uma aprendizagem significativa. Elas podem, inclusive, colaborar para que novas dificuldades venham a surgir. Para uma apreensão significativa, as relações entre o conhecimento e as representações devem ser tratadas em suas especificidades, admitindo vantagens dos objetos de aprendizagem e a multiplicidade que relaciona as informações entre os diferentes campos.